

Universidad del Valle de Guatemala

Facultad de Ingeniería



“Diseño de un sistema de automatización de línea de empaque a partir de la instrumentación de equipos empacadores de cloro”

Trabajo de graduación presentado por Luis Andrés Aguilar Mayorga para optar al grado académico de

Licenciado en Ingeniería Química

Guatemala

2011

“Diseño de un sistema de automatización de línea de empaque a partir de la instrumentación de equipos empacadores de cloro”

Universidad del Valle de Guatemala

Faculta de Ingeniería

“Diseño de un sistema de automatización de línea de empaque a partir de la instrumentación de equipos empacadores de cloro”

Trabajo de graduación presentado por Luis Andrés Aguilar Mayorga para optar al grado académico de

Licenciado en Ingeniería Química

Guatemala

2011


Vo.Bo.

Tribunal

(f) 
Ingeniero Alejandro Méndez

Asesor

(f) 
Ingeniero Gamaliel Zambrano

(f) 
Ingeniero Luis Núñez

(f) 
Ingeniero Alejandro Méndez

Fecha de aprobación: 31 de enero de 2012

ÍNDICE

LISTA DE TABLAS	vii
LISTA DE GRÁFICAS	viii
LISTA DE ILUSTRACIONES	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
I. ANTECEDENTES	2
A. Hipoclorito de sodio	2
B. Neumática	6
C. Compresores	8
D. Instrumentación	11
E. Buenas Prácticas de Manufactura	13
F. Control de calidad	14
G. Validación	14
H. Seguridad Industrial	16
I. Análisis económico	18
II. JUSTIFICACIÓN	21
III. OBJETIVOS	22
A. Generales	22
B. Específicos	22
IV. PROBLEMA A RESOLVER	23
V. METODOLOGÍA	24
A. Observación	24
B. Diseño de solución a implementar	24
C. Factibilidad operacional y económica	24
D. Propuesta final	24
VI. RESULTADOS	25
VII. DISCUSIÓN	31
VIII. CONCLUSIONES	37
IX. RECOMENDACIONES	38
X. BIBLIOGRAFÍA	39
XI. APÉNDICE	41

A.	Datos originales.....	41
B.	Cálculo de la muestra	41
1.	Técnico.....	41
2.	Económico	46
C.	Análisis de error	51
D.	Datos calculados.....	53
E.	Protocolo de validación.....	59
F.	Anexos.....	63

LISTA DE TABLAS

Tabla No. 1 Distancias requeridas según NTP para dimensionamiento de guardas	18
Tabla No. 2 Tasa de depreciación (%) para cada período de recuperación SMARC en años	20
Tabla No. 3 Listado de equipo a utilizar	25
Tabla No. 4 Especificaciones de cilindro neumático de doble efecto	25
Tabla No. 5 Materiales del cilindro	25
Tabla No. 6 Especificaciones de electroválvula 5/2 monoestable	26
Tabla No. 7 Especificaciones para unidad de mantenimiento de aire comprimido	26
Tabla No. 8 Especificaciones para sensores ópticos reflectores	27
Tabla No. 9 Especificaciones para válvulas reguladoras de caudal	27
Tabla No. 10 Especificaciones para Controlador Lógico Programable (PLC)	27
Tabla No. 11 Especificaciones de compuertas de paso en estaciones de control de tráfico	27
Tabla No. 12 Especificaciones de banda curva transportadora	28
Tabla No. 13 Evaluación económica del diseño	30
Tabla No. 14 Presión de trabajo del cilindro de doble efecto	41
Tabla No. 15 Datos considerados para la determinación de la carga adiabática del compresor	41
Tabla No. 16 Capacidad máxima del compresor	41
Tabla No. 17 Dimensionamiento del cilindro	53
Tabla No. 18 Altura de la guarda a instalar	53
Tabla No. 19 Elección del tipo de compresor adecuado según datos obtenidos	54
Tabla No. 20 Flujo adicional a la capacidad instalada del compresor actual	54
Tabla No. 21 Inversión requerida para la parte neumática	54
Tabla No. 22 Inversión requerida para el transportador curvo	54
Tabla No. 23 Inversión requerida para la parte mecánica	55
Tabla No. 24 Inversión requerida para la parte de programación	55
Tabla No. 25 Inversión requerida para el sistema de transportadores	56
Tabla No. 26 Inversión total requerida	56
Tabla No. 27 Salario mensual remunerado a operario dedicado al ordenamiento de docenas	57
Tabla No. 28 Costo por hora del operario dedicado al ordenamiento de docenas	57
Tabla No. 29 Detalle de horas laboradas por el operario dedicado a ordenamiento de docenas	57
Tabla No. 30 Costo por semana del operario dedicado al ordenamiento de docenas	57
Tabla No. 31 Determinación del costo del salario anual sin prestaciones	58
Tabla No. 32 Determinación del costo de prestaciones	58
Tabla No. 33 Flujo de caja	58

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica No. 1 Degradación del hipoclorito de sodio a concentración inicial constante	3
Gráfica No. 2 Degradación del hipoclorito de sodio a temperatura constante (20 °C)	4
Gráfica No. 3 Elección del compresor óptimo	11

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración No. 1 Sistema de cilindro de doble efecto	6
Ilustración No. 2 Diagrama de funcionamiento de un PLC	13
Ilustración No. 3 Esquema para dimensionar guardas por riesgo de prensado	17
Ilustración No. 5 Diagrama de instrumentación del sistema de ordenamiento de docenas de cloro	29
Ilustración No. 6 Cotización parte neumática del proyecto de ordenamiento de docenas	63
Ilustración No. 7 Continuación cotización parte neumática del proyecto de ordenamiento de docenas	64
Ilustración No. 8 Cotización banda curva transportadora.....	65
Ilustración No. 9 Continuación cotización banda curva transportadora	66
Ilustración No. 10 Fabricación e instalación de guías para el sistema de docenas	67
Ilustración No. 11 Continuación fabricación e instalación de guías para el sistema de docenas	68
Ilustración No. 12 Cotización control de bandas transportadoras	69
Ilustración No. 13 Continuación cotización control de bandas transportadoras	70
Ilustración No. 14 Cotización mantenimiento para sistema de transportadoras	71
Ilustración No. 15 Prueba de calificación de operación estático	72
Ilustración No. 16 Continuación prueba de calificación de operación estático	73
Ilustración No. 17 Prueba de calificación de operación dinámico.....	74
Ilustración No. 18 Continuación prueba de calificación de operación dinámico	75

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo principal proponer un sistema de automatización que garantice el ordenamiento constante de docenas de sachets de cloro en una línea de empaque industrial. Para realizar la propuesta se evaluó tanto el aspecto técnico como el económico del diseño elegido iniciando con la selección y dimensionamiento del equipo necesario para garantizar un proceso automatizado con un elevado grado de confiabilidad.

El sistema automatizado de docenas está conformado por 2 cilindros neumáticos de doble efecto, 2 electroválvulas 5/2 monoestable, 2 unidades de mantenimiento para aire comprimido, 4 sensores ópticos reflectores, 4 válvulas reguladoras de caudal, 1 PLC, 2 compuertas de PVC y 1 banda curva transportadora.

El proyecto requiere una inversión de capital de Q 148, 606.41 entregando Q 102, 493.74 de ahorro, lo que representa una TIR del 29% y un VAN de Q 47,338.13, demostrando la rentabilidad del proyecto. Según los resultados anteriores se puede decir que el diseño propuesto garantiza un flujo de operación automatizada, incrementa la confiabilidad del producto a partir de la eliminación de la intervención humana en el proceso.

Por último es importante destacar que es indispensable llevar a cabo un protocolo de validación que garantice la confiabilidad y reproducibilidad de los resultados obtenidos con la implementación del sistema de ordenamiento

ABSTRACT

The purpose of this document is to propose an automation system transportation design of chlorine sachets dozens packages regarding an industrial production line in Guatemala. To achieve this objective, it was necessary to select and size the required pneumatic, electronic and mechanic equipment to ensure an automated process with a high degree of reliability was evaluated both technically and economically design the chosen starting with the selection and sizing of equipment required to ensure an automated process with a high degree of reliability.

The automated system consists of 2 double acting pneumatic cylinders, 2 electrovalves 5 / 2 monostable, 2 service units for compressed air, 4 reflective optical sensors, 4 flow control valves , a PLC, 2 and 1 PVC gates curved band conveyor.

The designed system requires a capital investment of Q 148, 606.41, delivering Q 102 494.74 of net savings representing an IRR of 29% and a NPV of Q 47,338.13, demonstrating the project's profitability. According to previous results, it is possible to conclude that the proposed design increases the reliability of the packaging process because eliminates all human intervention increasing productivity measure.

Finally, it is important to note that it is essential to deliver a validation protocol that ensures the reliability and reproducibility of the results obtained with the implementation of the automation system.

I. INTRODUCCIÓN

Un sachet de cloro se define como un empaque de film que contiene en volumen 200 mL de hipoclorito de sodio al 4.0%. Al ser un agente fuertemente oxidante, el hipoclorito de sodio actúa principalmente como un agente blanqueador en ropa para remover manchas e impurezas. Otro de sus usos más comunes es potabilizar aguas no tratadas para distribuir su consumo en personas con escasos recursos, regulando la cantidad de cloro agregada al agua. El hipoclorito al 4.0%, como tal, no es nocivo en caso de entrar en contacto directo en la piel de forma ocasional, pero sí puede llegar a ser perjudicial por contacto continuo.

El objetivo de este trabajo es proponer y documentar el proceso óptimo de automatización de una línea de empaque industrial de cloro a partir de la instrumentación del equipo empacador. Para esto se busca diseñar un sistema de ordenamiento automático de docenas de sachets de cloro en el proceso del empaque secundario. Dentro de los beneficios que conlleva la implementación de automatización en la operación de empaque, cabe mencionar la reducción de costos operativos dentro del proceso. Específicamente, el diseño propuesto elimina la necesidad de mantener una posición fija dedicada exclusivamente al ordenamiento de docenas de sachets de cloro.

La instrumentación de los equipos empacadores de cloro elimina las tareas mecánicas y repetitivas del operador en la línea de empaque. Esto a su vez, permitirá optimizar la eficiencia del proceso de empaque aumentando la productividad de la operación al entregar un producto con menor exposición a la intervención humana. Adicionalmente, se estarían corrigiendo las condiciones laborales en las que se desenvuelve el operario ya que en paralelo se eliminaría una posición ergonómica físicamente no recomendada. Una vez implementada la propuesta, se eliminaría la exposición directa del operario con el hipoclorito de sodio aumentando la seguridad laboral del proceso.

I. ANTECEDENTES

A. Hipoclorito de sodio

El hipoclorito de sodio es una sustancia líquida de color amarillo verdosa que tiene un extenso uso como agente blanqueador y desinfectante, tanto a nivel industrial, como en el hogar. El término hipoclorito se refiere a todas las sales derivadas del ácido hipocloroso (HOCl). La utilización de hipoclorito como agente desinfectante surge como una alternativa para la utilización de ácidos hipoclorosos ya que estos representan reacciones de oxidación demasiado violentas y no son utilizables para fines domésticos por el grado de corrosión que conllevan. Estas sales se preparan haciendo reaccionar cloro con soluciones álcali o hidróxidos de naturaleza álcali (OxyChem, 2011).

La comercialización de hipoclorito inicia en 1789 en Francia por el químico Berthollet quien hizo reaccionar cloro con una solución de potasio dando lugar a un efectivo agente blanqueador para la industria textilera, previniendo la corrosión de los materiales por la ausencia de ácidos durante el contacto de materiales. Fue necesario trabajar en reformulaciones ya que el potasio representaba un gran impacto en el costo del compuesto debido a su elevado precio. En 1820, el científico francés Labarraque experimenta con la síntesis de hipoclorito de sodio a partir de la cloración de una solución de soda cáustica (hidróxido de sodio). Según sea la concentración de soda cáustica agregada, las aplicaciones de los compuestos formados cuentan con un amplio número de consumidores dependiendo del material. Dentro de las aplicaciones más conocidas del hipoclorito de sodio, cabe mencionar su uso doméstico como agente blanqueador y desinfectante; a mayores concentraciones es utilizado para el proceso de blanqueado de la pulpa de madera formando un producto terminado comúnmente conocido como es el papel blanco. Entre otras aplicaciones del hipoclorito de sodio cabe mencionar su uso como un intermediario químico para la síntesis de compuestos orgánicos, purificación del agua, medicina, fungicidas y desinfectante para piscinas como agente germicida. El hipoclorito de sodio se encuentra registrado en la EPA (Environmental Protection Agency, de acuerdo a sus siglas en inglés) como un pesticida antimicrobiano (OxyChem, 2011).

El método más común para preparar hipoclorito de sodio es a partir de la reacción entre cloro e hidróxido de sodio, a partir de la cual es posible obtener una concentración de hipoclorito de sodio entre un rango del 5 al 18% fracción masa de acuerdo a la siguiente reacción:



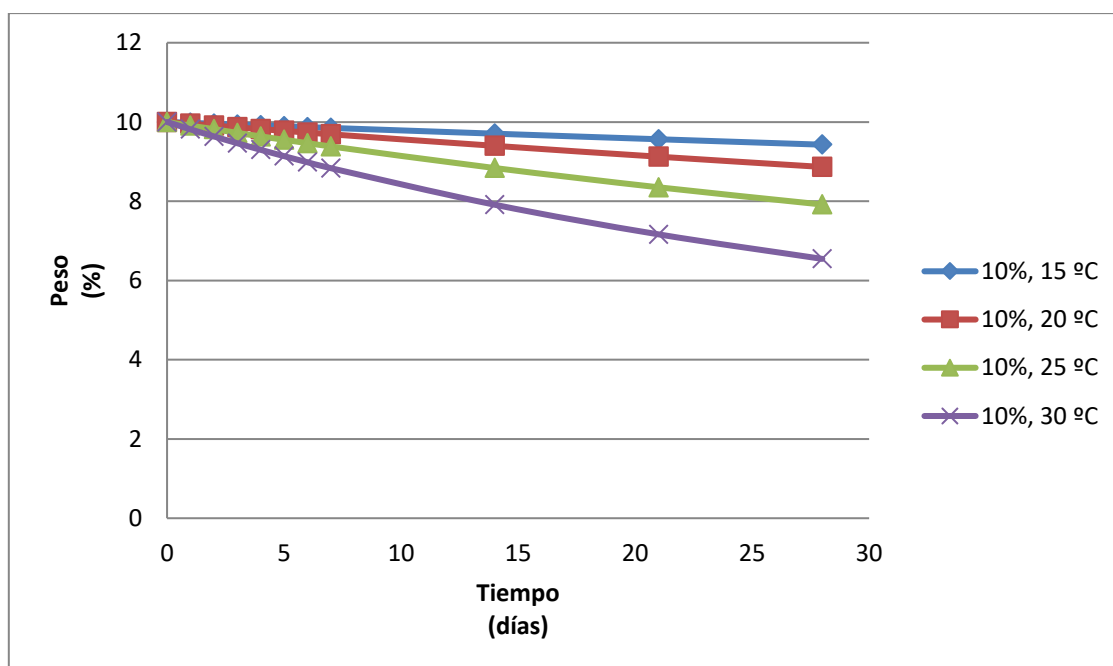
Ecuación No.1
(OxyChem, 2011)

Cabe mencionar que las sales de hipoclorito son compuestos de naturaleza inestable. Una vez sintetizados, el proceso de degradación inicia automáticamente hasta descomponer el producto formado. Los factores que tienen mayor impacto en la degradación del hipoclorito de sodio son: la concentración

de hipoclorito de sodio, la alcalinidad o pH de la solución, la temperatura de la solución (en ambos procesos de preparación y almacenaje), concentración de impurezas específicas que catalizan la descomposición, exposición a la luz y el contacto con impurezas orgánicas (OxyChem, 2011).

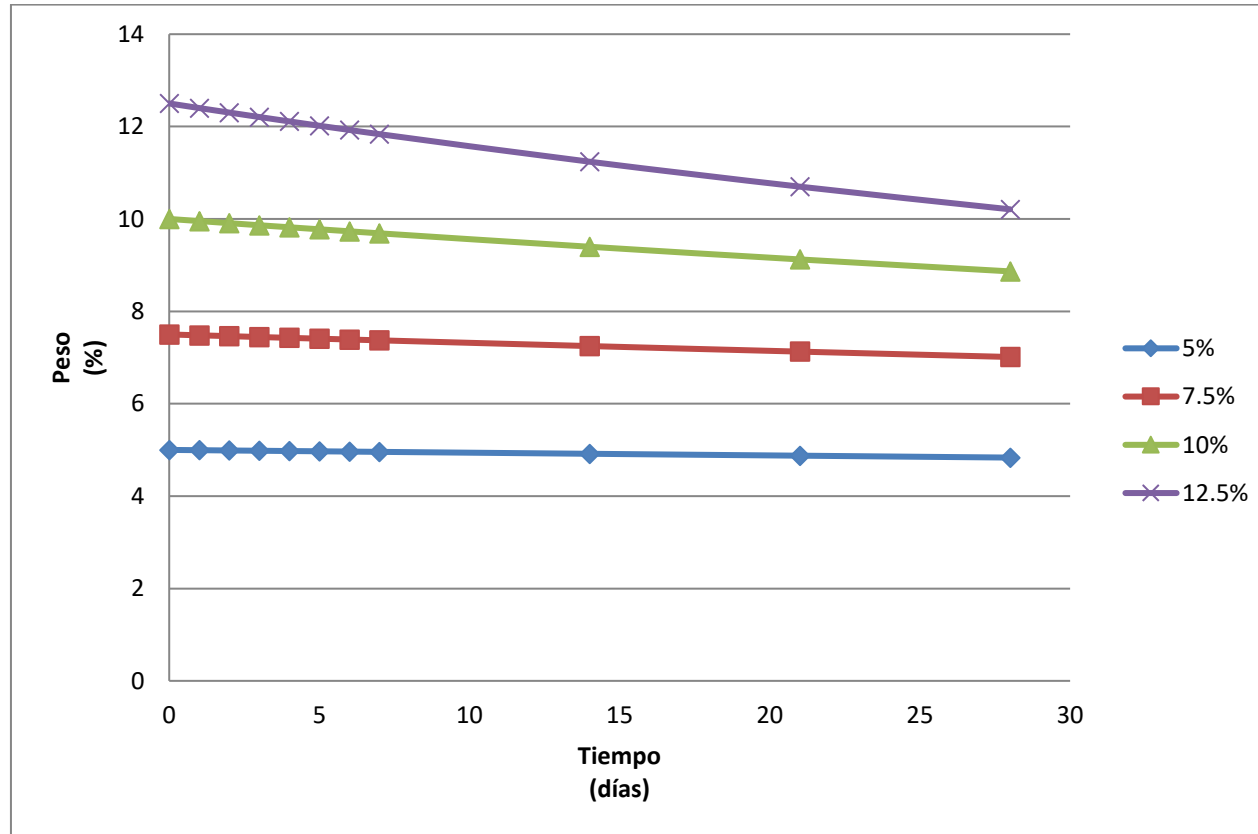
Aquellas soluciones que contengan bajas concentraciones de hipoclorito, descomponen a una tasa más lenta que soluciones con concentración mayor. Un valor de pH entre 11.0 y 13.0 se recomienda para la obtención de soluciones de hipoclorito más estables. Si soda cáustica es adicionada en exceso (0.2 – 1.0%), permite reducir el impacto de la luz en la tasa de descomposición del hipoclorito de sodio. Si se adiciona mayor cantidad en exceso de soda cáustica, el daño a textiles puede incrementarse así como el poder blanqueador del hipoclorito podría retardarse. Entre mayor sea la temperatura de exposición, mayor será la tasa de descomposición del hipoclorito en solución. Temperaturas bajas son recomendadas para el almacenaje de hipoclorito de sodio ya que retarda el proceso de descomposición; la temperatura de almacenaje varía según la concentración de acuerdo a la siguiente gráfica.

