



Selección de Sistema de Vacío Utilizando Bombas Tipo Distribuidor Giratorio para Máquina Llenadora de Cerveza

(1) Valverde, Oswaldo; (2) Martinez, Ernesto

(1) Ingeniería Mecánica, 2009; e-mail: ovalverd@espol.edu.ec

(2) Director de Tesis, Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica del Litoral, e-mail:

emartine@qu.pro.ec

Resumen

El presente artículo trata sobre la implementación de una nueva tecnología de bombas de vacío de distribuidor giratorio en una máquina llenadora de Cerveza. La razón por la cual se aplica vacío a la botella es extraer el oxígeno existente en su interior y mantener con ello los valores permitidos de Oxígeno Total Envasado, evitando se oxide el producto y pierda sus propiedades organolépticas. Este es un proceso que hasta ahora se realizaba con bombas de anillo líquido que utilizaban agua como líquido sellante y que luego de 10 años de trabajo continuo han perdido su capacidad de generar el vacío requerido por el sistema y deben ser reemplazadas necesariamente. Presentándose así dos alternativas, mantener la misma tecnología de bombas de vacío o, implementar bombas de distribuidor giratorio. Primero se analizó las curvas de funcionamiento de las bombas de vacío actuales para compararlas con las de distribuidor giratorio y certificar que puedan generar los mismos niveles de vacío y luego se comparan en una matriz de decisión todos los parámetros involucrados para finalmente decidimos por las bombas de vacío de distribuidor giratorio y continuar con la selección de la potencia, tanque, y demás accesorios necesarios para completar el sistema. El resultado es una nueva tecnología de bombas de distribuidor giratorio que genera el vacío requerido con una menor potencia y que además evita el desperdicio de agua como una medida de compromiso con el medio ambiente.

Abstract

The present article refers to the implementation of a new technology of rotary vane vacuum pumps in a filling machine of beer. The reason why the vacuum is applied to the bottle is to remove the oxygen in its interior and thereby sustain the allowed values of TPO Total Packing Oxygen, preventing oxidation of the product and lose their organoleptic characteristics. This is a process that until now was performed with liquid ring vacuum pumps using water as a liquid sealant and that after 10 years of continuous work have lost their capacity to generate the vacuum required by the system and must be replaced necessarily. Presenting two alternatives, maintaining the same technology for the vacuum pumps, or change to rotary vane vacuum pumps. I first analyzed the performance curves of existing vacuum pumps for comparison with the rotary vane and certify that can generate the same levels of vacuum and then compared in a matrix of all parameters involved decision to finally decide for the rotary vane vacuum pumps and proceed with the selection of power, tank and other accessories needed to completed the system. The result is a new technology of a rotary distributor pumps to generate the required vacuum with less power and also avoids the waste of water as a measure of commitment to the environment.

1. Conceptualizaciones.

1.1. Vacío

De acuerdo con la definición de la Sociedad Americana de Vacío (1958), el término **vacío** se refiere a cierto espacio lleno con gases, a una presión total menor que la presión atmosférica, por lo que el grado de vacío se incrementa en relación directa con la disminución de presión del gas residual.

1.2. Parámetros de Medición.

Los parámetros de medición y aquellos que son fundamentales para seleccionar una bomba de vacío, son sin duda la presión de vacío y el flujo de gases que se debe extraer.

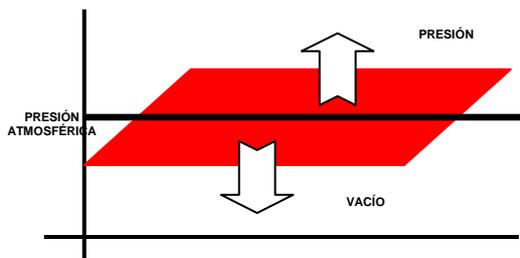


FIGURA 1.1. VACÍO.

Unidades en las que se mide el vacío:

Las unidades en las que se mide la presión de vacío pueden ser:

Absolutas	Relativas
• Torr	• In Hg gage
• In Hg Abs	• In Water
• Mbar abs	• PSIG
• Bar abs	
• PSIA	

1.3. Concepto de Bomba de Vacío.

Son dispositivos que generan vacío mediante la utilización de un motor eléctrico. Se emplean cuando se requieren elevados caudales de aspiración, existen de varias tecnologías y por ende muchas aplicaciones distintas también, son comúnmente

usadas en máquinas de envasado, imprenta, de inyección de plástico y caucho, entre otras.