Gráfica No. 1 Degradación del hipoclorito de sodio a concentración inicial constante



Fuente. Powell Decomposition Software

Gráfica No. 2 Degradación del hipoclorito de sodio a temperatura constante (20 °C)



Fuente. Powell Decomposition Software

La calidad y estabilidad de soluciones de hipoclorito de sodio varía significativamente según la concentración de ciertas impurezas. Metales como el níquel, cobre y el cobalto forman óxidos metálicos insolubles los cuales actúan como catalizadores en la reacción de descomposición de hipoclorito formando gas oxígeno disminuyendo el efecto del poder blanqueador. Otros metales como el hierro, calcio y magnesio forman sedimentos y decoloran la solución de hipoclorito. De igual forma, el contacto con luz acelera la descomposición del hipoclorito. Contenedores no traslúcidos para almacenaje de soluciones de hipocloritos son efectivos contra los efectos de descomposición por el contacto directo con luz (OxyChem, 2011).

1. Materiales. Escasos son los materiales que por sus propiedades fisicoquímicas pueden soportar la naturaleza reactiva del hipoclorito de sodio. Una selección incorrecta de materiales puede resultar en una corrosión de algún accesorio o equipo del proceso o inclusive en una posible contaminación del producto terminado. Como regla general, ningún metal (con la excepción de de Titanio y Tántalo bajo ciertas circunstancias) puede entrar en contacto directo con este material. Esto es a causa de la naturaleza reductora de los metales, que al entrar en contacto con el hipoclorito como agente oxidante son altamente reactivos descomponiendo el producto. Para sistemas de almacenamiento se recomienda el uso de materiales de fibra de vidrio, polietileno entre otros. Los siguientes materiales son compatibles con soluciones de hipoclorito de sodio por su ausencia de reactividad:

- a. PVDF (fluorinated polyvinylidene)
- b. PTFE (politetrafluoretileno)
- c. Titanio (no puede entrar en contacto directo con el gas cloro)
- d. Ethylene Propylene Rubber
- e. Chlorobutylene Rubber
- f. Polipropileno
- g. PVC (Cloruro de Polivinil, según sus siglas en inglés)
- h. CPVC (Chlorinated polyvinyl chloride)
- i. Tántalo
- j. Vitón con durometría mínima de 70.

(OxyChem, 2011).

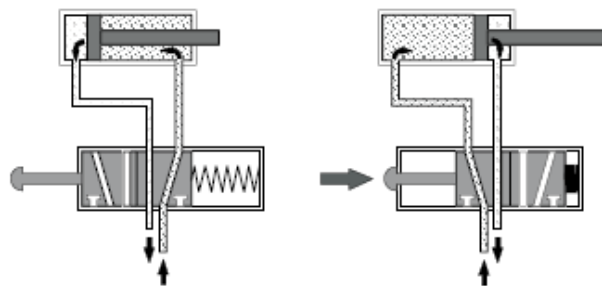
Existen dos factores que determinan la selección de materiales para tubería de hipoclorito de sodio: fuerza estructural y resistencia química. Si lo sistemas de tubería se encuentran en disposición de sobreesfuerzo o estrés físico, acero inoxidable es el material recomendado. Si no existe un esfuerzo físico en los materiales, se recomienda la utilización de fibra de vidrio o PVC reforzado. Estos parámetros son considerado no únicamente en tuberías sino en materiales que entren en contacto directo con el hipoclorito de sodio, tales como compuertas, láminas o columnas aplican de igual manera (OxyChem, 2011).

B. Neumática

1. Cilindros. El término cilindro se refiere a un pistón que opera dentro de una estructura cilíndrica. Es un dispositivo clasificado como actuador ya que el objetivo de éste es transformar la potencia hidráulica recibida a energía mecánica de naturaleza recíproca. La presión del fluido utilizado determina la fuerza de empuje del cilindro para el desplazamiento del mismo y es el caudal del mismo el cual establece la velocidad del desplazamiento del pistón. La composición de las variables de fuerza y desplazamiento, genera un trabajo y al cuantificar su efecto durante un periodo de tiempo específico, es posible medir la potencia producida. En general, los cilindros están compuestos por un pistón o émbolo, un vástago y el cuerpo cilíndrico que protege la estructura (Peter, C. *et al.* 2002).

2. Circuito de control para un cilindro de doble efecto émbolo. Existen sistemas neumáticos conformados por cilindros de efecto simple o de doble efecto. La diferencia principal entre estos sistemas es la dirección del accionamiento del pistón ya que un cilindro de efecto simple funciona para una dirección específica. El fluido inmerso dentro del cilindro ocasiona un desplazamiento en el pistón llevándolo a su carrera máxima hacia la dirección asignada. Al liberar el aire comprimido, el pistón regresa a su posición original. En un cilindro de doble efecto, ambos movimientos (expansión y contracción del pistón) son producidos por la presión del fluido inmerso. Existen dos puertos de fluido, cada uno ubicado en cada extremo del cilindro. El fluido presurizado es direccionado al extremo cerrado del cilindro para expandir el pistón generando fuerza de empuje en el sistema. Para contraer el pistón, el fluido es direccionado al extremo opuesto del cilindro y de esta forma se lleva al pistón a su posición original (Peter, C. *et al.* 2002).

Ilustración No. 1 Sistema de cilindro de doble efecto



Fuente. Peter, C. *et al.* 2002

En la Ilustración No. 1 se muestra el funcionamiento de un cilindro de doble efecto por etapas. En la posición inicial (lado izquierdo del circuito) todas las conexiones están establecidas y no es admisible ningún tipo de intervención manual por el operario. En esta posición, se suministra aire comprimido del lado del vástago del pistón mientras que la presión del lado contrario se reduce. A continuación se considera el momento de oprimir el botón “push” como la nueva fase de acción del cilindro. En esta fase, se activa la válvula de 5/2, ya sea una válvula de control o electroválvula y da inicio

al funcionamiento del sistema (lado derecho del circuito). En esta fase, el aire comprimido es suministrado al lado del pistón del cilindro, mientras que el lado del vástago decrece su presión conforme desplaza la carrera del pistón. Una vez que la carrera haya sido completada, la presión del aire en la recámara del pistón alcanza un valor máximo. Al liberar el botón “push” de ser oprimido, el sistema retorna a la fase inicial del diseño. El suministro de presión está conectado ahora del lado del vástago del cilindro mientras que del lado del pistón, el aire remanente es liberado por el orificio de descarga de la válvula (Peter, C. *et al.* 2002).

3. Electro válvulas 5/2 monoestables con bobina de 24 VDC. Una electroválvula está compuesta por una válvula electromecánica y una bobina solenoide. El funcionamiento de una bobina solenoide se basa en el principio de formación de un campo magnético inducido por una corriente cuando fluye a través de un conductor eléctrico. La fuerza del campo magnético es proporcional a la intensidad de la corriente transcurrida. La función de la válvula es posible definirla a partir de la variedad de sus posiciones existiendo las más comunes de 2/2; 5/2 y 4/3, etc. El primer número denota el número de entradas y salidas de las válvulas mientras que el segundo valor se refiere al número de posiciones que puede adoptar la válvula. Para éste último parámetro, un claro ejemplo es la posición de válvulas normalmente abiertas o normalmente cerradas (Prede, 2002).

Una válvula solenoide típicamente tiene la siguiente estructura: un cable conductor aislado se enrolla en un arreglo helicoidal a la bobina. A mayor número de vueltas del cable espigado, mayor será la intensidad del campo magnético formado. Este fenómeno es conocido como autoinducción y es por este principio que la bobina es capaz de almacenar energía de forma magnética. La bobina comúnmente se diseña a partir de un núcleo de hierro, el cual se magnetiza cuando la corriente fluye por el sistema. El núcleo de hierro permite la formación de un campo magnético de aún mayor intensidad a partir de la corriente original transmitida (Prede, 2002).

En el campo de electroneumática, las solenoides se utilizan comúnmente como instrumentos de control de cambio de válvulas, relays o contactores. Haciendo referencia al diagrama del cilindro de doble efecto correspondiente a la Ilustración No. 1, la aplicación de una electroválvula es la siguiente:

- a. Si la corriente fluye a través del núcleo de la solenoide, el pistón de la válvula se activa.
- b. Si la corriente es interrumpida, la ausencia de la fuerza electromotriz permitirá que el pistón se desplace a su posición original.

(Prede, 2002)

4. Válvulas reguladoras de caudal. La válvula reguladora de caudal restringe la cantidad de aire en una dirección particular para reducir la tasa de flujo de aire y de esta forma, controlar el flujo. Idealmente, debería ser posible variar diferencialmente el regulador de normalmente abierto a cerrado. La válvula de control debe instalarse lo más cercanamente posible al elemento de control y debe ajustarse según sean los requerimientos del sistema. Es posible armar un sistema de control de flujo totalmente

unidireccional al ajustar una válvula reguladora de caudal con una válvula de cheque (Peter, C. *et al.* 2002).

5. Filtro regulador de ¼ (Unidad de mantenimiento). Una unidad de mantenimiento de aire comprimido es un dispositivo compuesto de un filtro de aire (incluyendo separador de agua); un regulador de aire comprimido así como de un lubricante. Según sea las condiciones y demanda del sistema de aire comprimido, el tamaño y las dimensiones de la unidad de mantenimiento pueden variar. La unidad de mantenimiento se ajusta a cada sistema control en la instalación del proceso a modo de asegurar la calidad del aire para cada función específica (Peter, C. *et al.* 2002).

La función del filtro de la unidad de mantenimiento es remover todos los contaminantes presentes del flujo de aire comprimido así como también de agua que se pudo haber condensado durante el proceso. El aire comprimido es dirigido hacia la recámara de filtro de la unidad en la cual partículas líquidas y sólidas de tamaño mediano son separadas por medio de centrifugación, segregándose en el fondo de la unidad (Peter, C. *et al.* 2002).

El objetivo del funcionamiento del regulador es mantener las condiciones de operación del sistema, específicamente la presión de manera constante. De esta manera, se contrarresta las fluctuaciones ocasionadas por la presión de la línea de aire comprimido y el consumo de éste durante la operación. El lubricante agrega al flujo de aire comprimido partículas de aceite atomizado según sea el requerimiento el sistema operado (Peter, C. *et al.* 2002).

C. Compresores

Un compresor es un equipo cuyo objetivo es presurizar el fluido que éste recibe. El proceso de compresión puede tener varios objetivos a nivel industrial, dentro de los cuales destacan: proveer aire de entrada para un proceso de combustión, transporte del fluido de un proceso en tuberías y proveer aire comprimido para llevar a cabo proceso neumáticos. Dentro de los tipos de compresores disponibles a nivel industrial, se tiene de flujo intermitente y de flujo continuo. Un compresor centrífugo es un compresor de flujo continuo (Perry, 2008).

En un compresor centrífugo se produce la presión al aumentar la velocidad del gas que pasa por el impulsor y, luego, al recuperarla en forma controlada para producir el flujo y presión deseados (Greene, 1987).

La velocidad en las puntas de un impulsor convencional suele ser de 800 a 900 ft/s. Esto significa que el impulsor podrá producir alrededor de 9 500 ft de carga, lo que depende del gas que se comprima. Si se requieren valores más altos, se emplean compresores de etapa múltiple (Greene, 1987).

Debido a las altas velocidades de los compresores centrífugos, se debe tener más cuidado con el balanceo del rotor. La industria ha aceptado, en general, la siguiente fórmula para los límites de vibración permisibles en el eje o árbol del compresor:

$$Z = \sqrt{12000/n}$$

Ecuación No. 2
(Greene, 1987)

En donde Z es el límite de vibración permisible, pico a pico, en mils (milésimas de pulgada) y n es la velocidad, en rpm. Z tiene un límite máximo de 2,000 a cualquier velocidad.

Las ventajas del empleo de un compresor centrífugo son:

1. En el intervalo de 2,000 a 200,000 ft³/min, y según sea la relación de presión, este compresor es económico porque puede instalarse en una sola unidad.
2. Ofrece una variación bastante amplia en el flujo con un cambio pequeño en la carga.
3. La ausencia de piezas rozantes en la corriente de compresión permite trabajar un largo tiempo entre intervalos de mantenimiento, siempre y cuando los sistemas auxiliares de aceite lubricante y aceite de sellos estén correctos.
4. Se pueden obtener grandes volúmenes en un lugar de tamaño pequeño. Esto puede ser una ventaja cuando el terreno es muy costoso.
5. Cuando se genera suficiente vapor en el proceso, un compresor centrífugo será adecuado para moverlo con una turbina de vapor de conexión directa.
6. Su característica es un flujo suave y libre de pulsaciones

(Greene, 1987).

1. Elección de un compresor. La capacidad de un compresor es posible expresarla respecto al flujo en peso (lb/min) o por el gasto del equipo. El gasto es posible referirlo a las condiciones estándar (14.7 psi y 60 F) como PCME (Pies Cúbicos Estándar por Minuto) o en relación a las condiciones de succión expresadas como PCMS, pies cúbicos por minuto. Es posible asumir para estimaciones de cálculo las siguientes relaciones:

$$PCMS = Q_s = W\bar{v} = W/\rho$$

Ecuación No. 3
(Greene, 1987).

En donde W es el flujo, lb/min, \bar{v} es el volumen específico, ft³/lb, y ρ es la densidad, lb/ft³.

$$PCME = 379.46M/60$$

Ecuación No. 4

(Greene, 1987).

En donde M es el flujo, de mol/h.

Para cualquier compresor, el caballaje requerido es:

$$HP_{g(ad)} = \frac{HP_{ad}}{33,000\eta_{ad}}$$

Ecuación No. 5

(Greene, 1987)

Y la carga adiabática es posible expresarla como:

$$H_{ad} = \left(\frac{z_s + z_d}{2}\right) \left(\frac{1545}{M_w}\right) T_s \left[\frac{r_c^{(k-1)/k} - 1}{(k-1)/k}\right]$$

Ecuación No. 6

(Greene, 1987)

En donde $HP_{g(ad)}$ es el caballaje adiabático, para el gas, hp; W es el flujo en peso, lb/min; HP_{ad} es la carga diabática, (lb-ft)/lb; η_{ad} es la eficiencia adiabática; z_s es el factor de compresibilidad en las condiciones de succión, z_d es el factor de compresibilidad en las condiciones de descarga, M_w es el peso molecular y T_s es la temperatura de succión (Greene, 1987).

Cuando se utilizan tablas de propiedades específicas para gases o inclusive la cara psicrométrica (diagramas de Mollier) para hacer los cálculos del compresor, la carga adiabática H_{ad} es posible calcularlo con:

$$H_{ad} = 778 Ah$$

Ecuación No. 7

(Greene, 1987)

En donde A es el área superficial de succión del compresor, ft² y h es la entalpía, Btu/lb.

La velocidad específica, N_i , es un número índice para los impulsores o rotores de los diversos tipos de bombas y compresores, dado por la siguiente ecuación:

$$N_s = N\sqrt{Q}/H^{3/4}$$

Ecuación No. 8

(Greene, 1987)

Donde la velocidad de rotación N se expresa en rpm, la capacidad Q , en ft³/s en las condiciones de succión, y la carga H , en (lb-ft)/lb.

Otra cantidad adimensional para impulsores o rotores es el diámetro específico, D_s definido como:

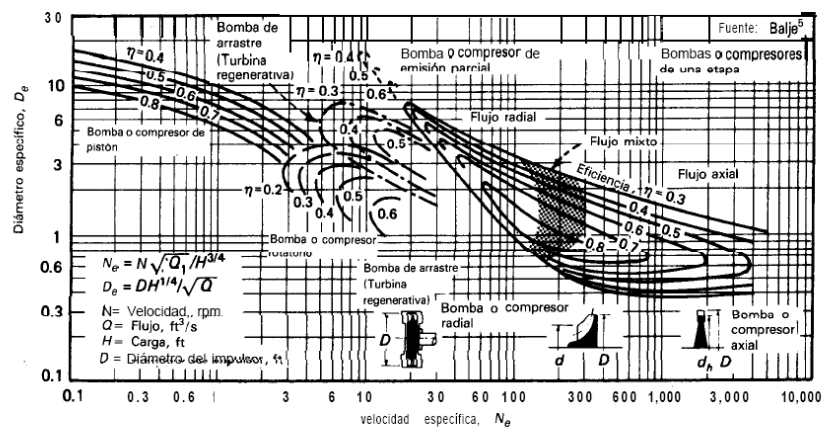
$$D_s = \frac{DH^{1/4}}{\sqrt{Q}}$$

Ecuación No. 9
(Greene, 1987)

En donde D es el diámetro del impulsor o el rotor, ft.

A partir de la relación entre velocidad específica y diámetro específico para un compresor, el ingeniero alemán Balje preparó una gráfica específica para determinar la elección del compresor óptimo de acuerdo a las condiciones requeridas. Cabe mencionar que para la utilización de esta gráfica, debe ser sobre la base de carga por etapa; es decir, se debe seleccionar cada impulsor o etapa con respecto a la capacidad de entrada y carga para esa etapa (Greene, 1987).

Gráfica No. 3 Elección del compresor óptimo



La velocidad específica y el diámetro específico permiten la selección inicial de un tipo definido de compresor de una etapa

Fuente. Greene, 1987

D. Instrumentación

1. Sensores ópticos/fotoeléctricos. Un sensor es un elemento de detección con la capacidad de transformar el fenómeno físico detectado a una señal eléctrica. La clasificación de sensores es posible realizarla a partir de la naturaleza de la energía detectada. De esta forma, existen sensores mecánicos, electromagnéticos, de temperatura, ópticos, entre otros (Hesse, 2001).

La posición de objetos puede ser visualizada utilizando sensores ópticos que trabajen en el espectro infrarrojo o visible. La principal aplicación de este tipo de sensores es la detección de componentes no metálicos. Los sensores ópticos son capaces de detectar vidrio, elementos de nivel variables y elementos móviles. Dentro de las desventajas de los sensores ópticos es su sensibilidad al polvo y a la suciedad. En ambientes que contengan niveles elevados de polvo, se recomienda limpiar el sensor con aire comprimido (Hesse, 2001).

Un caso particular de los sensores ópticos son los sensores fotoeléctricos, los cuales son sensibles a la recepción de los fotones de luz. La mayor parte de sensores y dispositivos fotoeléctricos están hechos de silicón, un material semiconductor. El funcionamiento de un mecanismo fotoeléctrico se basa en el principio que la conductividad de un material semiconductor, incrementa significativamente al entrar en contacto directo con la presencia de luz. La sensibilidad dependerá de la longitud de onda recibida (Hesse, 2001).

El arreglo de un sensor fotoreflexivo consiste en un transmisor y receptor unidos en el mismo dispositivo. De manera opuesta al sensor se instala una barrera de luz reflectiva la cual recibe constantemente una emisión láser que genera de manera constante el sensor. Cuando el láser es interrumpido, el sensor genera la señal eléctrica detectando el paso de un objeto hasta un rango de 4 m de distancia, según sea el proveedor del equipo (Hesse, 2001).

2. PLC. Un Programable Lógico Controlable, (PLC de acuerdo a sus siglas en inglés) consiste en un dispositivo electrónico diseñado para programar y controlar procesos secuenciales. Un PLC posee las herramientas necesarias, tanto de software como de hardware, para controlar dispositivos externos, recibir señales de sensor y tomar decisiones de acuerdo a un programa que el usuario elabore según el esquema del proceso a controlar. Por definición, el diseño de un PLC implica que adicional a los componentes físicos requeridos para la adaptación de las señales, es necesario disponer de un programa para que el PLC pueda conocer la naturaleza de la señal recibida y ejecutar una acción según sea el requerimiento del usuario (D´acunto, 2011).

Las entradas pueden recibir señales de tipo digital, por ejemplo interruptores, o de tipo analógico, como sensores de temperatura. Estas señales son transformadas internamente en señales compatibles con los microprocesadores y demás circuitos integrados de procesamiento interno (D´acunto, 2011).

Después que se ha hecho el procesamiento de las señales y se han tomado decisiones, el PLC altera sus salidas, inicialmente con señales de formato digital y posteriormente a otro formato de acuerdo a los actuadores que se vayan a utilizar, ya sean digitales o analógicos (D´acunto, 2011).

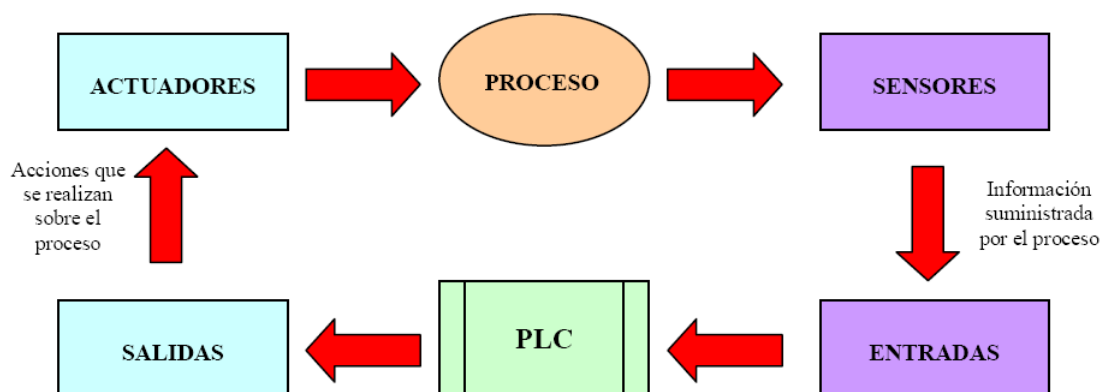
Todo PLC está compuesto de tres componentes principales:

- a. Una Unidad Central de Procesamiento (CPU).
- b. Un grupo de entradas.
- c. Un grupo de salidas.

Un PLC posee una CPU con uno o varios microprocesadores que se encargan de analizar la información que les llega y de ordenar acciones de acuerdo al programa que tengan instalado. Los PLC capturan señales de sensores, interruptores, pulsadores, y otros; por su parte para entregar los resultados a través de sus salidas (contactores, relé, electroválvulas, motores, etc.) (D´acunto, 2011).

A continuación se muestra el diagrama de funcionamiento básico de un PLC en cualquier proceso industrial:

Ilustración No. 2 Diagrama de funcionamiento de un PLC



Fuente. D´acunto, 2011

E. Buenas Prácticas de Manufactura

La OMS define las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) como << el área de garantía de la calidad que asegura que los productos se fabriquen en forma uniforme y controlada, de acuerdo con las normas de calidad adecuadas al uso que se pretende dar a los productos, y conforme a las condiciones exigidas para su comercialización >> (Gillian, *et al.* 1998).

Las BPM abarcan todos los aspectos del proceso de fabricación locales, almacenamiento y transporte adecuados; personal calificado y capacitado para la producción y el control de la calidad; laboratorios apropiados; procedimientos e instrucciones escritos aprobados; registros donde consten todas las etapas de los procedimientos definidos adoptados; posibilidad de seguir un producto en todas sus etapas mediante registros de procesado de lotes y registros de distribución; y sistemas para el retiro de un producto y la investigación de quejas. Uno de los principios de las BPM es que la calidad forma parte

integral de la elaboración del producto, y no es algo que meramente se somete a prueba en el producto. Por consiguiente, con esto se asegura que el producto no sólo cumple con las especificaciones finales, sino que se ha hecho por los mismos procedimientos y en las mismas condiciones cada vez que se elabora. Hay muchas formas de lograr esto: la validación es la parte de las BPM por la cual se logra que los sistemas, los equipos, los procesos y los procedimientos para los ensayos del establecimiento estén bajo control y, por consiguiente, se produzca uniformemente un producto de calidad (Gillian, *et al.* 1998).

F. Control de calidad

El control de calidad es un concepto muy amplio que toma en consideración todos los factores que, en conjunto o individualmente, afectan la calidad del producto. Es un sistema de control que toma en cuenta problemas o inconvenientes ocurridos en producciones anteriores para estudiar cómo pueden llegar a afectar la producción actual. Por otro lado, el control de calidad es un derivado de la garantía de calidad y se interesa únicamente en muestreos, pruebas físicas y documentación durante y después la producción de medicamentos. Además, se dedica al monitoreo de los procesos, comparando el producto contra un estándar y actuando cuando sea necesario corregir una desviación para garantizar la calidad del producto en cada lote producido. El sistema de control de calidad puede ser dividido en control de calidad durante el proceso y después de producción (Gillian, *et al.* 1998).

El control de calidad “en-línea” o durante la producción monitorea variables críticas dentro del proceso de manufactura para garantizar que el producto final cumpla especificaciones de calidad y para corregir cualquier desviación de calidad que encuentren. Este tipo de control incluye documentación previamente establecida y, por lo general, se lleva a cabo con el personal de producción. Sus objetivos son minimizar las variaciones entre cada lote producido, garantizar la calidad del producto final y la implementación de las buenas prácticas de manufactura (Gillian, *et al.* 1998).

Para ejecutar un control de calidad adecuado durante la producción de las suspensiones, se debe definir qué proceso se monitoreará y en qué fase, el número de muestras, su frecuencia y volumen a tomar para realizar análisis y los rangos permitidos de variación para las variables medidas (Gillian, *et al.* 1998).

G. Validación

La validación se define como el establecimiento de pruebas documentales que aportan un alto grado de seguridad de que un proceso planificado se efectuará uniformemente en conformidad con los resultados previstos especificados. Los estudios de validación son aplicables a las pruebas analíticas, los equipos, los sistemas y servicios del establecimiento (como aire, agua, vapor) y procesos (como el de fabricación, limpieza, esterilización, llenado estéril, liofilización, etc.) (Gillian, *et al.* 1998).

Es preciso demostrar que cada paso del proceso de fabricación de un producto se efectúa según lo previsto. Los estudios de validación verifican el sistema en estudio y en condiciones de prueba extremas semejantes a las que cabría esperar durante el proceso, a fin de comprobar que dicho sistema está bajo control. Una vez que el sistema o proceso se ha validado, cabe prever que permanezca bajo control, siempre y cuando no se hagan cambios en el mismo. Si se producen modificaciones o surgen problemas, o si un equipo se sustituye o se cambia de ubicación, habrá que efectuar la revalidación. Los equipos y procesos de importancia crítica se revalidan en forma sistemática a intervalos adecuados a fin de demostrar que el proceso sigue bajo control (Gillian, *et al.* 1998).

La validez de los sistemas, equipos, pruebas o procesos se pueden establecer mediante estudios prospectivos, concurrentes o retrospectivos (Gillian, *et al.* 1998).

La validación prospectiva es la ejecución y documentación de un protocolo de prueba aprobado previamente, cuya finalidad es demostrar que un proceso opera según lo previsto, antes de autorizar la distribución del producto fabricado. Se requieren como mínimo tres lotes del producto. Si se fabrican lotes de tamaño reducido, cada lote debe contener como mínimo la décima parte del lote de producción a escala industrial, o bien 100 000 unidades, debiéndose elegir el mayor de esos dos valores. La validación prospectiva es conducida antes de la distribución de un producto nuevo, o un producto hecho bajo un proceso de fabricación revisado, donde dichas revisiones pueden afectar las características del producto (Gillian, *et al.* 1998).

La validación concurrente está basada en los datos recogidos durante la ejecución efectiva de un proceso que ya se ha implementado en una planta de producción. Se debe redactar un protocolo para definir la información que ha de recogerse y evaluarse. Este método es adecuado para los fabricantes que llevan mucho tiempo establecidos y que tienen un proceso de fabricación bien controlado (Gillian, *et al.* 1998).

La validación retrospectiva de un proceso se lleva a cabo para un producto que ya está en distribución. Se basa en datos acumulados de producción, de prueba y control de calidad. Sin embargo, esta forma de validación no se acepta por varios motivos. Por ejemplo, la falta de protocolos de validación suele indicar falta de documentación y, con frecuencia, los datos corresponden únicamente a la indicación de aprobado o rechazado, sin haberse efectuado análisis estadísticos basados en datos numéricos. Además, si un sistema, equipo o proceso se ha sometido a revisión, reparación o modificación, no puede ser sujeto a una validación retrospectiva. A menos que se haya llevado a cabo un control de cambios muy bien documentado, no se podrá determinar qué periodos pueden analizarse retrospectivamente (Gillian, *et al.* 1998).

Finalmente, la validación a escala de laboratorio y a escala piloto procura reproducir el proceso industrial a escala menor. Para que los estudios de validación a escala de laboratorio y a escala piloto puedan aceptarse como prueba de la validez del proceso a escala industrial, es necesario demostrar que se

han hecho cálculos a escala menor de todos los parámetros críticos del proceso: tiempos, temperaturas, flujos, velocidades, dimensiones, presiones, etc. (Gillian, *et al.* 1998).

1. Protocolos. Un protocolo es un conjunto de instrucciones por escrito cuyo alcance es mayor que el de un procedimiento de operación estandarizado (SOP, por sus siglas en inglés). Los SOP son las instrucciones detalladas por escrito para efectuar procedimientos que se efectúan normalmente en el curso de cualquiera de las actividades relacionadas con la fabricación de productos farmacéuticos. Por el contrario, un protocolo describe los detalles de un estudio integral planificado para investigar el funcionamiento uniforme de un nuevo sistema/equipo, un nuevo procedimiento o la aceptabilidad de un nuevo proceso antes de ejecutarlo. Los protocolos incluyen antecedentes importantes, explican el fundamento lógico y el objetivo del estudio, ofrecen una descripción completa de los procedimientos que habrán de seguirse, fijan los parámetros que habrán de medirse, describen como se analizarán los resultados y facilitan criterios de aceptación determinados con anterioridad para extraer las conclusiones (Gillian, *et al.* 1998).

Los protocolos de validación son importantes para asegurar que se recaben pruebas documentadas a fin de demostrar que un equipo, un sistema, un proceso o un método se desempeñan uniformemente en conformidad con el nivel especificado (Gillian, *et al.* 1998).

H. Seguridad Industrial

Se denomina peligro mecánico el conjunto de factores físicos que pueden dar lugar a una lesión por la acción mecánica de elementos de máquinas, herramientas, piezas a trabajar o materiales proyectados, sólidos o fluidos. Las formas elementales del peligro mecánico son principalmente: aplastamiento; cizallamiento; corte; enganche; atrapamiento o arrastre; impacto; perforación o punzonamiento; fricción o abrasión; proyección de sólidos o fluidos (Piqué, 2011).

El peligro mecánico generado por partes o piezas de la máquina está condicionado fundamentalmente por: su forma (aristas cortantes, partes agudas); su posición relativa (zonas de atrapamiento); su masa y estabilidad (energía potencial); su masa y velocidad (energía cinética); su resistencia mecánica a la rotura o deformación y su acumulación de energía, por muelles o depósitos a presión (Piqué, 2011).

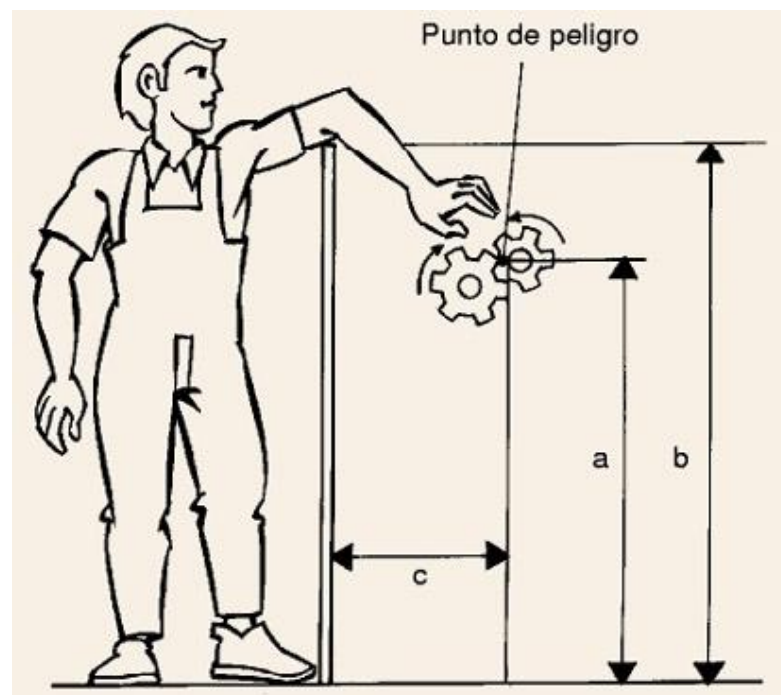
Las guardas se deben considerar como la primera medida de protección a tomar para el control de los peligros mecánicos en máquinas, definiéndose como un medio de protección que impide o dificulta el acceso de las personas o de sus miembros al punto o zona de peligro de una máquina. Una guarda es un elemento de una máquina utilizado específicamente para garantizar la protección mediante una barrera material. Dependiendo de su forma, una guarda puede ser denominado carcasa, cubierta, pantalla, puerta, etc. (Piqué, 2011).

Una guarda puede desempeñar su función por sí sola, en cuyo caso solamente es eficaz cuando está cerrado, o actuar asociada a un dispositivo de enclavamiento o de enclavamiento con bloqueo, en cuyo caso la protección está garantizada cualquiera que sea la posición del resguardo (Piqué, 2011).

1. Dimensionamiento de guarda. Para dimensionar la protección cuando el elemento peligroso está a una determinada altura, inferior a 2,50 - 2,70 m, con respecto al plano de referencia del trabajador (nivel en el que la persona se sitúa normalmente), se valoran conjuntamente tres parámetros que influyen en el alcance por encima de una estructura de protección (ver Ilustración No. 3):

- a. Distancia de un punto de peligro al suelo.
- b. Altura del borde del resguardo.
- c. Distancia horizontal desde el punto de peligro al resguardo.

Ilustración No. 3 Esquema para dimensionar guardas por riesgo de prensado



Fuente. Piqué, 2011

En la Tabla No. 1 se representan, cuando el riesgo en la zona peligrosa es bajo, los valores mínimos que deben tener esos parámetros a fin de garantizar la inaccesibilidad al elemento peligroso, fijando como criterio de aplicación que no se deben hacer interpolaciones a partir de los valores de la tabla. Así pues, cuando los valores de a, b o c estén situados entre dos valores de la tabla, se elegirá el valor que entrañe el mayor nivel de seguridad (Piqué, 2011).

Tabla No. 1 Distancias requeridas según NTP para dimensionamiento de guardas

Distancias de un punto de peligro desde el suelo a (mm)	Altura del borde de la barrera b (mm)							
	2400	2200	2000	1800	1600	1400	1200	1000
	Distancia horizontal desde el punto de peligro c (mm)							
2400	100	100	100	100	100	100	100	100
2200	-	250	350	400	500	500	600	600
2000	-	-	350	500	600	700	900	1100
1800	-	-	-	600	900	900	1000	1100
1600	-	-	-	500	900	900	1000	1300
1400	-	-	-	100	800	900	1000	1300
1200	-	-	-	-	500	900	1000	1400
1000	-	-	-	-	300	900	1000	1400
800	-	-	-	-	-	600	900	1300
600	-	-	-	-	-	-	500	1200
400	-	-	-	-	-	-	300	1200
200	-	-	-	-	-	-	200	1100
0	-	-	-	-	-	-	200	1100

Fuente. Piqué, 2011

I. Análisis económico

1. Flujo de caja. Las entradas (ingresos) y salidas (costos) estimadas de dinero reciben el nombre de flujo de caja o efectivo. Dichas estimaciones se realizan para evaluar cada alternativa económica factible. Sin estimaciones del flujo de caja durante un periodo establecido, resulta imposible llevar a cabo un estudio de ingeniería económica (Blank, 2006).

2. Análisis de Valor Presente Neto (VPN). El valor presente se calcula a partir de la tasa mínima atractiva de rendimiento para cada alternativa. Todos los flujos de efectivo futuros asociados con una alternativa se convierten en efectivo presente. Suponiendo que las alternativas cuentan con vidas iguales, usar este método es una forma bastante directa de determinar qué opción elegir. Una vez calculado el valor presente neto de cada opción, se selecciona aquella cuyo valor sea mayor (Blank, 2006)

3. Tasa Interna de Retorno (TIR). El criterio de la tasa interna de retorno (TIR) evalúa el proyecto en función de una única tasa de rendimiento por periodo, con la cual la totalidad de los beneficios actualizados son exactamente iguales a los desembolsos expresados en moneda actual. En otras palabras, la TIR representa la tasa de interés más alta que un inversionista podría pagar sin perder dinero, si todos los fondos para el financiamiento de la inversión se tomaran prestados y el préstamo se pagara con las entradas en efectivo de la inversión a medida que se fuesen produciendo (Sapag, 2008).

4. Depreciación. Se define como depreciación a la reducción del valor de un activo durante un período de tiempo transcurrido. El método empleado para depreciar un activo es una forma de tomar en consideración el valor decreciente del activo para el propietario y para representar el valor (monto) de disminución de los fondos de capital invertidos en él. El monto de la depreciación anual D_t no representa un flujo de efectivo real, ni refleja necesariamente el patrón del uso real durante su posesión (Blank, 2006).

La tasa de depreciación o tasa de recuperación es la fracción del costo inicial que se elimina cada año por depreciación. Dicha tasa, denotada por d_t puede ser la misma cada año, denominándose entonces tasa en línea recta, o diferente para cada año del periodo de recuperación (Blank, 2006).

a. Depreciación por el método SMARC. El método por Sistema Modificado Acelerado de Recuperación de Costos (SMARC) consiste en el método de depreciación impositiva requerido a nivel de impuestos para todos los activos depreciables en Estados Unidos. El SMARC calcula los montos de depreciación anual utilizando la siguiente ecuación:

$$D_t = d_t B$$

Ecuación No. 10

(Blank, 2006)

Donde B es el costo inicial y d_t la tasa de depreciación ya tabulada en valores específicos. Como para otros métodos, el valor en libros en el año t se determina restando la cantidad de depreciación del valor en libros del año anterior,

$$VL_t = VL_{t-1} - D_t$$

Ecuación No. 11

(Blank, 2006)

O restando la depreciación total durante los años 1 hasta $(t-1)$ del costo inicial. El costo inicial B siempre se deprecia completamente, puesto que el SMARC supone que el valor de salvamento $S = 0$, aunque haya un salvamento positivo que sea realizable (Blank, 2006).

Es necesario hacer mención el hecho de que todas las tasas de depreciación SMARC se presentan para 1 año más que el periodo de recuperación dado. Cabe mencionar que la tasa del año extra es la mitad de la tasa del año anterior. Este hecho sucede porque hay una convención de mitad de año incorporada dentro del SMARC. Tal convención supone que toda la propiedad entra en servicio en el punto medio del año fiscal de instalación. Por consiguiente, para fines impositivos, se aplica sólo el 50% de la depreciación de saldo decreciente del primer año. Así se elimina parte de la ventaja de la depreciación acelerada y requiere que se tome la depreciación de medio año en el año $n + 1$ (Blank, 2006).