1.3.1. Tipos de bombas de vacío.

Básicamente la diferenciación es hecha entre dos clases de bombas de vacío:

- a) **Bombas de vacío** donde - vía una o varias etapas de compresión - las partículas de gas son removidas del volumen que debe ser bombeado y expulsado a la atmósfera.
- b) **Las bombas de vacío** donde las partículas de gas que deben ser quitadas se condensan o son vinculadas por otro medio (por ejemplo químicamente) a una superficie sólida, que a menudo es la parte del límite que forma el volumen.

Una clasificación que va más bien en función de su tecnología y sus aplicaciones prácticas es la que sigue:

- La paleta rotatoria y bombas de émbolo rotatorias; también las bombas cicloidales.
- Bombas de lóbulos, turbo moleculares.
- Bombas de vapor
- Condensadores, Cryopumps
- Bombas de porción

2. Principios de Funcionamiento de las Bombas de Vacío.

2.1. Principio de funcionamiento de las bombas de vacío de anillo líquido.

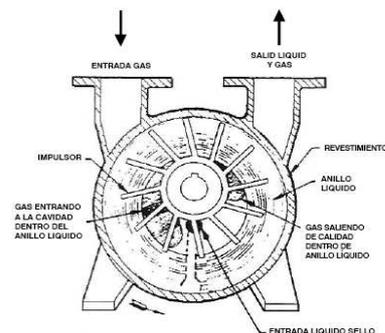


FIGURA 2.6. CORTE TRANSVERSAL DE BOMBA DE ANILLO LÍQUIDO.

Cuando la bomba está en operación, un flujo continuo de líquido sellante entra a la bomba y forma un sello entre el impulsor y la carcasa

2.1.2 Tipos de Instalación.

- Sistemas de Recuperación de Sellante.
- Sin recuperación de Sellante.
- Recuperación Sellante Parcial.
- Recuperación Completa de Sellante Con/ Sin bomba de Recirculación.

2.2. Principio de Funcionamiento de las Bombas de Distribuidor Giratorio.

Subida de la presión mediante desplazamiento del recinto: Sistemas estáticos de transporte para volumen alterado del aire.

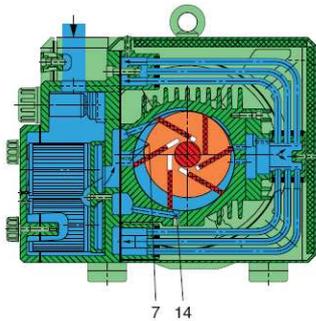
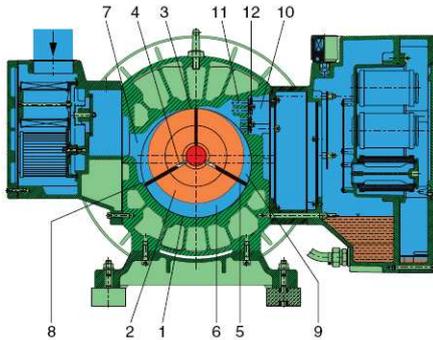


FIGURA 2.11. COMPOSICIÓN BOMBAS DE DISTRIBUIDOR GIRATORIO.

3. Procesos de Llenado de la Cerveza

La planta de embotellado es sin duda una sección importante dentro de una compañía cervecera, su línea de producción incluye:

- Depaletizadoras
- Inspección de cajas
- Desencajadora
- Lavado de botellas

- Lavado de cajas
- Llenadoras
- Inspección de nivel y tapado
- Pasteurizadora
- Etiquetadora
- Inspección de Etiquetado
- Empacadoras
- Inspección de cajas llenas
- Paletizadora

Con todo este proceso terminado se obtiene un producto listo para ser distribuido a los distintos puntos de venta.

Etapas del proceso de llenado

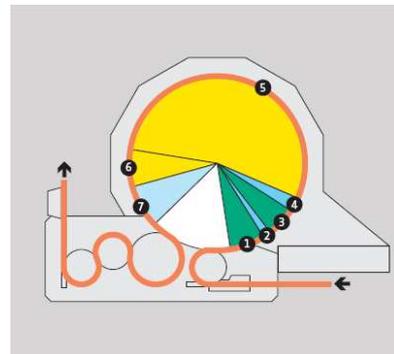


FIGURA 3.13. ETAPAS DEL PROCESO DE LLENADO.