Tabla No. 2 Tasa de depreciación (%) para cada período de recuperación SMARC en años

Año	n = 3	n = 5	n = 7	n = 10	n = 15	n = 20
1	33.33%	20.00%	14.29%	10.00%	5.00%	3.75%
2	44.45%	32.00%	24.49%	18.00%	9.50%	7.22%
3	14.81%	19.20%	17.49%	14.40%	8.55%	6.68%
4	7.41%	11.52%	12.49%	11.52%	7.70%	6.18%
5		11.52%	8.93%	9.22%	6.93%	5.71%
6		5.76%	8.92%	7.37%	6.23%	5.29%
7			8.93%	6.55%	5.90%	4.89%
8			4.46%	6.55%	5.90%	4.52%
9				6.55%	5.91%	4.46%
10				6.55%	5.90%	4.46%
11				3.28%	5.91%	4.46%
12					5.90%	4.46%
13					5.91%	4.46%
14					5.90%	4.46%
15					5.91%	4.46%
16					2.95%	4.46%
17 – 20						4.46%
21						2.23%

Fuente. Blank, 2006

II. JUSTIFICACIÓN

Las industrias hoy en día buscan ser más eficientes dentro de un mercado globalizado y altamente competitivo al menor costo posible. Una de las herramientas que lleva a cualquier industria a la optimización de recursos aprovechando la tecnología disponible es la instrumentación de procesos. Si bien requiere una inversión considerable a realizar, los beneficios que son consecuentes a la automatización de un proceso son abundantes. Entre los beneficios de la instrumentación de una industria cabe mencionar: estandarización de procesos, control de manufactura y empaque de productos, beneficios a operarios de equipos ya sea por evitar contacto a materiales tóxicos o inclusive por ergonomía según corresponda el diseño del rol de la persona, entre otros.

El objetivo de todo proceso de automatización es la eliminación de cualquier trabajo manual, mecánico y repetitivo y transformarlo a un sistema óptimo en utilización de recursos de la manera más eficiente a partir de la instrumentación de los equipos. Es por esta razón que la instrumentación de procesos es una herramienta indispensable para cualquier ingeniero químico; asegurar tanto la repetitividad como la confiabilidad del proceso entero desde la transformación de la materia prima hasta el empaque del producto terminado, a partir del cumplimiento de estándares y normas de calidad ya reguladas por entes internacionales como ISO 9000.

El hipoclorito de sodio es un reactivo cuyas propiedades corrosivas son nocivas al ser humano y su toxicidad varía según la vía de ingestión del material. Por la vía respiratoria puede causar irritación y congestión pulmonar si fuese inhalado; en caso de ingerirse puede causar edemas gastrointestinales y el contacto directo puede llegar a causar quemaduras en la piel. Al introducir un sistema de instrumentación al proceso de empaque de cloro, se beneficia directamente a aquellas personas cuyo trabajo depende de la manipulación del cloro ya que se reduce en gran parte la exposición directa al material y el manejo de éste.

Además de mejorar la calidad de vida laboral del empleado al eliminar riesgos de exposición al hipoclorito de sodio, se beneficia también la productividad de la operación. Los recursos dedicados al proceso de empaque de cloro al abandonar tareas mecánicas y repetitivas podrán invertir mayor cantidad de su tiempo en análisis de problemas recurrentes dentro del proceso y la detección de defectos tanto en los equipos como en el proceso. A partir de la automatización, se estaría alcanzando entonces la optimización de recursos una vez definida la instrumentación a acoplar al proceso.

III. OBJETIVOS

A. Generales

1. Proponer un sistema de automatización que garantice el ordenamiento constante de docenas de sachets de cloro en una línea de empaque industrial.

B. Específicos

1. Evaluar la factibilidad técnica y económica del diseño propuesto a partir de un análisis de Valor Presente Neto (VPN) y Tasa Interna de Retorno (TIR) para decidir la mejor inversión de capital en el proceso.
2. Determinar el incremento de productividad de la operación de empaque de cloro con el diseño de automatización propuesto.
3. Eliminar el riesgo de exposición del hipoclorito de sodio al 4% a los operarios que intervienen en la línea de empaque industrial.
4. Seleccionar y dimensionar el sistema óptimo de automatización que garantice el ordenamiento constante de docenas de sachets de cloro en una línea de empaque industrial.

IV. PROBLEMA A RESOLVER

El diseño actual del proceso de empaque secundario de docenas de cloro requiere la presencia de un operario fijo dedicado al ordenamiento manual del producto para que éste pueda ser empacado sin ningún inconveniente. La posición física del recurso no es ergonómicamente recomendable ya que es necesario mantener la espalda en una postura erguida constantemente repercutiendo en consecuencias médicas negativas sobre el lumbago del individuo.

Además, al contar con una posición de una naturaleza mecánica y repetitiva, clasifica a la operación actual de empaque de cloro como un proceso con baja productividad y altos costos asociados donde existen áreas de costos con oportunidad de optimización en términos de eficiencia operativas.

V. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo el proyecto de automatización se estará llevando a cabo la siguiente metodología de trabajo, estructurada en los siguientes segmentos:

A. Observación

Consiste en la fase inicial del proyecto. El objetivo de esta fase es describir el diseño y funcionamiento actual de la línea de empaque. Es necesario considerar en esta fase cuáles son las condiciones óptimas en las que opera la línea y defectos de diseño bajo los cuales opera en el proceso. Se debe describir cuáles son las funciones específicas del recurso designado para ordenar las docenas de sachets así como también la ergonomía de su posición de trabajo.

B. Diseño de solución a implementar

Esta fase consiste en buscar el diseño óptimo para entregar un ordenamiento uniforme de docenas a la siguiente banda transportadora del área. Las propuestas de diseño pueden provenir de una lluvia de ideas a partir del operario y el ingeniero de proceso ya que la experiencia y conocimiento de ambos retroalimentará las ideas y se irán corrigiendo por partes. El objetivo de esta fase es como mínimo determinar dos diseños óptimos de sistemas de ordenamiento para el proceso.

C. Factibilidad operacional y económica

Una vez definidas las propuestas de diseño se evaluará la viabilidad tanto técnica como económica de ambas propuestas. La factibilidad técnica se evaluará de acuerdo a los planos propuestos del diseño y se tomará en cuenta la complejidad operacional que conlleve al momento de su implementación en el proceso. En este momento podría determinarse el diseño óptimo desde el punto de vista operacional. Adicional a esto, se realizará un análisis financiero para la inversión requerida de la propuesta óptima. Se evaluarán los ahorros y beneficios que entregará el proyecto una vez implementado y se analizará contra el capital requerido de la propuesta. Se considerará de la misma manera cualquier gasto pre-operativo de instalación, tiempo de paro requerido en el proceso, etc. A partir de un Análisis de Valor Presente Neto (VPN).

D. Propuesta final

Una vez definido el planteamiento del diseño del proyecto, se presentará la recomendación técnica tomando en cuenta las condiciones actuales de operación en donde el sistema pueda ser implementado y validado.

VI. RESULTADOS

Tabla No. 3 Listado de equipo a utilizar

Equipo	Cantidad
Cilindros neumáticos doble efecto	2
Electroválvula 5/2 monoestable (tipo MFH)	2
Unidad de mantenimiento para aire comprimido	2
Sensores ópticos reflectores	4
Válvulas reguladoras de caudal	4
Controlador lógico programable	1
Compuertas de PVC	2
Banda curva transportadora	1

Tabla No. 4 Especificaciones de cilindro neumático de doble efecto

Especificación	Medida
Conexión neumática	G1/8
Rosca del vástago	M10 x 1.25
Componentes del equipo	Émbolo, Vástago y camisa de cilindro
Fluido de funcionamiento	Aire comprimido filtrado, con o sin lubricación
Diámetro del émbolo	25 mm
Presión de funcionamiento	1 – 10 bar
Temperatura de ambiente	-20 – 80 C
Velocidad del equipo en posición horizontal a 6 bar	10 – 100 mm/s
Peso del equipo	238 g
Marca	Festo

Tabla No. 5 Materiales del cilindro

Componente del equipo	Material
Vástago	Acero inoxidable de aleación fina
Culata anterior/posterior	Aluminio Anodizado
Camisa del cilindro	Acero inoxidable de aleación fina
Calidad del material	Estándar según RoHS

Tabla No. 6 Especificaciones de electroválvula 5/2 monoestable

Especificación	Medida
Tipo de accionamiento	Eléctrico
Sentido del flujo	Irreversible
Díámetro nominal	8 mm
Caudal nominal	1200 L/min
Conexión neumática en la placa base	G1/4
Peso del equipo	390 g
Presión de funcionamiento	3 – 10 bar
Temperatura del ambiente	-5 – 40 C
Tiempo de respuesta de conexión	23 ms
Tiempo de respuesta de desconexión	35 ms
Voltaje de bobina	24 V
Material de equipo	Fundición inyectada de aluminio, poliacetal
Marca	Festo

Tabla No. 7 Especificaciones para unidad de mantenimiento de aire comprimido

Especificación	Medida
Conexión neumática	G1/4
Fluido	Aire comprimido
Grado de filtración	5 – 40 μm
Cantidad máxima de condensado	43 cm^3
Conexión neumática	G1/4
Temperatura de ambiente	-10 – 60 C
Presión de funcionamiento	3 – 10 bar
Materiales	Fundición inyectada de zinc, aluminio y policarbonato.
Marca	Festo

Tabla No. 8 Especificaciones para sensores ópticos reflectores

Especificación	Medida
Rango de funcionamiento	0.01 – 4 m
Dimensiones de equipo	16 mm x 39.5 mm x 12 mm
Parámetros de haz de luz	Láser rojo visible
Longitud de onda	650 nm
Características del sensor	Sensor fotoeléctrico retro-reflectivo
Voltaje requerido	10 – 30 V
Tiempo de respuesta	0.5 ms
Marca	Sick

Tabla No. 9 Especificaciones para válvulas reguladoras de caudal

Especificación	Medida
Funcionamiento de válvula	Válvula monoestable de 3/2 vías
Sentido del flujo	Irreversible
Voltaje requerido	24 V
Caudal nominal	1000 - 6500L/min
Conexión neumática	G1/4
Conexión eléctrica	Conector según DIN EN 175301-803
Presión de funcionamiento	2.5 – 16 bar
Temperatura del ambiente	-10 – 60 C
Fluido	Aire comprimido filtrado, con o sin lubricación

Tabla No. 10 Especificaciones para Controlador Lógico Programable (PLC)

Especificación	Medida
Entradas digitales / entradas analógicas	10 / 2
Salidas digitales / salidas analógicas	6 / 0
Conexiones	RS-232 y RS-485
Otros	Adaptable a conexión RTD Puerto Ethernet / IP

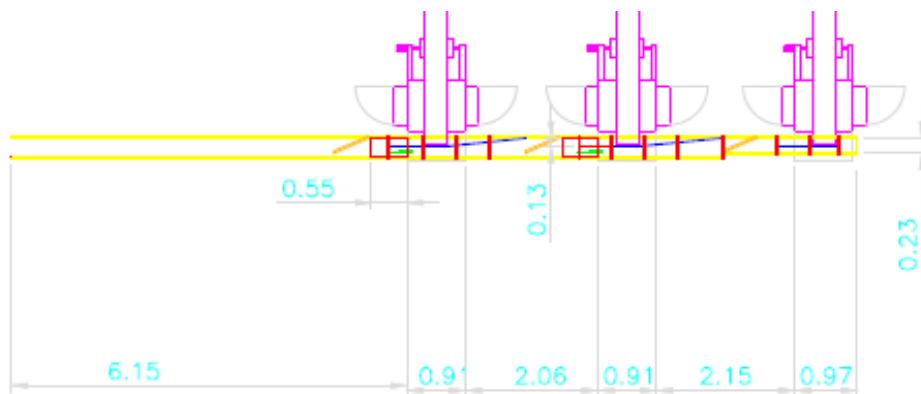
Tabla No. 11 Especificaciones de compuertas de paso en estaciones de control de tráfico

Especificación	Medida
Material de fabricación	PVC
Dimensiones de compuerta	25 cm x 11 cm x 1 cm

Tabla No. 12 Especificaciones de banda curva transportadora

Especificación	Medida
Material de fabricación	Polipropileno
Marca	Intralox
Dimensiones	2.50 m x 0.45 m
Estructura de nivelación	Acero inoxidable de 2.4 mm de espesor
Diámetro de chumaceras	30 mm
Descripción de sprockets	Plásticos bipartidos con dientes de titanio
Motor de la banda	0.5 hp

Ilustración No. 4 Layout general de diseño propuesto* (vista planta)



*Escala en metros

Ilustración No. 4 Diagrama de instrumentación del sistema de ordenamiento de docenas de cloro

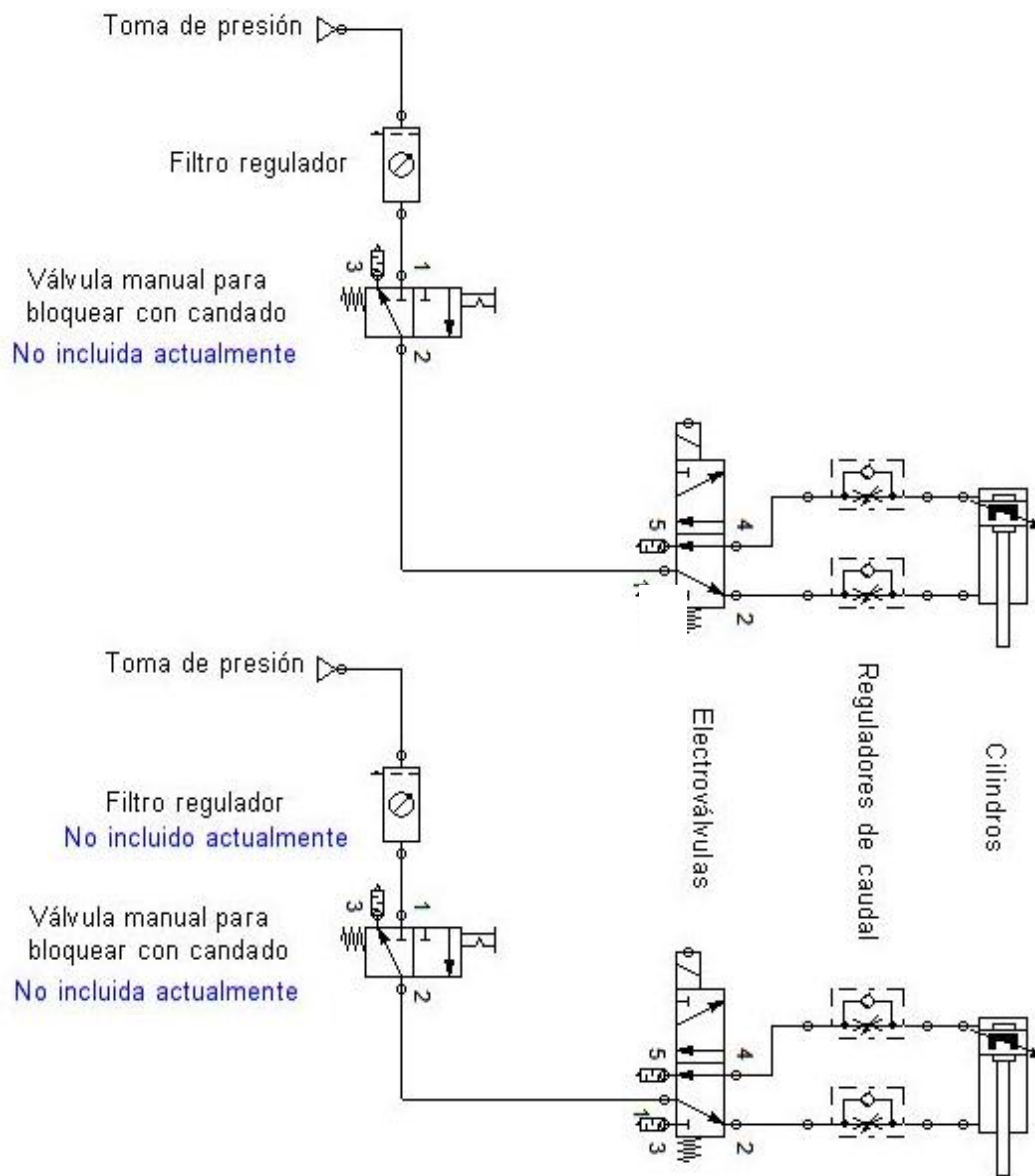


Tabla No. 13 Evaluación económica del diseño

Inversión de capital requerido	Q 148,606.41
Ahorros entregados	Q 102, 493.74
TIR	29%
VAN	Q 47,338.00

VII. DISCUSIÓN

El objetivo de este trabajo es realizar una propuesta técnica y económica acerca de un sistema de automatización que garantice el ordenamiento constante de docenas de sachets de cloro en una línea de empaque industrial. Para lograr el cumplimiento de este objetivo, se procedió a seleccionar y dimensionar el equipo necesario para garantizar un proceso automatizado con alto grado de confiabilidad.

En el proceso actual las máquinas empacadoras de docenas de cloro entregan el producto a una banda transportadora común de manera paralela y sin ningún orden asignado. Las docenas de cloro, al ser de consistencia maleable por la naturaleza líquida del producto, toman posiciones variables a lo largo de la banda mientras son transportadas a la siguiente máquina empacadora. Desde este punto se presenta el primer desafío para el diseño del proyecto ya que anteriormente se habían analizado propuestas de bandas transportadoras “inteligentes”. Estas bandas cuentan con un sistema de ordenamiento automático incorporado a lo largo de la banda mediante sensores y son bastante reconocidas en la industria alimenticia cuando se trabajan con productos empacados en corrugados o paquetes sólidos. La incompatibilidad de las docenas de cloro con este tipo de sistemas se debe a que este tipo de bandas son fabricadas a partir de un sistema compuesto por rodillos internos que desplazaría el paquete por el centro del transportador. Al trabajar paquetes líquidos maleables con bandas de rodillos, el movimiento de centralizado no es constante y por lo tanto no todas las docenas son ordenadas, provocando que el proceso de ordenamiento constante del producto sea poco confiable.

Siguiendo la descripción del proceso actual, fue necesario trabajar un mapeo del proceso identificando los puntos críticos donde la intervención humana es requerida para entregar el producto ordenado y separado de manera constante. Se identificó como el punto más crítico el final de la banda transportadora donde el ordenador hace contacto con una docena de cloro para tomarla, centrarla y ordenarla a lo largo de la banda. Se debe mencionar que en este punto el ordenador se encuentra ubicado en un banco de altura de 30 cm con respecto al nivel del suelo donde se debe estar sumamente atento a que todas las docenas ingresen de manera ordenada a la siguiente banda transportadora. Este nivel de atención requiere del operario mantener una posición erguida de manera constante, generando severas complicaciones en el lumbago del individuo.

El segundo punto crítico donde es necesaria la intervención humana es el traslape entre la banda receptora y la banda que transporta las docenas a la máquina enfardadora donde son empacadas en paquetes de seis unidades. Este punto no requiere de un recurso fijo que se dedique al ordenamiento de docenas debido a que ya vienen ordenadas por la tarea del primer ordenador, sin embargo es necesario controlar la posición en que son entregadas a la máquina enfardadora para evitar paros en el empaque debido al atascamiento por las posiciones desordenadas de las docenas en la entrada del equipo.

Una vez comprendido y analizado el proceso actual de la operación de empaque de la línea de cloro, se procedió a generar el diseño del proyecto según los requerimientos observados. El alcance del

diseño propuesto busca, como se mencionó previamente, garantizar un flujo de operación automatizado que permita incrementar la confiabilidad del producto eliminando la intervención humana. Es importante mencionar que para alcanzar el cumplimiento de este objetivo, es necesario considerar la parte económica que implica la inversión requerida del proyecto y los beneficios en costo que éste debe entregar para representar la opción financiera más atractiva disponible.

Dentro de los costos de reducción del proyecto, se considera la eliminación de la posición de ordenador de docenas por turno de producción. Cabe mencionar que por fines de análisis del proyecto, se asume que la posición de ordenador de docenas es remunerada con el salario mínimo pagado en Guatemala, equivalente a Q59.45 por hora laborada según el Acuerdo Gubernativo No. 388-2010 de la Constitución de la República. Adicional a la reducción de salario de la posición, se procedió a calcular las horas extra laboradas por el operario asumiendo una jornada laboral de lunes a viernes distribuida en dos turnos de producción de 12 horas cada uno. Este cálculo se ve reflejado en el inciso dos del aspecto económico del cálculo de la muestra. Una vez calculado el salario mensual devengado así como la cantidad de horas extra laboradas por los operarios durante el mes, se procedió a calcular las prestaciones correspondientes a otorgarles a los operarios de acuerdo a lo descrito en el Código de Trabajo de Guatemala. El detalle de las prestaciones calculadas puede visualizarse en la Tabla No. 32 (página 58) de la sección de datos calculados. Considerando las prestaciones laborales, se obtiene un beneficio total por términos de reducción de personal equivalente a Q102,493.74 al año. En este punto, es posible confirmar que el monto total calculado consiste en el beneficio mínimo que se entrega al eliminar la posición de ordenamiento de docenas sin importar la industria considerada ya que por ley, es necesario cubrir por lo menos el salario mínimo con sus debidas prestaciones a cualquier operario en el ámbito laboral.

De acuerdo a la necesidad de la industria, se busca entregar un proyecto cuyo flujo de caja en un tiempo de evaluación correspondiente a tres años sea positivo considerando como ahorros anuales los calculados previamente y que la inversión total requerida sea lo suficiente para garantizar la automatización del sistema de empaque secundario de la línea. A continuación se describe la propuesta determinada.

Para la propuesta de diseño, se listaron los equipos correspondientes al sistema de ordenamiento automatizado de docenas. Dichos equipos se muestran en la sección de resultados. Los componentes mecánicos se cotizaron con un proveedor externo y se encuentran listados en la Tabla No. 23 (página 55) en la sección de datos calculados del apéndice, de igual forma que la parte de programación (Tabla No. 24 página 56).

El principio de funcionamiento del diseño es por control de tráfico del paso de las docenas en donde el derecho de vía será priorizado según corresponda a la máquina empacadora, de acuerdo a la nomenclatura brindada en el diagrama CAD en la sección de resultados. La máquina empacadora A entrega una docena de cloro a la banda transportadora en posición vertical respecto al largo de la docena. El sistema está diseñado para que en el instante de recepción de la docena en la banda transportadora, el

movimiento hacia los lados se encuentre limitado por una placa de PVC que estará fijada a la estructura de la banda. El objetivo de la placa es actuar como una guía divisora a lo largo de la banda en los segmentos donde se encuentre fijada, a modo de crear dos carriles de tráfico independientes de docenas. La docena al encontrarse limitada por la placa de PVC, se ve forzada a continuar el movimiento que conlleva la banda por lo que la docena se desplaza hacia adelante, de forma ordenada. Tal como se puede observar en la Ilustración No.4 de la sección de resultados (página 28), la docena es transportada hacia unos rodillos ubicados de forma transversal sobre lo ancho de la banda, cuya función radica en colocar la docena en una posición totalmente horizontal a lo largo de ésta. Un parámetro importante a fijar en este punto es la altura de los rodillos sobre el nivel de la banda ya que a una altura relativamente alta, los rodillos no cumplirán eficientemente la tarea de colocar las docenas en posición horizontal. El sistema de ordenamiento está diseñado para operar el control de tráfico a partir de docenas uniformes y posicionadas de manera horizontal, no vertical por lo que existiría un riesgo de dejar pasar docenas que no vayan horizontalmente posicionadas. Si el nivel de los rodillos se encuentra en una posición muy baja, la docena no será capaz de desplazarse continuamente a lo largo de la banda, creando un cuello de botella en este punto y alterando el flujo de producción. Una vez la docena haya sido posicionada horizontalmente, se encuentra lista para acceder a la estación de control de tráfico. Se fijó la altura de los rodillos sobre el nivel de la banda a 30 cm para permitir que la docena mantenga una posición totalmente horizontal sin alterar el flujo del proceso.

Según el diseño propuesto, es necesario contar con dos estaciones de control para las tres máquinas empacadoras disponibles. El objetivo principal de la estación de control es priorizar el control de tráfico de los dos carriles de docenas de cloro. El carril prioritario será aquel donde la máquina empacadora entregue directamente la docena llevando éste el derecho de paso. Para regular el flujo de paso del carril no prioritario, se diseñó un sistema neumático en el cual un cilindro activa una compuerta para detener el paso de la docena en este carril. Debido a que la máquina empacadora A es la primera no hay necesidad de fabricar dos carriles para ésta y por lo tanto solo se requieren dos estaciones de control.

Cada estación de control requiere de los siguientes equipos para el accionamiento de las compuertas: un cilindro neumático de doble efecto, una electroválvula, dos válvulas reguladoras de caudal y una unidad de mantenimiento para el suministro de aire comprimido. Se procedió a elegir un cilindro neumático de doble efecto debido a que es necesario controlar el movimiento de la compuerta tanto de apertura como el de cierre. Originalmente, la estación de control está diseñada para detener el paso de una docena sobre el carril no prioritario por lo que un cilindro de simple efecto hubiese logrado cubrir ésta necesidad. Sin embargo al realizar pruebas piloto en la operación, se determinó que el tiempo de accionamiento de la compuerta para liberar el paso de docenas es de igual importancia para permitir el flujo constante de docenas en la línea y no alterar la capacidad de producción. Esto no hubiera sido posible en caso se hubiera elegido un cilindro de simple efecto ya que el suministro de aire permite un accionamiento reversible para la compuerta durante el movimiento de apertura y cierre. En otras palabras, se hubiera podido accionar únicamente la compuerta para detener la docena en el carril de la banda transportadora sin poder permitir el paso de la docena siguiente a la misma velocidad de reacción que

requiere el proceso. Por esta misma razón, las especificaciones del cilindro en el diseño, respecto a los tiempos de conexión y desconexión presentes en la tabla no. De resultados satisfacen los requerimientos el diseño de flujo. Al realizar pruebas piloto en la operación, se determinó que el tiempo de accionamiento de la compuerta para liberar el paso de docenas es de igual importancia para permitir el flujo constante de docenas en la línea y no alterar la capacidad de producción.

Después de determinar que el actuador óptimo para esta parte del proceso es un cilindro de doble efecto, fue necesario incluir dentro del diseño del proyecto válvulas reguladoras de caudal para cada uno de los puertos de entrada del cilindro. De esta manera, sería posible asegurar que se incrementará el tiempo de respuesta de accionamiento de la compuerta si los puertos son alimentados constantemente, dependiendo cual sea la necesidad del sistema. Las válvulas reguladoras de aire comprimido estarán controladas por una electroválvula monoestable de 5/2 la cual es energizada por señales enviadas directamente desde el controlador lógico programable (PLC). La electroválvula convierte la señal eléctrica recibida a partir del PLC en energía mecánica por medio de los actuadores, en este caso las válvulas reguladoras de caudal para alimentar al cilindro. Se eligió una electroválvula de cinco entradas y dos salidas versus una de tres y dos para considerar ampliaciones del proyecto más adelante y la graduación del aire comprimido dosificado a las válvulas sea requerida.

Es importante mencionar que ya se contaba con un PLC dentro de los equipos de la planta y por esta razón no se incluyó en la inversión requerida del proyecto. En el caso de realizar la compra del PLC hubiera sido necesario incluir el valor de la compra dentro del diseño del proyecto. Bajo estas condiciones el valor de la TIR sería de un 2%, el cual es bastante más bajo que la TMAR (12% para Guatemala), indicando que el proyecto no es económicamente viable. Siguiendo el mismo análisis, se evaluó si el suministro de aire comprimido podría ser alimentado por un compresor ya existente en la industria analizada. Debido a que el sistema de ordenamiento propuesto es independiente de la operación de empaque establecida, se procedió a determinar si la capacidad del compresor utilizado se veía afectada, así como las condiciones de operación en las que se encontraba configurado. Se determinó que el límite de vibraciones permisibles en el eje del compresor se encontraba dentro del rango permitido por requerimientos de seguridad del equipo obteniendo un valor máximo de 2.1 milésimas de pulgadas.

Se comparó además la capacidad actual del compresor existente en planta contra el servicio requerido de aire comprimido por el sistema propuesto y se determinó que es el 1% del consumo de la capacidad máxima del compresor. Según el resultado obtenido, es posible asegurar que el compresor actual cubre la demanda de aire requerida.

Se confirmó adicionalmente que el compresor tipo centrífugo es el más adecuado para el proceso según la relación calculada entre la velocidad específica y diámetro específico del equipo. Al hacer uso de la gráfica no se pudo establecer que es el compresor cuya eficiencia sería óptima dentro del proceso.

Por otra parte se debe destacar que la alimentación de aire comprimido debe realizarse con un tratamiento previo antes de ingresarlo por los equipos neumáticos. El aire comprimido tiene pequeñas

partículas de tierra y polvo que al no ser removidas correctamente, pueden llegar a desgastar la vida útil de los equipos de forma acelerada, por lo que fue necesario incluir dentro del sistema propuesto una unidad de mantenimiento y lubricación del aire.

Adicional al equipo neumático propuesto, se incluyó dentro del diseño del proyecto la compra de un transportador curvo cuyas características y propiedades se ven listadas en la Tabla No. 12 (página 28) de la sección de resultados. Es importante mencionar que fue necesario considerar la naturaleza del material, de nuevo, por el hecho de que el producto empacado es un agente fuertemente oxidante. El material elegido para trabajar con el contacto continuo del material es el denominado polipropileno, el cual es un polímero característico de ser altamente resistente a la corrosión.

Otro aspecto importante es el de la seguridad industrial dentro de las condiciones de operación con el nuevo sistema de ordenamiento. Es necesario incluir una guarda de seguridad por el hecho que se está agregando a la operación una pieza móvil como la compuerta que funciona a partir de la presión del aire comprimido. Al no incluirse la guarda, los operarios se exponen a un riesgo de lesión ya que la carrera del cilindro ocasiona una fuerza de empuje de 295 N, equivalente a 66 lb, lo cual puede ocasionar un accidente dentro de la seguridad del empleado. Por esta razón, se dimensionó las guardas siguiendo las normas NTP para calcular las distancias máximas que la guarda debe evitar al empleado alcanzar por cualquier contacto. La altura de la guarda a instalar se muestra en la Tabla No. 18 (página 54) de la sección de datos calculados. Además, el material elegido para las guardas fue de polimetilmetacrilato el cual se caracteriza por sus altas resistencias a materiales corrosivos y oxidantes así como también por su alta transparencia y bajo costo.

Respecto al análisis económico del proyecto, este se evaluó a partir de un flujo de caja considerando un periodo de tres años. El período se estableció con una frontera de tres años debido a que el capital requerido a invertir no es grande a comparación de otros proyectos de automatización y el proyecto recupera su inversión realizada durante el segundo año dando ahorros adicionales a la industria con la implementación de éste. La inversión total requerida por la propuesta del proyecto es de Q 148, 606.41 los cuales se compran por capital durante el año 0. Adicional a los Q 148, 606.41, se asumen dentro de los costos fijos, los costos de mantenimiento del proyecto por un total de 10% de la inversión requerida que incrementa anualmente. Esta suposición es válida considerando el hecho de que se recomienda comprar con una frecuencia anual más cantidad de banda de polipropileno así como sprockets de repuestos para el transportador curvo. Adicional a estos repuestos, también se consideran repuestos para los componentes neumáticos así como mantenimientos programados por el proveedor. La depreciación se realizó mediante el método SMARC, el cual optimizó el flujo de caja a obtener una TIR más alta por el hecho de que después del período determinado de flujo de caja, el valor de salvamento del capital adquirido es cero. Esto genera una depreciación acelerada mayor en el tiempo estudiado lo que ayudará a reducir el monto de impuestos generados en el análisis. Se obtuvo un VPN de Q 47,338.13, el cual debido a que el monto es un valor positivo confirma el valor de la TIR obtenido asegurando que el proyecto es una opción atractiva para invertir.

Además del beneficio en costo por la reducción de personas en la operación que entrega el proyecto, existen otros beneficios asociados con la implementación de éste. Se elimina una condición laboral insegura para el operario cuyas consecuencias en un mediano plazo de tres a seis meses, podrían llegar a generar complicaciones médicas en la espalda debido a la postura erguida demandante del rol. Adicionalmente, la posición actual del operario lo hace exponerse a inhalar vapores del producto que fuga a lo largo de la línea de empaque debido a la cercanía que demanda la posición a la banda lo que podría llegar a generar complicaciones médicas aún más graves como un edema pulmonar o una infección respiratoria severa. Otro de los beneficios grandes del proyecto es la mejora en la productividad de la operación debido a que la capacidad de producción se sigue manteniendo constante aún con la implementación del proyecto con un menor número de personas requeridas a las que se tienen en planilla actualmente.

Otro de los beneficios asociados con la implementación del proyecto es el incremento en la confiabilidad del producto terminado despachado en planta. Al eliminar la intervención humana del proceso, se eliminan también fuentes de error de origen humano y la reproducibilidad del producto aumenta lo cual hace más eficiente a la operación en entregar un producto que forma parte de un proceso de mejora continua.

Es importante mencionar que en cualquier industria donde se lleven a cabo procesos de manufactura es indispensable validar los procesos ya establecidos así como aquellos que desean implementarse. En caso se llegue a implementar el sistema de ordenamiento de docenas, es necesario realizar un protocolo de validación para asegurar la confiabilidad y reproducibilidad de los resultados objetivos. Se ha incluido en los anexos un formato de protocolo aplicable al momento de validación de este proceso.

VIII. CONCLUSIONES

1. Para el proyecto de automatización de la línea de empaque de cloro se requirió la inversión de capital de Q 148, 606.41 entregando Q 102, 493.74 de ahorro, lo que representa una TIR del 29% y un VAN de Q 47,338.13. Los resultados económicos mencionados demuestran la rentabilidad del proyecto.
2. Para el sistema de ordenamiento automatizado de docenas se propone utilizar: 2 cilindros neumáticos de doble efecto, 2 electroválvulas 5/2 monoestable, 2 unidades de mantenimiento para aire comprimido, 4 sensores ópticos reflectores, 4 válvulas reguladoras de caudal, 1 PLC, 2 compuertas de PVC y 1 banda curva transportadora.
3. La implementación de la guarda en la ubicación de la compuerta es indispensable para garantizar las condiciones de seguridad industrial dentro de la operación. Según las normas NTP la guarda debe ser instalada a 1 m de altura desde la base del suelo, según el diseño propuesto.
4. Con el diseño propuesto se logró garantizar un flujo de operación automatizado, incrementar la confiabilidad del producto a partir de la eliminación de la intervención humana en el proceso.
5. Se determinó que el tipo de compresor óptimo para el diseño propuesto es el compresor centrífugo.
6. Se seleccionó polimetilmetacrilato como el material de las guardas de seguridad debido a sus propiedades traslucidas, bajo costo y naturaleza del material para evitar corrosión y oxidación en caso de contacto con el hipoclorito de sodio.

IX. RECOMENDACIONES

1. Capacitar a los operarios para el manejo adecuado del equipo neumático, electrónico y mecánico instalado.
2. Elaborar un plan de mantenimiento para cada uno de los sistemas del proyecto en caso de ser instalados. Específicamente, para el sistema mecánico se recomienda un plan de mantenimiento preventivo y lubricación para la banda transportadora curva; para el sistema neumático, una limpieza exhaustiva a los cilindros y válvulas reguladoras así como a la unidad de mantenimiento.
3. Construir la lógica de programación considerando que el sistema diseñado puede ser expandido según el número de entradas de los equipos para entregar una capacidad de producción mayor manteniendo las condiciones de automatización del proceso.
4. Para la implementación del sistema de ordenamiento de docenas es indispensable realizar un protocolo de validación que garantice la confiabilidad y reproducibilidad de los resultados.
5. En caso de implementación del proyecto, se recomienda completar el protocolo de validación adjunto en la sección de anexos para formalizar el proceso de cierre de documentación por requerimientos de calidad de la industria.

X. BIBLIOGRAFÍA

Batres, B. 2005. *Mejora en el suministro de energía para un sistema de electrólisis en la producción de hipoclorito de sodio*. Tesis Universidad del Valle. Guatemala. 84 págs.

Blank, L. 2006. *Ingeniería Económica*. 6ª ed. Editorial McGraw-Hill. México. 803 págs.

D'acunto, M. 2011. *Controladores Lógicos Programables*. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de la Plata. 33 págs.

Greene, R. 1987. *Compresores, Selección, uso y mantenimiento*. Editorial McGraw-Hill. México D.F. 292 págs.

Instrumental Society of America, 1981. *Instrumentation Symbols and Identification*. Estados Unidos.

McCabe, W, *et al.* 2007. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. 7ª ed. Editorial McGraw-Hill. México. 1189 págs.

Sapag, N. *et al.* 2008. *Preparación y Evaluación de proyectos*. 5ª ed. Editorial McGraw-Hill. México. D.F. 445 págs.

Skoog, D, *et al.* 2007. *Fundamentos de química analítica*. 8ª ed. Editorial Thomson. México. 1065 págs.

Sole, C. 1979. *Instrumentación Industrial* Publicaciones Marcombo. Barcelona, España.

Perry, H. 2008. *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. 8ª ed. Editorial McGraw-Hill. Estados Unidos. 2735 págs.

Peter, C. *et al.* 2002. *Pneumatics*. Festo. Alemania. 274 págs.

Prede, G. 2002. *Electropneumatics*. Festo. Alemania. 294 págs.