Donde:

1. Primera Evacuación
2. Enjuague con CO₂
3. Segunda evacuación
4. Presurización
5. Llenado
6. Estabilización
7. Descarga

La máquina llenadora que se analiza tiene 84 válvulas y trabaja a una capacidad de 500 BPM.

Es bueno recalcar que para el llenado de cerveza se usa un sistema llamado de pre-evacuación, donde las válvulas están diseñadas para cumplir con siete fases muy bien diferenciadas que dan lugar a una botella llena de producto con únicamente la cantidad de oxígeno permitida en su interior y se evita de esa manera que el producto se deteriore.

Una válvula en su posición base se ve de la siguiente manera en la Figura 3.15.

Donde:

1. Cilindro de mando de la válvula de líquido
2. Válvula de gas
3. Rodillo de leva
4. Bloqueador de gas
5. Cono de válvula
6. Tubo de retorno de gas
7. Canal de vacío
8. Válvula de descarga
9. Válvula de vacío
10. Canal de descarga

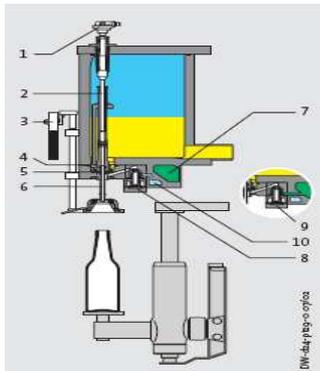


FIGURA 3.15. VÁLVULA DE LLENADO.

3.1. Función que Cumple la Bomba de Vacío en el Llenado de Botellas de Cerveza.

Estas bombas de vacío serán las encargadas de generar la presión negativa necesaria para que se puedan realizar la pre-evacuación y la segunda evacuación; siendo estas las dos etapas dentro de las fases obligadas de la válvula en las que se opera con vacío.

Para lograrlo, la máquina llenadora exige presiones de vacío que estén mínimo entre 25 y 28 in Hg. Y una capacidad suficiente para trabajar con 84 válvulas a una velocidad de 500 BPM. Considerando que las botellas tienen un volumen de 355 mL (aquellas de mayor volumen que son llenadas en esta máquina).

3.2. Problema que ocasiona la bomba de vacío actual en el sistema.

El sistema actual de de vacío funciona con dos bombas de anillo líquido de eje libre que trabajan con motores de 10 HP de potencia, construidas en hierro fundido, y que por su diseño utilizan agua como líquido sellante.

El motivo principal por el cual se debe cambiar las bombas es que por el desgaste producto de 10 años de trabajo continuo, los niveles de vacío generados se encuentran por debajo de los valores requeridos por la máquina llenadora para cumplir con las exigencias en cuanto al volumen de oxígeno permitido dentro de la botella, las presiones actualmente han caído a valores que están entre las 15 y 17 in Hg en un sistema que requiere de mínimo 25.69 in Hg.

Sin duda que las presiones de hasta 17 in Hg son suficientes para que la válvula trabaje y el proceso de llenado se cumpla pero, esto provocaría una cerveza que se oxidaría rápidamente sin conservar las propiedades organolépticas características de este producto.

Actualmente la bomba no tiene un sistema de recuperación de líquido sellante, agua en este caso, producto que es descargado a una temperatura de aproximadamente 36°C hacia el piso inmediatamente cumplida su función; provocando, además de un área insegura y peligrosa para trabajar, un escenario no acorde con las políticas de conservación y protección medioambientales.

3.3. Matriz de decisión en la solución del problema.

Existen dos tecnologías distintas como alternativas para esta aplicación y por ende dos opciones a elegir:

1. Continuar utilizando bombas de vacío de anillo líquido.
2. Implementar un nuevo sistema de vacío utilizando bombas de distribuidor giratorio.

Para decidir cual de estos sistemas se utilizará se puede poner en consideración los siguientes puntos.