Referencias de Internet

Festo, 2011. *Cilindros normalizados DSNU/DSNUP/DSN/ESNU/ESN, ISO 6432*. Artículo localizado en Internet en la página: http://www.festo.com/cat/en-us_us/data/doc_es/PDF/ES/DSNU-ISO_ES.PDF

Hesse, S. 2001. *Sensors in Production Engineering*. Festo. Artículo localizado en Internet en la página: <http://es.scribd.com/doc/38224144/Pneumatic-Sensors>

Gillian, C. *et al.* 1998. *Guía de la OMS sobre los requisitos de las prácticas adecuadas de fabricación (PAF) Segunda parte: Validación.* Organización Mundial de la Salud. Artículo localizado en Internet en la página: http://whqlibdoc.who.int/hq/1997/WHO_VSQ_97.02_spa.pdf

Guatemala, 2011. Banco de Guatemala. *Tipo de cambio.* Artículo localizado en Internet en la página: <http://www.banguat.gob.gt/cambio/>

Guatemala, 2011. Ministerio de trabajo y Previsión social. *Código de Trabajo.* Artículo localizado en Internet en la página: http://www.mintrabajo.gob.gt/images/stories/ArticulosPDF/Leyes_y_Convenios/Ordinarias/CODIGO_DE_TRABAJO_DE_GUATEMALA_SEPT2011.pdf

OxyChem, 2011. *Sodium Hypochlorite Handbook.* Dallas, Estados Unidos. Artículo localizado en Internet en la página: <http://www.oxy.com/OurBusinesses/Chemicals/Products/Documents/sodiumhypochlorite/bleach.pdf>

Piqué, T. 2011. *Protección de máquinas frente a peligros mecánicos: resguardos.* Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo. Artículo localizado en Internet en la página: <http://www.insht.es/portal/site/Insht/menuitem.a82abc159115c8090128ca10060961ca/?vgnnextoid=db2c46a815c83110VgnVCM100000d>

Sick AG, 2011. *Photoelectric Sensors.* Artículo localizado en Internet en la página: <https://www.mysick.com/eCat.aspx?go=DataSheet&Cat=Row&At=Fa&Cult=English&ProductID=55646>

XI. APÉNDICE

A. Datos originales

1. Técnico

Tabla No. 14 Presión de trabajo del cilindro de doble efecto

Presión (bar)
6

Tabla No. 15 Datos considerados para la determinación de la carga adiabática del compresor

Presión en el área de succión del compresor	14.3 psia
Presión en el área de descarga del compresor	22.3 psia
K	1.395
Peso molecular promedio del aire	28.59 kg/kmol
Temperatura en el área de succión	90 °F
Humedad relativa	79%

Nota. La humedad relativa se obtuvo de datos del INSIVUMEH para el departamento de Escuintla

Tabla No. 16 Capacidad máxima del compresor

n (rpm)	3550
----------------	------

B. Cálculo de la muestra

1. Técnico

a. Determinación de la relación de compresión para el cilindro de doble efecto. Para determinar la relación de compresión se utilizó la presión de trabajo, la presión atmosférica y la siguiente ecuación

$$r_c = \frac{P_{trabajo} + P_{atmosférica}}{P_{atmosférica}}$$

Ecuación No. 12
(Peter, C. *et al.* 2002)

$$r_c = \frac{6bar \left(\frac{1 atm}{1.01325 bar} \right) + 1.01325bar \left(\frac{1 atm}{1.01325 bar} \right)}{1.01325bar \left(\frac{1 atm}{1.01325 bar} \right)}$$

$$r_c = 7$$

Se propone la utilización de un cilindro de doble efecto diámetro 25 mm y carrera 100 mm con horquilla tipo: DSNU 25-100-PPV-A) El cilindro por diseño, requiere por funcionamiento una presión de aire comprimido de 90 psi.

b. Caudal requerido de aire comprimido para accionamiento de aire comprimido. El caudal requerido de agua se calculó utilizando las dimensiones del cilindro propuesto en el inciso anterior y la siguiente ecuación

$$Q_{req} = \left[\left(C * \frac{\pi * D^2}{4} \right) + \left(C * \frac{\pi * (D^2 - d^2)}{4} \right) \right] * n * r_c$$

Ecuación No. 13
(Peter, C. *et al.* 2002)

$$Q_{req} = \left[\left(100 \pm 0.05 mm \left(\frac{1m}{1000mm} \right) * \frac{\pi * (25mm/1000mm)^2}{4} \right) + \left(100 \pm 0.05 mm \left(\frac{1m}{1000mm} \right) * \frac{\pi * ((25mm/1000mm)^2 - (12.5mm/1000mm)^2)}{4} \right) \right] * \frac{0.5ciclos}{s} * \left(\frac{60s}{1min} \right) * 7$$

$$Q_{req} = 18.040 \pm 0.006 L/min$$

c. Cálculo de espacio longitudinal ocupado por el cilindro al liberar aire comprimido

$$Longitud_{cilindro} = Longitud_{vástago} + Carrera$$

Ecuación No. 14
(Peter, C. *et al.* 2002)

$$Longitud_{cilindro} = 104 mm + (100 \pm 0.05 mm)$$

$$Longitud_{cilindro} = 204 \pm 0.05 mm$$

De la misma manera se realizó el cálculo del espacio longitudinal ocupado por el cilindro al recibir aire comprimido del sistema. Las dimensiones del cilindro así como de cada uno de los componentes neumáticos se encuentran disponibles en la sección de resultados.

d. Determinación de fuerza de empuje generada por accionamiento de cilindro neumático

$$Presión = \frac{F_{empuje}}{A}$$

Ecuación No. 15

$$Fuerza_{avance} = P * \frac{\pi D^2}{4}$$

Ecuación No. 16

$$Fuerza_{avance} = 90psi \left(\frac{6678 Pa}{1 psi} \right) * \frac{\pi \left(\frac{25 mm}{1000 mm} \right)^2}{4}$$

$$Fuerza_{avance} = 295 N$$

e. Cálculo de dimensiones de guardas a instalar en sistema neumático de ordenamiento. Siguiendo los lineamientos de la Tabla No. 2 de la sección de antecedentes, es necesario considerar el espaciado del punto de riesgo entre la compuerta y la intervención humana dentro del diseño de la guarda a modo de prevención de algún incidente operacional.

La distancia de la tabla indica que respecto una distancia del punto de peligro desde el suelo equivalente a 600 mm y a una distancia horizontal de 500 mm desde el punto de peligro, la altura de la guarda a instalar debe alcanzar los 1000 mm desde la base del suelo.

f. Elección del tipo de compresor adecuado para el flujo de aire comprimido para el sistema.

1) Determinación del límite de vibraciones permisibles para un compresor centrífugo

$$Z = \sqrt{12000/n}$$

Ecuación No. 17

(Greene, 1987)

$$Z = \sqrt{\frac{12000}{3550 rpm}}$$

$$Z = 1.83$$

De acuerdo al dato obtenido, el compresor centrífugo se encuentra dentro del límite de vibraciones permisibles y no implica un riesgo en la seguridad industrial del proceso.

2) Conversión de temperatura de grados Fahrenheit a grados Rankine

$$^{\circ}R = ^{\circ}F + 459.67$$

Ecuación No. 18

$$^{\circ}R = 90 ^{\circ}F + 459.67$$

$$^{\circ}R = 550$$

3) Cálculo de la capacidad del compresor incluyendo requerimiento de sistema neumático de ordenamiento de docenas.

$$Q_{Total} = Q_{Capacidad} + Q_{req}$$

Ecuación No. 19

(Greene, 1987)

$$Q_{Total} = 90,000 \frac{ft^3}{min} \left(\frac{1 min}{60 s} \right) + \left(\frac{18.03L}{min} \right) \left(\frac{1 min}{60 s} \right) \left(\frac{1 ft^3}{28.3L} \right)$$

$$Q_{Total} = 1,500 \frac{ft^3}{s} + \left(0.010624 \pm 4x10^{-6} \frac{ft^3}{s} \right)$$

$$Q_{Total} = 1,500.010624 \pm 4x10^{-6} \frac{ft^3}{s}$$

El objetivo de este cálculo es demostrar que con el nuevo requerimiento de aire comprimido, no existe un incremento significativo de consumo requerido. En base a esta nueva capacidad supuesta, se determinará si el compresor centrífugo es el más adecuado para esta aplicación.

4) Determinación de carga adiabática del compresor. Para poder realizar este cálculo se utilizaron los datos de la tabla No. 3 de la sección de datos originales y la siguiente ecuación

$$H_{ad} = \left(\frac{z_s + z_d}{2} \right) \left(\frac{1545}{M_w} \right) T_s \left[\frac{r_c^{(k-1)/k} - 1}{(k-1)/k} \right]$$

Ecuación No. 20

(Greene, 1987)

$$H_{ad} = \left(\frac{1+1}{2}\right) \left(\frac{1545}{28.59}\right) 550^\circ R \left[\frac{(22.3 \text{ psia}/14.3 \text{ psia})^{(1.395-1)/1.395} - 1}{(1.395-1)/1.395} \right]$$

$$H_{ad} = 14,072 \text{ hp}$$

5) Determinación de la velocidad específica del compresor

$$N_s = N \sqrt{Q} / H^{3/4}$$

Ecuación No. 21

(Greene, 1987)

$$N_s = 3550 \text{ rpm} \frac{\sqrt{1,500.010624 \pm 4 \times 10^{-6} \frac{ft^3}{s}}}{(14,072 \text{ hp})^{3/4}}$$

$$N_s = 106.4164215 \pm 1 \times 10^{-7} \text{ rpm}$$

6) Determinación del diámetro específico del compresor

$$D_s = \frac{DH^{1/4}}{\sqrt{Q}}$$

Ecuación No. 22

(Greene, 1987)

$$D_s = \frac{(55 \text{ in}) \left(\frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in}}\right) (14,072 \text{ hp})^{3/4}}{\sqrt{1,500.010624 \pm 4 \times 10^{-6} \frac{ft^3}{s}}}$$

$$D_s = 1.288911898 \pm 2 \times 10^{-9}$$

7) Selección del compresor adecuado. A partir de la relación del diámetro y velocidad específica por Balje (Ver Gráfica No. 1 en la sección de antecedentes) es posible determinar que un compresor centrífugo (flujo radial) es el tipo recomendado de acuerdo a los requerimientos operacionales de la planta.

8) Determinación de flujo adicional a la capacidad instalada del compresor actual

$$\%_{\text{incremental}} = \frac{Q_{\text{req}}}{Q_{\text{capacidad}}}$$

Ecuación No. 23

(Greene, 1987)

$$\%_{incremental} = \frac{0.010624 \pm 4 \times 10^{-6} \frac{ft^3}{s}}{1,500 \frac{ft^3}{s}}$$

$$\%_{incremental} = 7.082 \times 10^{-6} \pm 3 \times 10^{-9} \%$$

El porcentaje incremental de flujo requerido de aire comprimido es del orden 10^{-7} por lo que considerando que el compresor no consume al 100% su capacidad instalada, es factible concluir que no hay necesidad de instalar un nuevo equipo que suministre el sistema neumático de ordenamiento de docenas.

2. Económico

a. Inversión requerida. Para la estimación de inversión requerida, dirigirse a la sección de Anexos para revisar el detalle de los equipos y servicios cotizados.

$$Inversión\ Capital\ requerida = Q\ 148,606.41$$

b. Ahorros

1) Cálculo de salario mensual remunerado a operario dedicado al ordenamiento de docenas en la operación de empaque de cloro. Para realizar el siguiente cálculo, se asume que la persona dedicada este rol es remunerada con el salario mínimo de Guatemala según se establece en el Acuerdo Gubernativo No. 388-2010 vigente a partir del 01 de enero de 2011. Es importante mencionar que la bonificación de incentivo fijada en el Decreto 78-89 respecto al Congreso de Derechos adquiridos no va incluida en el cálculo del salario mínimo.

$$Costo_{ordenador\ base} = Salario\ mínimo + Bonificación\ Incentivo$$

Ecuación No. 24

$$Costo_{ordenador\ base} = Q1,783.50 + Q250.00 = Q2,033.50$$

2) Cálculo de costo por hora de operario. Es importante mencionar que para calcular la base de costo por hora para el operario, no se debe considerar el bono incentivo de Q250.00 ya que no forma parte del salario mínimo sino de una prestación laboral.

$$Costo_{hora\ base} = \left(\frac{Costo_{base_ordenador}}{1\ mes} \right) \left(\frac{1\ mes}{30\ días} \right) \left(\frac{1\ día}{8\ horas\ laborales} \right)$$

Ecuación No. 25

$$\begin{aligned} \text{Costo}_{\text{hora base}} &= \left(\frac{Q1,783.50}{1 \text{ mes}} \right) \left(\frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ días}} \right) \left(\frac{1 \text{ día}}{8 \text{ horas laborales}} \right) \\ \text{Costo}_{\text{hora base}} &= Q7.43/\text{hora} \end{aligned}$$

Siguiendo los lineamientos del Acuerdo Gubernativo No. 388-2010, la base de costo por hora calculada corresponde al costo del salario mínimo para la actividad exportada y de maquila.

3) Cálculo de costo por horas extraordinarias laboradas por el operario

$$\text{Costo}_{\text{hora extraordinaria}} = \text{Costo}_{\text{hora base}} * 1.5$$

Ecuación No.26

$$\text{Costo}_{\text{hora extraordinaria}} = \frac{Q7.43}{\text{hora}} * 1.5$$

$$\text{Costo}_{\text{hora extraordinaria}} = \frac{Q11.15}{\text{hora}}$$

El costo calculado para la hora extraordinaria aplica a las horas laboradas por el operario que sobrepasen las 48 horas ordinarias durante una semana. En caso que el operario deba cubrir horas laborales durante un turno día domingo el costo por hora extraordinaria se calcula utilizando un factor de 2 respecto al costo base por hora, lo que equivale a Q14.86/hora.

4) Cálculo de horas extras laboradas por la posición de ordenador durante un mes laboral para ambos operarios. Para este cálculo se asume que las jornadas hábiles de producción para la industria de cloro son de lunes a viernes, divididas en 2 turnos de producción de 12 horas cada uno. Adicional, se asume que existe una rotación de turnos cada 2 semanas durante el mes para asegurar que la cantidad de horas extras realizadas por operario sea la misma.

$$\begin{aligned} \text{Costo}_{\text{horas extra mes}} &= (\text{Número de horas extraordinarias}) * (\text{Costo}_{\text{hora extraordinaria}}) \\ &+ (\text{Número de horas domingo}) * (\text{Costo}_{\text{hora domingo}}) \end{aligned}$$

Ecuación No. 27

$$\begin{aligned} \text{Costo}_{\text{horas extra mes}} &= \left[\left(\frac{40 \text{ horas}}{\text{semana}} \right) * \left(\frac{Q11.15}{\text{hora}} \right) + \left(\frac{0 \text{ horas domingo}}{\text{semana}} \right) \right] \\ &* \left(\frac{Q14.86}{\text{hora}} \right) \left(\frac{4 \text{ semanas}}{1 \text{ mes laboral}} \right) \end{aligned}$$

$$Costo_{horas\ extra\ mes} = Q1,783.50/mes$$

5) Cálculo de salario total devengado por mes a operario

$$Costo_{salario} = Costo_{ordenador_base} + (Costo_{horas_extra_mex})/2$$

Ecuación No. 28

$$Costo_{salario} = Q2,033.50 + (Q1,783.50)/2$$

$$Costo_{salario} = Q2,925.25/mes$$

6) Cálculo de prestación laboral devengada por mes referente al Bono 14

$$Costo_{Bono\ 14} = Costo_{salario} * 8.33\%$$

Ecuación No. 29

$$Costo_{Bono\ 14} = Q2,925.25/mes * 8.33\%$$

$$Costo_{Bono\ 14} = Q243.67/mes$$

El cálculo del aguinaldo, pasivo laboral y capacitación se calculó de la misma manera que el Bono 14, asumiendo una doceava parte del salario devengado cada mes durante un período de un año.

7) Cálculo de prestación laboral devengada por mes referente al servicio de Instituto Guatemalteco de Seguridad Social (IGSS).

$$Costo_{IGSS} = Costo_{salario} * 1.00\%$$

Ecuación No.30

$$Costo_{IGSS} = Q2,925.25/mes * 1.00\%$$

$$Costo_{IGSS} = Q29.25/mes$$

El cálculo de la prestación de INTECAP se realizó de la misma manera.

8) Cálculo de prestación laboral devengada por mes referente al Instituto de Recreación de los Trabajadores de la Empresa Privada en Guatemala (IRTRA)

$$Costo_{IRTRA} = Costo_{salario} * 10.67\%$$

Ecuación No. 31

$$Costo_{IRTRA} = Q2,925.25/mes * 10.67\%$$

$$Costo_{IRTRA} = Q312.12/mes$$

9) Costo total anual de planilla por posición de ordenamiento en línea de empaque

$$\begin{aligned} Costo_{Total} = & (Costo_{salario} + Costo_{bono\ 14} + Costo_{aguinaldo} \\ & + Costo_{indeminización} + Costo_{IGSS} + Costo_{INTECAP} \\ & + Costo_{IRTRA}) * \left(\frac{12\ meses}{1\ año}\right) \end{aligned}$$

Ecuación No. 32

$$\begin{aligned} Costo_{Total} = & (Q2,925.25 + Q243.67 + Q243.67 + Q243.67 + Q29.25 + Q29.25 \\ & + Q312.12) * \left(\frac{12\ meses}{1\ año}\right) * 2 \end{aligned}$$

$$Costo_{Total} = Q102,493.74$$

El costo total será considerado más adelante como el rubro de ahorros entregados con la implementación del proyecto.

c. Cálculos de costos de mantenimiento del proyecto. Para la realización de éste cálculo, se asumió un factor del 5% anual de costo fijo en mantenimiento para el equipo cotizado. El detalle de costos en la inversión requerida es posible encontrarlo en la tabla No. de la sección de datos calculados.

$$Costo_{mantenimiento} = Costo_{equipo} * 5\%$$

Ecuación No. 33

$$Costo_{mantenimiento} = Q148,606.41 * 0.05$$

$$Costo_{mantenimiento} = Q7,430.32$$

d. Cálculo de depreciación de capital adquirida con la inversión realizada para el año 1.

$$VD_i = VL_{i-1} * Tasa\ SMARC\ (n = 1)$$

Ecuación No. 34

(Blank, 2006)

$$VD_i = Q\ 148,606.41 * 33.33\%$$

$$VD_i = Q49,530.52$$

e. Cálculo de valor en libro del capital invertido para el año 1

$$VL_i = VL_{i-1} - VD_i$$

Ecuación No. 35

(Blank, 2006)

$$VL_i = Q 148,606.41 - Q49,530.52$$

$$VL_i = Q99,075.89$$

El cálculo de depreciación fue realizado a partir del método SMARC. Se calculó de la misma manera el valor de la depreciación y el valor en libros del capital invertido de acuerdo al tiempo transcurrido considerando un período de análisis económico por 3 años. El detalle de costos del valor depreciado y el valor en libros es posible encontrarlo en la tabla No. de la sección de datos calculados.

f. Cálculo de incremento de costos fijos en el tiempo. Este cálculo fue realizado con la suposición de que los costos de mantenimiento incrementarán 10% anualmente.

$$CF_{i+1} = 1.1 * CF_i$$

Ecuación No. 36

(Blank, 2006)

$$CF_{i+1} = 1.1 * Q7,430.32$$

$$CF_{i+1} = Q 8,173.35$$

g. Cálculo de utilidades antes de impuestos. Para este cálculo se utilizó el costo total calculado en el inciso 9 del cálculo de la muestra, el cual se considera como rubro ahorros. Además se utilizó la siguiente ecuación

$$U_{a+1} = Ahorros + CF_i - Depreciación$$

Ecuación No. 37

(Blank, 2006)

$$U_{a+1} = Q102,493.74 + Q7,430.32 - Q49,530.52$$

$$U_{a+1} = Q45,532.90$$

h. Cálculo de impuestos aplicables a las utilidades del proyecto. Se consideró un 32% de impuestos para el flujo de caja, el cual incluye el efecto del ISR y el ISO, 31 y 1% respectivamente.

$$I = U_{a.i.} * 32\%$$

Ecuación No. 38

(Blank, 2006)

$$I = Q45,532.90 * 32\%$$

$$I = Q14,570.53$$

i. Cálculos de utilidades después de impuestos

$$U_{d.i.} = U_{a.i.} - I$$

Ecuación No. 39

(Blank, 2006)

$$U_{d.i.} = Q45,532.90 - Q14,570.53$$

$$U_{d.i.} = Q 30,962.37$$

j. Cálculo del flujo de caja

$$F_i = U_{d.i.} + VD_i$$

Ecuación No. 40

(Blank, 2006)

$$F_i = Q 30,962.37 + Q49,530.52 = Q 80,492.89$$

C. Análisis de error

1. Cálculo de incertidumbres

a. Suma y resta. Ecuación utilizada para calcular el espacio longitudinal ocupado por el cilindro al liberar el aire comprimido.

$$(A \pm a) \pm (B \pm b) = (A \pm B) \pm \sqrt{a^2 + b^2}$$

Ecuación No. 41

(Skoog, 2007)

$$Longitud_{cilindro} = (104 \text{ mm} + 100 \text{ mm}) \pm \sqrt{(0)^2 + (0.05)^2}$$

$$Longitud_{cilindro} = 204 \pm 0.05 \text{ mm}$$

Se realizó el mismo procedimiento para calcular las incertidumbres de todos los cálculos en los que se utilizó la suma o resta.

b. Multiplicación. Ecuación utilizada para calcular el primer término de la ecuación del caudal requerido de aire comprimido

$$(A \pm a)(B \pm b) = (AB) \pm (AB) \sqrt{\left(\frac{a}{A}\right)^2 + \left(\frac{b}{B}\right)^2}$$

Ecuación No. 42

(Skoog, 2007)

$$C * \frac{\pi D^2}{4} = (0.1 \pm 0.00005 \text{ m}) * \left(\frac{\pi(0.025 \text{ m})^2}{4}\right)$$

$$C * \frac{\pi D^2}{4} = (0.1 \pm 0.00005 \text{ m}) * (0.00049 \text{ m}^2)$$

$$(0.1 * 0.00049) \pm (0.1 * 0.00049) \sqrt{\left(\frac{0.00005}{0.1}\right)^2 + \left(\frac{0}{0.00049}\right)^2}$$

$$C * \frac{\pi D^2}{4} = 4.909 \times 10^{-5} \pm 2 \times 10^{-8} \text{ m}^3$$

Se realizó el mismo procedimiento para calcular las incertidumbres de todos los cálculos en los que se utilizó la multiplicación.

c. División: Ecuación utilizada para determinar el flujo adicional a la capacidad instalada del compresor actual

$$\frac{(A \pm a)}{(B \pm b)} = \left(\frac{A}{B}\right) \pm \left(\frac{A}{B}\right) \sqrt{\left(\frac{a}{A}\right)^2 + \left(\frac{b}{B}\right)^2}$$

Ecuación No. 43

(Skoog, 2007)

$$\left(\frac{0.010624 \frac{ft^3}{s}}{1,500 \frac{ft^3}{s}} \right) \pm \left(\frac{0.010624 \frac{ft^3}{s}}{1,500 \frac{ft^3}{s}} \right) \sqrt{\left(\frac{4x10^{-6}}{0.010624} \right)^2 + \left(\frac{0}{1,5003} \right)^2}$$

$$\%_{incremental} = 7.082x10^{-6} \pm 3 x10^{-9}\%$$

Se realizó el mismo procedimiento para calcular las incertidumbres de todos los cálculos en los que se utilizó la división.

d. Potenciación: Se utilizó este cálculo para determinar la incertidumbre de la raíz de la capacidad del compresor. Este valor es necesario para el cálculo de la velocidad específica del compresor.

$$S_y = yx \left(\frac{S_a}{a} \right)$$

Ecuación No. 44

(Skoog, 2007)

$$\sqrt{1,500.010624 \pm 4x10^{-6} \frac{ft^3}{s}} = \left(1,500.010624 \pm 4x10^{-6} \frac{ft^3}{s} \right)^{0.5}$$

$$S_y = 38.7299 * 0.5 \left(\frac{4x10^{-6}}{1,500.010624} \right) = 5x10^{-8}$$

$$38.72997062 \pm 5x10^{-8}$$

Se siguió el mismo procedimiento para calcular las incertidumbres de todos los cálculos en los que se utilizó la potenciación.

D. Datos calculados

1. Técnico

Tabla No. 17 Dimensionamiento del cilindro

Relación de compresión (Rc)	7
Caudal requerido de aire comprimido (Q_{req})	18.040 ± 0.006 L/min
Longitud del cilindro (L)	204 ± 0.05 mm
Fuerza de avance (F)	295 N

Tabla No. 18 Altura de la guarda a instalar

h (mm)
1000

Altura desde la base del suelo

Tabla No. 19 Elección del tipo de compresor adecuado según datos obtenidos.

Límite de vibraciones permisibles (Z)	1.83
Capacidad del compresor (Q_{Total})	15,000.010624 ± 4 x 10 ⁻⁶ ft ³ /s
Carga adiabática del compresor (H_{ad})	14,072 hp
Velocidad específica del compresor (N_s)	106.4164215 ± 1 x 10 ⁻⁷ rpm
Diámetro específico del compresor (D_s)	1.288911898 ± 2 x 10 ⁻⁹

Tabla No. 20 Flujo adicional a la capacidad instalada del compresor actual

% Incremental
7.08269 x 10 ⁻⁶ ± 3 x 10 ⁻⁹

2. Económico

Tabla No. 21 Inversión requerida para la parte neumática

Cantidad	Descripción	Costo (Q)
2	Cilindros de doble efecto diámetro 25 mm y carrera 100 mm con horquilla y fijación tipo caballete (tipo DSNU)	14,753.88
4	Válvulas reguladoras de caudal	
2	Electroválvulas 5/2 monoestables con bobina de 24 VDC (tipo MFH)	
1	Filtro regulador de 1/4 (no incluye lubricador)	
4	Sensores ópticos réflex con reflector y cable de 5 m marca Sick	
20	Metros de manguera de 6 mm de diámetro	
	Conectores neumáticos y silenciadores	
	Asesoría en el diseño y construcción de los mecanismos de las compuertas.	1,833.06
	Asesoría en la instalación eléctrica y mecánica de los equipos	
	Costo Total (IVA incluido)	16,586.94
	Costo total (sin IVA)	14,809.77

Tabla No. 22 Inversión requerida para el transportador curvo

Descripción	Costo
Fabricación del transportador	\$ 6,533.34
Instalación	\$ 600.00
Costo total (IVA incluido)	\$ 7,133.34
Costo total (IVA incluido)	Q 57,352.05
Costo total (sin IVA)	Q 51,207.19

Tabla No. 23 Inversión requerida para la parte mecánica

Cantidad	Descripción	Total (Q)
0.65	Lámina de 1/8" acero inoxidable	2,184.00
2	Angular de 1" x 1/8"	1,120.00
22	Tornillos M-10 completos en acero inoxidable	344.96
1	Sección de barra M-10 en acero inoxidable	168.00
3	Canaletas tipo U	840.00
11	Tornillos M-10 completos en acero inoxidable	172.48
3	Láminas ¼ en acero inoxidable para mecanismo	1,008.00
1	Barra para eje de mecanismo M-8	33.60
6	Maquinaciones para cojinetes	840.00
6	Cojinetes	504.00
2	Bases para cilindro fabricadas con angular	616.00
2	Guardas de polimetilmetacrilato (PMMA)	4,032.00
1	Espuma de poliestireno para limpieza	50.40
2	Argon para soldadura	1,002.00
1	Otros, consumibles	560.96
Total materiales e insumos		13,476.40
Mano de obra y materiales. Incluye guías, compuertas, rodillos y separadores		14,828.74
Materiales extras		1,130.44
Pruebas con transportadores		1,750.36
Costo Total (IVA incluido)		31,185.94
Costo Total (sin IVA)		27,844.59

Tabla No. 24 Inversión requerida para la parte de programación

	Descripción	Costo
Equipo	Tubería PVC para instalaciones eléctricas	\$ 5,046.00
	Conectores Condulet tipo L	
	Conectores Condulet tipo T	
	Adaptadores para accesorios Condulet	
	Abrazaderas para tubería	
	Cable de 1 par 16 AWG para conexión de electroválvula de cilindros	
Ingeniería	Modificaciones en la programación del PLC para integrar los sensores y las electroválvulas a los programas de las empacadoras	\$ 1,120.00
	Modificaciones en la programación de las pantallas táctiles de las empacadoras	
	Modificaciones en los planos eléctricos	
	Modificaciones en los manuales de usuario	
	Instalación eléctrica de los sensores y compuertas	
Instalación eléctrica de motor	Modificación eléctrica en el tablero de la maquinaria enfardadora	\$ 1,120.00
	Contactor y accesorios como bornes y cable para la modificación	
	Cable de potencia para el motor y tendido de cable en tubería PVC	
	Pruebas de arranque	
Costo Total (Incluyendo IVA)		\$ 6,526.00
Costo Total (Incluyendo IVA)		Q 52, 470.25
Costo Total (sin IVA)		Q 46, 848.43

Tabla No. 25 Inversión requerida para el sistema de transportadores

Cantidad	Descripción	Costo
3 metros	Banda curva adicional (M&R)/3 años	\$ 650.00
6	Sprockets anticorrosivo (M&R)/3 años	\$ 450.00
Costo Total (Incluyendo IVA)		\$ 1,100.00
Costo Total (Incluyendo IVA)		Q 8,844.00
Costo Total (sin IVA)		Q 7,896.43

Tabla No. 26 Inversión total requerida

Rubro	Costo (Q)
Transportador curvo	51,207.19
Parte neumática	14,809.77
Parte mecánica	27,844.59
Programación	46,848.43
Sistema de transportadores	7,896.43
Total	148, 606.41

Tabla No. 27 Salario mensual remunerado a operario dedicado al ordenamiento de docenas

Rol	Cantidad de personas	Sueldo (Q/mes)	Bono incentivo (Q)	Sueldo total (Q/mes)
Ordenador de docenas	1	1783.5	250.0	2033.50

Tabla No. 28 Costo por hora del operario dedicado al ordenamiento de docenas

Horas	Factor	Sueldo (Q/h)
Ordinarias	1	7.43
Extra ordinarias	1.5	11.15
Extra extra ordinarias	2	14.86

Tabla No. 29 Detalle de horas laboradas por el operario dedicado a ordenamiento de docenas

Horas	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Ordinarias	48	48	48	48
Extraordinarias	40	40	40	40
Horas Extra Extraordinarias	0	0	0	0

Tabla No. 30 Costo por semana del operario dedicado al ordenamiento de docenas

Horas	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Ordinarias	Q 357.00	Q 357.00	Q 357.00	Q 357.00
Extra ordinarias	Q 446.00	Q 446.00	Q 446.00	Q 446.00
Extra extra ordinarias	-	-	-	-
Totales	Q 803.00	Q 803.00	Q 803.00	Q 803.00

Tabla No. 31 Determinación del costo del salario anual sin prestaciones

Sueldo mes (Q/mes)	Costo horas extras mes (Q/mes)	Sueldo total mes (Q/mes)	Sueldo anual (Q/año)
2,033.50	1,783.50	2,295.25	35,103

Tabla No. 32 Determinación del costo de prestaciones

Prestaciones	Factor (%)	Costo (Q/año)
Bono 14	8.33	2,924.00
Aguinaldo	8.33	2,924.00
Indemnización	8.33	2,924.00
IRTRA	10.67	3,745.00
IGSS	1.00	351.00
INTECAP	1.00	351.00
Capacitación (otros)	8.33	2,924.00
Total prestaciones		16,144
Costo sueldo anual por operador		51,246.87

Tabla No. 33 Flujo de caja

Año	0	1	2	3
Ahorros		Q102,493.74	Q102,493.74	Q102,493.74
Costos de mantenimiento		(Q7,430.32)	(Q8,173.35)	(Q8,990.69)
Depreciación		(Q49,530.52)	(Q66,055.55)	(Q33,020.34)
Utilidades antes de impuestos		Q45,532.90	Q28,264.84	Q60,482.71
Impuestos		(Q14,570.53)	(Q9,044.75)	(Q19,354.47)
Utilidades después de Impuestos		Q30,962.37	Q19,220.09	Q41,128.24

Continuación Tabla No. 33 Flujo de caja

Año	0	1	2	3
Depreciación		Q49,530.52	Q66,055.55	Q33,020.34
Inversión realizada	(Q148,606.41)			
Flujo de Caja	(Q148,606.41)	Q80,492.89	Q85,275.64	Q74,148.59

E. Protocolo de validación

Debido a que el proceso de ordenamiento automatizado de docenas de cloro propuesto en este trabajo modifica significativamente el proceso actual de empaque de cloro, es necesario proponer un nuevo procedimiento de validación que incluya este nuevo sistema. Siguiendo este requerimiento, se muestra una propuesta de procedimiento de validación del proceso de la implementación del sistema automatizado de ordenamiento de docenas de cloro.

1. Objetivos

- a. Las guías y compuertas para el ordenamiento de docenas se construyeron, entregaron e instalaron de acuerdo a especificaciones de seguridad y que operan conforme a los requerimientos de diseño.
- b. Las guías y compuertas para el ordenamiento de docenas no provocan incidentes de seguridad o calidad en las líneas de empaque.
- c. Generar evidencia documentada que el nuevo sistema de ordenamiento de docenas es capaz de controlar el tráfico de producto terminado en la banda transportadora de las empacadoras de cloro.
- d. El producto terminado no debe contar con defectos tanto el empaque primario como el empaque secundario que pueda ser generado por el sistema implementado.

2. Alcance

La calificación estará limitada específicamente a la banda curva, guías y compuertas de la banda receptora de docenas de cloro; excluyendo de este sistema la máquina empacadora de docenas y el proceso de final de línea de empaque los cuales deben contar con una validación específica e independiente a la presente.

Para las guías y compuertas de ordenamiento, el sistema tiene como límite inicial las docenas colocadas en la banda después de la entrega de las compuertas de las máquinas empacadoras hasta la entrega de bolsas de docenas a la siguiente banda, que es el transportador curvo.

3. Diseño y planificación

Se conducirá una validación prospectiva ya que se trata de un sistema completamente nuevo para la operación de empaque de cloro. El desempeño del sistema se medirá en base a una corrida completa de empaque de docenas de cloro, asegurando que el sistema no afecte en lo absoluto la integridad y calidad del producto. Además los equipos mantienen los resultados estables en perfectas condiciones sin afectar las materias primas y el producto terminado.

4. Responsabilidades

Es responsabilidad de los integrantes del equipo de validación:

- a. Desarrollo y ejecución del protocolo de validación
- b. El protocolo de validación debe estar aprobado por los siguientes recursos:
 - 1) Gerente de producción
 - 2) Gerente de control de calidad
- c. Coordinar todas las actividades de validación involucradas en el desarrollo y ejecución de este protocolo.

Es responsabilidad de los integrantes del departamento de producción:

- a. Participar en la ejecución del protocolo
- b. Verificar el cumplimiento de este protocolo, así como la revisión documental generada por el mismo.

Es responsabilidad de los integrantes del departamento de control de calidad:

- a. Supervisar la inspección, muestreo y análisis durante el proceso.
- b. Realizar los análisis y pruebas necesarias para la validación del proceso.
- c. Tomar las muestras indicadas en el protocolo de validación, analizar y determinar si las muestras seleccionadas pasan el análisis de muestreo.
- d. Reportar cualquier desviación a los procedimientos estándares de operación.
- e. Documentar el presente protocolo dentro de la base de protocolos disponibles para la operación de empaque de cloro.

Es responsabilidad de los integrantes del departamento de mantenimiento:

- a. Garantizar que los servicios auxiliares y equipos de producción funcionen adecuadamente.

5. Información y antecedentes

Actualmente las máquinas empacadoras de docenas de cloro entregan a una banda transportadora común, sin ningún ordenamiento de las mismas. Por lo que es necesario contar con un recurso al final de la banda, que ordene y posiciones correctamente las docenas que alimentan al final de la línea de la

operación.

6. Descripción del sistema

El sistema de ordenamiento de docenas de sachets consiste en guías de acero inoxidable montadas a lo largo de la banda de 12", banda receptora de las máquinas empacadoras Optimus. En conjunto a las guías, se agregarán al sistema un par de compuertas a partir de un mecanismo neumático activadas por medio de sensores de haz de luz. Los sensores transmiten una señal eléctrica al PLC de las máquinas empacadoras de cloro al detectar el paso de una docena en un punto específico del trayecto lo cual activa el funcionamiento de la compuerta.

La distribución de las guías permite la división de dos carriles de tráfico de docenas sobre la banda. Este sistema garantiza el control de tráfico de docenas priorizando a las docenas entregadas al carril de las Optimus (separados por las guías divisoras) y colocando las compuertas de tráfico en el carril lateral. El diseño del sistema es tal, que garantiza la entrega de docenas ordenadas de manera uniforme a la banda curva para luego ser entregadas a la máquina enfardadora.

7. Listado de equipo

Guías y compuertas para ordenamiento de docenas

- a. 2 guías planas en acero inoxidable en ángulo longitudinal de 2.11 m, con altura de 20 cm, lamina de 1/8".
- b. 1 guía recta en acero inoxidable de longitud de 1 m, con altura de 20 cm.
- c. 11 marcos para sujeción de guías, fabricados en angular en acero inoxidable de 1" x 1/8", y con platinas para fijación a faldón, atornillados con tornillos M-8 x 25 mm.
- d. 2 mecanismos de compuerta con protecciones de hule en los extremos y puntos de apoyo móviles con cojinetes, a excepción del apoyo del cilindro neumático.
- e. 2 guardas con plexiglás de una longitud de 70 cm, una altura de 33 cm, ancho 36 cm, fijación con tornillería en acero inoxidable.
- f. 3 sistemas de rodillos de retorno para volteo de docenas, de 60 mm de diámetro cada rodillo.

Equipo Neumático

- a. 2 cilindros doble efecto diámetro 25 mm y carrera 100 mm con horquilla y fijación tipo caballete.(tipo: DSNU 25-100-PPV-A)
- b. 2 electroválvulas 5/2 monoestables con bobina de 24 VDC. (tipo MFH)
- c. 2 Unidades de mantenimiento de ¼
- d. 4 sensores ópticos réflex con cinta reflectora y cable de 5 m marca Sick
- e. 2 Válvulas de cierre neumáticas manuales (dispositivos candadeables)

8. Servicios necesarios

- a. Alimentación eléctrica de 460 V directa del CCM de la operación.
- b. Funcionamiento de presión de cilindros es de 90 psi.
- c. Consumo de 0.6 litros de aire comprimido por ciclo del cilindro.
- d. El servicio eléctrico debe estar conectado a tierra.
- e. El suministro de aire comprimido debe ser independiente de la tubería que alimenta a la máquina docenera luego del candadeable.

9. Plan de prueba de calificación de instalación con criterio de éxito

Se realizará una revisión de pruebas estáticas para asegurar que todos los componentes del sistema de ordenamiento de docenas estén instalados de acuerdo a estándar. El detalle de la inspección esta descrito en los anexos no. El criterio de éxito es cumplimiento con el 100% de las inspecciones.

10. Instrumentos de prueba

- a. Multímetro digital FLUKE 179. 1,000 V AC/DC True RMS, con medición de 10 A AC/DC, mV AC/DC, 50 M Ω , 10000 μ F.
- b. Manómetro para medición de presión de aire.

11. Plan de prueba de calificación de operación con criterio de éxito

La prueba de calificación de operación está descrita en el checklist dinámico mostrado en la sección de anexos. El criterio de éxito es cumplir con el 100% de las inspecciones

F. Anexos

Ilustración No. 5 Cotización parte neumática del proyecto de ordenamiento de docenas

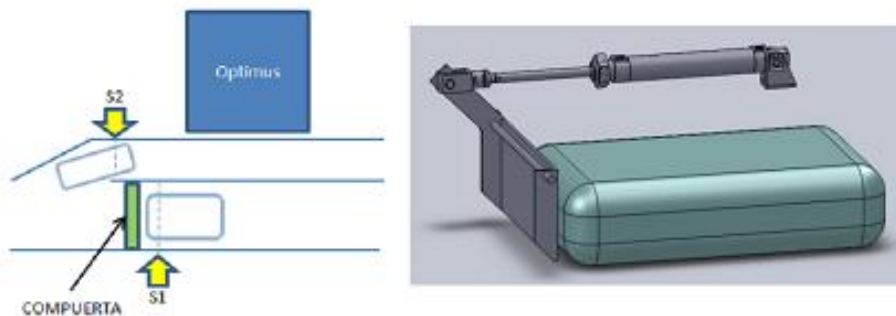
Guatemala, 16 de diciembre de 2010.