- Niveles de vacío y capacidad para el sistema
- Costos



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



- Facilidad de mantenimiento
- Disponibilidad de Repuestos
- Consumo de Energía
- Seguridad en el área de Trabajo
- Influencia con el medio ambiente

Ponderando estos puntos (B= 2 MB= 4) y agrupándolos en una matriz, los resultados se los puede apreciar en la tabla 5.

TABLA 5.- MATRIZ DE DECISIÓN.

Variable	Nivel Importancia	Distribuidor Giratorio		Anillo Líquido	
Costo	5	B	10	B	10
Facilidad de Mantenimiento	6	MB	24	B	12
Consumo de Energía	8	MB	32	B	16
Impacto Ambiental	10	MB	40	B	20
Disponibilidad de Repuestos	7	MB	28	B	14
Seguridad Industrial	9	MB	36	B	18
Resultado			170		90

4. Nuevo Sistema de Vacío

4.1. Determinación de la Capacidad de la Bomba de Vacío.

Para determinar la capacidad de las bombas que trabajarán en este sistema se debe considerar información valiosa como:

- Volumen de botella (mayor): 355 mL
- Velocidad de trabajo de la llenadora: 30.000 BPH
- Número de válvulas: 84
- Presión de vacío mínima exigida por el Sistema: 25 in Hg.

$$S_p = \frac{V}{T} \ln \left(\frac{P_1}{P_2} \right)$$

Donde:

S_p = Capacidad de bombeo.

V = Volumen a evacuar.

P_1 = Presión máxima de vacío (expresada en unidades absolutas).

P_2 = Presión de vacío del sistema (expresada en unidades absolutas)

T = Tiempo

En el proyecto $P_2 = 25$ in Hg. Una presión relativa y se debe llevarla a valores absolutos.

$$P_2 = 25 \text{ inHg} [V]$$

$$P_2 = (29.93 - 25) \text{ inHg} [A]$$

$$P_2 = 4.93 \text{ inHg} [A]$$

$$P_2 = 4.93 \text{ inHg} [A] \left(\frac{760 \text{ Torr}}{29.93 \text{ inHg} [A]} \right)$$

$$P_2 = 125.18 \text{ Torr}$$

Con esta presión de vacío del sistema en términos absolutos y considerando un tiempo de 1 segundo se tiene:

$$S_p = \frac{V}{T} \ln \left(\frac{P_1}{P_2} \right)$$

$$S_p = \frac{0.0125 \text{ ft}^3}{0.0167 \text{ min}} \ln \left(\frac{760 \text{ torr}}{125.18 \text{ torr}} \right)$$

$$S_p = 1.35 \text{ ft}^3 / \text{min}$$

Puesto que son 84 válvulas:

$$S_p = 113.4 \text{ ft}^3 / \text{min}$$

4.2. Selección del Nuevo Sistema de Vacío.

Dado que los niveles de vacío no van a subir de 28.5 in.Hg (V), y considerando que la capacidad calculada está en 113.4 CFM se selecciona la bomba de 7.5 HP de distribuidor giratorio para operar en el sistema, la cual tiene una curva de funcionamiento que se adapta perfectamente a la demanda del sistema.

Cálculo de Resistencia del Tanque.

u = coeficiente de poisson para el acero.

$$P_{crit} = \frac{2.1E^6 \times 0.4^3}{[4 \times 0.91 \times 27.7^3]}$$

$$P_{crit} = 1.74 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

La presión atmosférica normal es de 1.033 Kg/cm^2 .



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



El coeficiente de seguridad contra la pérdida de presión será:

$$X_{crit} = \frac{1.74}{1.033}$$

$$X_{crit} = 1.7$$

$$X_{crit} = OK$$

NOTA: Espesor mínimo de plancha: 4mm

Material Requerido:

- Las planchas en Acero ASTM A36
- Espesor mínimo de la plancha 4mm/ 3.5m²
- Peso 110 Kg
- Casquetes semielípticos de 22" x 4 mm de espesor
- Accesorios estándar para acoplar tubos de diámetros indicados
- Electrodo 6011 de 1/8" - Peso 2 Kg
- Desoxidante Ferroxid: 1 Litro
- Pintura Ferroprotectora: 1 Litro
- Pintura Esmalte Amarilla: 1 Litro

La prueba hidrostática aquí se requiere a los efectos de garantizar la buena hermeticidad del tanque para evitar entradas de aire, será suficiente someterlo a una presión interior de 30 PSIG (2Kg/cm²) manométricos y observar que no ocurra disminución de la presión en un tiempo de mínimo 15 min.

4.3. Componentes del sistema.

Bombas de Vacío	Bombas de vacío de una etapa, mecánicas, de paletas rotativas, con recirculación de aceite y refrigerada por aire.
Tipo:	
Capacidad de la bomba:	141 CFM
Vacío Máximo:	29.92 in Hg
Lubricación:	Aceite lubricante que recircula por diferencias de presión.
Funcionamiento	Revisar Anexo 1
Potencia:	7.5 HP, TEFC, 1740 rpm
Acople de motor:	Acople directo Bridado (Monoblock)

Requerimientos eléctricos:	460 V, 3 F, 60 Hz
Tanque acumulador	Sección VIII, División 1
Código ASME:	
Capacidad:	120 Galones
Orientación:	Horizontal
Material:	Acero al carbono
Accesorios:	Válvula de drenaje manual

Accesorios del sistema	Cantidad
Conexión Flexible	2
Transmisor de Presión	1
Vacuómetro	1
Válvula Solenoide (auto-purga)	2
Filtro de 5 micras en la entrada	2
Switch de alta temperatura de aire	2
3 válvula sistema de drenaje automático	1
Tanque de 2 galones	1
Switch de nivel	1
Válvula de asiento angular	2
Válvula solenoide	2
Panel de Control Eléctrico	1

4.4. Funcionamiento del sistema.

Al primer arranque del equipo, verificar que la tubería de succión se encuentre libre de escombros y de líquidos, que la descarga no está obstruida, que todo el cableado este seguro y que el nivel de aceite sea el adecuado.

La operación automatizada para cada bomba es iniciada cuando en el panel de control se seleccione de entre las tres opciones "Hand-Off-Auto" la opción "Auto". La bomba de vacío es controlada por un PLC (cascada), quien determina la secuencia de acuerdo a la demanda del sistema. En operación automática, la bomba de vacío:

Designación	Operación
Lead	La primera bomba arranca.
Lag (lag-1)	La segunda bomba arranca.
Lag- Lag (Lag-2)	La siguiente secuencia.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



Las funciones “Lead” y “lag 1” son alternados entre las bombas de vacío en el sistema cada vez que se termina un ciclo y la demanda fue completada.

El punto de referencia no se alterna, el valor de referencia para el inicio de funciones LEAD es siempre el mismo y se encuentra registrado en “lead pump”. Al revisar los switch de vacío, si se encuentran en “closed” indica que hay demanda de vacío y por el contrario si muestra “open” la demanda ha sido satisfecha.

Al momento de la operación en la pantalla estarán activas, “lead-demand”, “lead pump” y “minimum run timer” y lo que ocurrirá es que la bomba con “lead pump” continuará trabajando hasta que la demanda sea satisfecha (el switch de vacío muestre “open”, o el transmisor de presión de valores por abajo del punto de referencia, o hasta que el tiempo mínimo de operación expire, lo que ocurra primero.

4.5. Costos del Nuevo Sistema.

Un resumen de los costos a incurrir para la adquisición del nuevo sistema se detalla a continuación:

ITEM	USD
Costo del Tanque Cap 120 gl Construcción local	540,96
Costo de bombas	21.166,38
Costo del PLC Mitsubishi fx1s-30mr-es/ul	425,19
Otros	5.194,39
Costo, Seguro, Flete e Impuestos y Aranceles	6.996,86
Total Proyecto	34.323,78

Adicionalmente la implementación de este nuevo sistema permitirá reducir los costos variables de producción, principalmente en dos rubros: Consumo de Agua potable y Consumo de Energía Eléctrica.

Rubro	Ahorro Anual USD
Energía Eléctrica	932,47
Agua Potable	16.593,72

El tiempo de recuperación de la inversión realizada en la implementación del nuevo sistema, con el ahorro en costos calculados, será de aproximadamente de 15 meses. Sin embargo bajo un horizonte de 5 años para su recuperación, el ahorro en costos deberá ascender a USD 9.985,94 anuales.

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones.

- El nuevo sistema de vacío usando bombas de distribuidor giratorio ha logrado devolver la presión de vacío requerida para el proceso.
- La cerveza mantiene sus propiedades organolépticas
- El mantenimiento del sistema se ha reducido a verificar periódicamente la malla de ingreso a la bomba y realizarle una limpieza para evitar posibles taponamientos en la succión.
- El área de trabajo alrededor de la bomba se mantiene seca al dejar de descargarse al agua, que actuaba como líquido sellante en el anterior sistema, al suelo; convirtiéndose en un ambiente más seguro para sus operadores.
- Las bombas de anillo líquido usaban agua a razón de 8 GPM lo que representa un ahorro en costos de USD1382 mensuales (Operando las 24 horas), lo cual es significativo, en vista de que el nuevo sistema de bombas de distribuidor giratorio no utiliza agua.
- Con el nuevo sistema, al reducir la potencia a 7,5 HP, se produce un ahorro en costos por el consumo de electricidad de USD 77,70 dólares mensuales.
- Tomando como referencia el ahorro producido en ambos rubros (Electricidad, Agua Potable), es factible recuperación la inversión realizada en el nuevo sistema en un período aproximado de 15 meses.
- Comprometidos con la conservación del medio ambiente, esta propuesta ha logrado evitar el consumo de agua que no era recuperada en el proceso y devuelta al sistema a elevada temperatura.
- Se evitó realizar la inversión del sistema de recuperación de líquido sellante que incluiría intercambiador de calor, tanque separador, dos bombas centrífugas, tubería e instrumentación, además del tratamiento necesario para llevar el agua a condiciones aptas para el consumo humano, indicador comparativo de que se encontraría en condiciones de ser usada como sellante en el proceso.
- El sistema lleva ya 3 años operativos y los resultados han sido favorables.

5.2. Recomendaciones.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



- Como mecanismo para evitar la corrosión de los tanques, es recomendable que el tanque del sistema sea elaborado en acero inoxidable.
- Es importante revisar que el filtro de la malla en la succión de las bombas este libre de obstáculos, de lo contrario podrían existir pérdidas en la presión de vacío.
- Un análisis futuro constituye el cálculo de los equipos necesarios para implementar un sistema de recuperación de agua si se pretende seguir utilizando las bombas de vacío de anillo líquido.
- Luego de 3 años de funcionamiento, es recomendable para mejorar la eficiencia del mismo, implementar un sistema que elimine el ingreso de condensados al tanque.

6. Referencias

Páginas Web verificadas el 30/06/2009:

1. http://fa.jonweb.net/Mitsubishi_HMI.htm
2. www.arrowspeed.com/products/mitsubishi/HMI_terminals/F900GOTBROCHURE.pdf
3. <http://www.plccenter.com/buy/SCHNEIDER+AUTOMATION+INC/LA9LB331>
4. <http://www.plccenter.com/buy/HOFFMAN/CS24208>
5. <http://www.newark.com/jsp/search/productdetail.jsp?sku=19M8403&requestid=279490>
6. http://www.drillspot.com/products/122169/Square_D_9070TF300D1_TF_Transformer
7. <http://www.partsforindustry.com/product.php?CatLink=1&CatID=282&ProdID=9100702>
8. http://www.drillspot.com/products/44770/Telmeccanique_LB1LB03P17_Iec_Overload_Module
9. <http://www.partsforindustry.com/manufacturers.php>
10. <http://www.grainger.com/Grainger/items/3LW10>
11. <http://www.alliedelec.com/Search/ProductDetail.aspx?SKU=3810498&MPN=C1LG6>
12. <http://www.alliedelec.com/Search/ProductDetail.aspx?SKU=3810581&MPN=G1X3LG6>
13. <http://www.grizzlyindustrial.com/outlet/Motor-10-HP-3-Phase-1800-RPM-TEFC-230V-460V/G6250>
14. <http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar>
15. <http://www.directemar.cl/estadisticas/maritimio/2008/cuadros/0223.pdf>
16. www.bce.fin.ec

Páginas Web verificadas el 04/11/2009:

17. www.conelec.gov.ec/
18. www.ecapag.gov.ec/SoloPortalECAPAG/default.asp?idl=63

Páginas Web verificada el 11/11/2009:

19. www.krones.com.br/downloads/sensometric_value.pdf.
20. **Observatorio Ciudadano de Servicios Públicos;** “Estudio