Ing. Luis Aguilar

Ref: Proyecto - Ordenamiento de docenas.

Descripción:

Para ordenar el flujo de docenas en la banda transportadora, proponemos la instalación de dos compuertas en las primeras dos empacadoras.



Las compuertas se accionan neumáticamente por medio de cilindros de doble efecto.

El sistema debe tener sensores para coordinar adecuadamente el paso de las docenas. Se propone utilizar dos sensores ópticos en cada compuerta, uno para detectar presencia de producto en la compuerta, y el otro para verificar el avance de la docena que está saliendo.

Será necesario verificar que las dimensiones de los sensores sean adecuadas al espacio disponible en la aplicación.

Descripción de equipo incluido:

- 2 cilindros de doble efecto diámetro 25 mm y carrera 100 mm con horquilla y fijación tipo caballete. (tipo DSNU)
- 4 válvulas reguladoras de caudal.
- 2 electroválvulas 5/2 monoestables con bobina de 24 VDC. (tipo MFH)
- 1 filtro regulador de ¼ (no incluye lubricador).
- 4 sensores ópticos réflex con reflector y cable de 5 m marca Sick (revisar dimensiones en hoja de datos adjunta).
- 20 metros de manguera de 6 mm de diámetro.
- Conectores neumáticos y silenciadores.

Servicios incluidos:

- Asesoría en el diseño y construcción de los mecanismos de las compuertas.
- Asesoría en la instalación eléctrica y mecánica de nuestros equipos.

Equipos y servicios no incluidos:

- Controlador lógico programable (PLC).
- Programación del PLC.
- Gabinete, cable, interruptores, relés y demás accesorios eléctricos.

Ilustración No. 6 Continuación cotización parte neumática del proyecto de ordenamiento de docenas

- Mecanismos de las compuertas.
- Fijación para los sensores.
- Instalación mecánica y eléctrica de los equipos.

Instalación:

- Instalación mecánica del equipo por parte del Cliente con asesoría
- Instalación eléctrica del equipo por parte del Cliente con asesoría

Valor de la inversión:

Equipo	Q14,753.88
Servicios de asesoría	Q1,833.06
Total	Q16,586.94

Diez y seis mil quinientos ochenta y seis con 94/100 quetzales.
IVA incluido.

Forma de Pago:

Crédito: 30 días

Tiempo aproximado para la entrega del equipo:

Equipo neumático: entrega inmediata, salvo venta previa.
Sensores: 4 semanas después de recibir la orden de compra.

Tiempo aproximado para poner en marcha el sistema:

Es necesario planificar en conjunto con el cliente para determinarlo.

Validez de la oferta:

Oferta válida hasta el 23 de diciembre de 2,010.

Esperamos que les parezca atractiva nuestra propuesta. Quedamos a la espera de sus comentarios.

Ilustración No. 7 Cotización banda curva transportadora

Guatemala, 13 de diciembre de 2,010.

Ing. Luis Andrés Aguilar
Presente

Por este medio tenemos el agrado de cotizarle el valor de mano de obra y materiales por la fabricación de un sistema de transportadores para el manejo de bolsas de docenas de cloro a la salida de las empacadoras, utilizando banda plástica modular. Según requerimientos solicitados.

1. TRANSPORTADOR CURVO:

DIMENSIONES: Longitud: 1.50 metros sección recta y curva a 90 grados. 1.00 metros en la parte anterior a la curva y 0.50 metros después de la curva. Ancho: 0.45 metros. Altura: Variable.

CARACTERISTICAS:

- Estructura en lámina de acero inoxidable de 2.4 mm de espesor.
- Separadores de estructura en angular de 40x5mm.
- Patas de soporte y nivelación en tubo cuadrado de 50x50x2mm.
- Chumaceras plásticas de 30mm de diámetro.
- Guías plásticas antifricción en material UHMW.
- Barandas laterales.
- Bases plásticas con pie articulado M-16 para patas.
- Banda plástica modular Serie 2400 Flush Grid en polipropileno blanco de 12" de ancho.
- Curva en acero inoxidable a 90 grados de 0.75 metros de radio.
- Ejes de acero inoxidable cuadrado de 1.5"
- Sprockets plásticos bipartidos con dientes de titanio para manejo de cloro de 5.1" de diámetro.
- Transmisión de potencia con sprockets y cadena de rodillos.
- Tornillería en acero inoxidable.

El costo de mano de obra y materiales por la fabricación e instalación mecánica del transportador es de U.S. \$ 6,533.34 (12% IVA incluido).

- Instalación del transportador curvo y movimiento del transportador horizontal actual de la línea.

El costo de instalación es de U.S. \$ 600.00 (12% iva incluido).

Ilustración No. 8 Continuación cotización banda curva transportadora

RESUMEN DE COSTO:

	Descripción	costo
1.	Fabricación del transportador	\$ 6,533.34
2.	Instalación	\$ 600.00
	Total (12% iva incluido).	\$ 7,133.34

OBSERVACIONES:

1. **La empresa** proporcionará personal calificado, herramienta y equipo necesarios para la realización del proyecto.
2. **La empresa** proporcionará los materiales consumibles del proyecto.
3. **Tiempo de entrega: 5-6 semanas.**
4. **Validez de la oferta: 30 días.**

Sin otro particular al respecto más que agradecerle su atención a la presente cotización, se suscribe de usted.

Ilustración No. 9 Fabricación e instalación de guías para el sistema de docenas

Por este medio tenemos el agrado de cotizarle, **fabricación e instalación de guías para ordenamiento de docenas**, según lo solicitado.

DESCRIPCION:

- Fabricación de 2 placas de PVC longitud aproximada de 2.11 m, con altura de 20 cm, y espesor de 1/8".
- Fabricación de 1 guía recta en PVC de longitud aproximada de 1 m, con altura de 20 cm.
- Fabricación de 11 marcos para sujeción de guías, fabricados en angular en acero inoxidable de 1" x 1/8", y con platinas para fijación a faldón, atornillado con tornillos M-8 x 25 mm.
- Fabricación de 2 mecanismos de compuerta con puntos de apoyo móviles con cojinetes, a excepción del apoyo del cilindro neumático.
- Fabricación de guardas con polimetilmetacrilato de una longitud aproximada de 70 cm, una altura aproximada de 33 cm, ancho 36 cm, fijación con tornillería en acero inoxidable.
- Compra e instalación de rodillos concéntricos fabricados de poliéster reforzados con fibras de vidrio (FRP), con longitud aproximada de 60 cm cada uno.

Materiales:

Cantidad	DESCRIPCION	TOTAL
0.65	Placa de 1/8" fabricada de PVC	Q 2,184.00
2	angular de 1" x 1/8"	Q 1,120.00
22	tornillos M-10 completos en acero inoxidable	Q 344.96
1	seccion de barra M-10 en acero inoxidable	Q 168.00
3	canaletas tipo U	Q 840.00
11	tornillos M-10 completos en acero inoxidable	Q 172.48
3	laminas de 1/4 en acero inoxidable para mecanismo	Q 1,008.00
1	barra para eje de mecanismo M-8	Q 33.60
6	maquinaciones para cojinetes	Q 840.00
6	cojinetes	Q 504.00
2	bases para cilindro fabricadas con angular	Q 616.00
2	Guardas de Polimetilmetacrilato (PMMA)	Q 4,032.00
1	Espuma de poliestireno para limpieza	Q 50.40
2	Argon para soldadura	Q 1,002.00
1	OTROS, consumibles	Q 560.96
	TOTAL, MATERIALES E INSUMOS	Q 13,476.40

MANO DE OBRA:.....Q.14, 828.74 (12% iva incluido).

TOTAL MANO DE OBRA Y MATERIALES.....Q.28, 305.14 (12% iva incluido).

Ilustración No. 10 Continuación fabricación e instalación de guías para el sistema de docenas

OBSERVACIONES:

- La empresa, proporciona materiales, insumos y personal calificado para el desarrollo de los trabajos
- Tiempo de entrega: 8 días hábiles, 1 día de instalación de 12 horas, 1 día de pruebas.
- Forma de pago: 50% anticipo y 50% contra entrega.
- Validez de la oferta: 15 días.

Ilustración No. 11 Cotización control de bandas transportadoras

Guatemala, 16 de Diciembre de 2010

Su Ref.: Control de bandas transportadoras.

Nuestra Ref.: S1-10-115-7

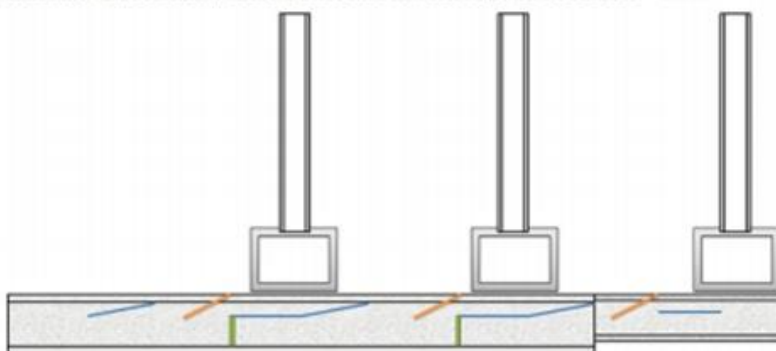
ASUNTO: O F E R T A

Estimados señores:

Agradecemos la oportunidad de permitirnos presentar a ustedes nuestra oferta por el suministro de equipo e ingeniería, según nos fuera solicitado.

Alcance de nuestra oferta:

Actualmente se desea mejorar la entrega de las máquinas doceneras a la banda transportadora. Las mejoras serán implementadas con sensores fotoeléctricos y con compuertas controladas por cilindros neumáticos. Estos sensores y las compuertas serán controladas por el PLC de cada

**1. EQUIPO**

Estamos ofreciendo el siguiente listado de materiales:

- Tubería PVC para instalaciones eléctricas.
- Conectores Condulet tipo L.
- Conectores Condulet tipo T.
- Adaptadores para accesorios Condulet.
- Abrazaderas para tubería.
- Cable de 1 par 16AWG para conexión de electroválvula de cilindros.

2. INGENIERIA

En la parte de la ingeniería, estamos ofreciendo lo siguiente:

- Modificaciones en la programación del PLC para integrar los sensores y las electroválvulas a los programas
- Modificaciones en la programación de las pantallas táctiles
- Modificaciones en los planos eléctricos.
- Modificaciones en los manuales de usuario.
- Instalación eléctrica de los sensores y compuertas.

PRECIO PARA ESTE INCISO EQUIPOS E INGENIERIA: US\$ 5,046.00

Ilustración No. 12 Continuación cotización control de bandas transportadoras

3. INSTALACION ELECTRICA DE MOTOR DE BANDA CURVA

Estamos ofreciendo la instalación eléctrica del motor de la Banda Curva que se instalara al final de la banda anteriormente descrita para lo que ofrecemos lo siguiente:

- Modificación eléctrica en el tablero de la maquina enfardadora para que esta banda arranque o pare al mismo tiempo que la banda inclinada.
- Contactor y Accesorios como bornes y cable para la modificación arriba mencionada.
- Cable de Potencia para el Motor y tendido del cable en tubería de PVC de 1 ½".
- Pruebas de Arranque.

NO SE INCLUYE LA SOPORTERIA DE LA TUBERIA SI FUERA NECESARIO. ESTO DEBERA SER SUMINISTRADO POR PROCTER.

PRECIO PARA ESTE INCISO: US\$ 1,120.00

NOTAS:

- **NO SE INCLUYE LOS SENSORES FOTOELECTRICOS, LAS ELECTROVALVULAS Y CILINDROS NEUMATICOS NI LA INSTALACION MECANICA DE LOS MISMOS. ESTO DEBERA DE SER SUMINISTRADO POR EL CLIENTE.**
- **LOS TRABAJOS SE DESARROLLARÁN EN DÍAS NORMALES DE LUNES A VIERNES (NO FESTIVOS) Y EN HORARIO NORMAL DE 8AM A 5PM.**

CUADRO RESUMEN DE PRECIOS

NO.	CANT.	DESCRIPCION	PRECIO U.	PRECIO TOTAL
1	1	EQUIPO E INGENIERIA	US\$ 5,406.00	US\$ 5,406.00
3	1	INSTALACION ELECTRICA DE MOTOR DE BANDA EN CURVA	US\$ 1,120.00	US\$ 1,120.00
4		PUESTA EN MARCHA	Incluida	Incluida
		TOTAL		US\$ 6,526.00

Los precios se entienden netos del equipo puesto en bodega SYTEK, 12% de I.V.A. incluido, pagaderos en su equivalente en Quetzales según el tipo de Cambio Bancario de referencia para la venta, del día en que sean realizados los pagos.

CONDICIONES DE PAGO – EQUIPOS E INGENIERIA

100% a 30 días crédito contra puesta en marcha.

PLAZO DE ENTREGA

Aprox. inmediata después de recibido el pedido técnica y comercialmente aclarado.

VALIDEZ DE LA OFERTA

Hasta el 23 de Diciembre del 2010.

GARANTIA

Los equipos incluidos en esta oferta gozan de 1 año de garantía de fábrica a partir de la entrega, y cubre desperfectos de fabricación. En caso de un desperfecto, el equipo podrá ser reemplazado o reparado, a elección del proveedor.

La garantía de la programación y los otros servicios prestados por Sytek Integradores, S. A. se limita al funcionamiento de los sistemas de acuerdo con la información obtenida al inicio de los trabajos o enmiendas debidamente documentadas.

Ilustración No. 13 Cotización mantenimiento para sistema de transportadoras

Guatemala 28 de diciembre 2010

Cotizacion No. 8511B-2010

Ing. Luis Andres Aguilar

Banda y accesorios Intralox Curva y recta	Repuestos Almacen	Limpieza
Banda Intralox serie 2400 Flush Edge Flush Grid en polipropileno blanco de 12" de ancho. Tiempo aproximado de cambio (3-4 años)	3 Metros	Lavado 2 veces por mes con agua y jabon banda y guias
Sprockets serie 2400 de 5.1"/130mm (16D) con agujero cuadrado de 1.5"/38mm bipartidos con dientes en acero anticorrosivo y cuerpo plastico PP	6	Lavado 2 veces por mes con agua y jabon sprockets y guias

Descripcion banda y accesorios	Cantidad	Costos Aproximados
Banda Intralox serie 2400 Flush Edge Flush Grid en polipropileno blanco de 12" de ancho.	3 Metros	\$650.00
Sprockets serie 2400 de 5.1"/130mm (16D) con agujero cuadrado de 1.5"/38mm bipartidos con dientes en acero anticorrosivo y cuerpo plastico PP	6	\$450.00
		\$1,100.00

Ilustración No. 14 Prueba de calificación de operación estático

Automatización de Empaque - Instalación y operación de guías para ordenamiento docenas en la operación de empaque de cloro.

Checklist Estático

Responsable:

Fecha:

Item	Descripción	Criterio de Éxito	Resultado (Variables)	Condiciones Equipo		Comentarios
				Accepta	Rechaza	
	Instalación					
1	Guías divisoras	La fijación a la banda del sistema es consistente y no se encuentra algún desbalance en los soportes.				
		Las guías no presentan filos con riesgo a lastimar la docena de sachets.				
		La estructura de las guías se encuentra perfectamente nivelada; no es visible ningún "cojeo" o un soporte más grande que otro.				
2	Rodillos volteadores	Los volteadores no presentan filos con riesgo a lastimar la docena de sachets.				
		La altura del volteador es lo suficientemente elevada para permitir el flujo constante de una docena a través de la banda.				
3	Pistón Compuerta Empacadora Línea 3	El pistón no presenta filos o material oxidado que pueda dañar a la docena.				
		El émbolo y la horquilla del pistón se encuentran en condiciones óptimas y alineados adecuadamente al sistema.				
		El pistón se encuentra anclado fijamente al marco del sistema.				
4	Pistón Compuerta Empacadora Línea 2	El pistón no presenta filos o material oxidado que pueda dañar a la docena.				
		El émbolo y la horquilla del pistón se encuentran en condiciones óptimas y alineados adecuadamente al sistema.				
		El pistón se encuentra anclado fijamente al marco del sistema.				

Ilustración No. 15 Continuación prueba de calificación de operación estático

5	Compuerta Empacadora Línea 3	Las compuertas no presentan filos o material oxidado con riesgo a lastimar la docena de sachets.				
		La compuerta totalmente abierta no obstaculiza de cualquier manera el flujo de paso de la docena.				
6	Compuerta Empacadora Línea 2	Las compuertas no presentan filos o material oxidado con riesgo a lastimar la docena de sachets.				
		La compuerta totalmente abierta no obstaculiza de cualquier manera el flujo de paso de la docena.				
7	Mangueras	Todos las mangueras se encuentran ubicados dentro de la soporteria de cableado hacia el panel, no hay ninguna manguera fuera de ubicación.				
8	Cableado eléctrico	Dentro del panel, las conexiones de cables hacia los burners se encuentran instalados de forma adecuada.				

Realizado por:

Revisado por:

Ilustración No. 16 Prueba de calificación de operación dinámico

Automatización de Empaque - Instalación y operación de guías para ordenamiento docenas en la operación de empaque de cloro.

Checklist Dinámico

Responsable:

Fecha:

Item	Descripción	Criterio de Éxito	Resultados (Variables)	Condiciones Equipo		Comentarios
				Acepta	Rechaza	
	Operación					
1	Funcionamiento de Sistema de Ordenamiento de Docenas	Cuando la banda se pone en funcionamiento no presenta vibraciones en sus estructuras				
		La posición de las guías no afecta el final de la carrera de la compuerta de la máquina empacadora.				
		Al activar el sistema candadeable de la compuerta, no se tienen alimentación de aire comprimido hacia los sistemas.				
		Los rodillos volteadores giran libremente y no se frenan cada cierto tiempo.				
		La compuerta de la máquina empacadora Línea 3 abre y cierra correctamente sin dañar la banda.				
		La compuerta de la máquina empacadora Línea 2 abre y cierra correctamente sin dañar la banda.				
		Las guías no rasgan y/o cortan las docenas en el paso de la banda transportadora, en ninguno de los sistemas de ordenamiento				
		Las docenas pasan sin ningún inconveniente por el espacio ofrecido al mantener la compuerta abierta.				
		Las docenas no se atascan en ningún punto de la banda transportadora y sigue un movimiento constante hacia la banda curva.				
		Al haber dos docenas paralelas en la banda y se llega a la estación de control (compuerta); el paso es cedido a la docena proveniente de la máquina empacadora por medio de la señal de los sensores.				
		La señal emitida por el sensor con el haz de luz y la cinta reflectada funciona adecuadamente respecto a la altura de la docena recostada.				
		Rodillos de sistema giran libremente con el paso de docenas.				

Ilustración No. 17 Continuación prueba de calificación de operación dinámico

	Las guías instaladas no desgastan a la banda en movimiento				
	El funcionamiento de las bandas no se ve afectado por el sistema de ordenamiento instalado.				
	Rodillos instalados voltea la docena correctamente.				

Realizado por:

Revisado por: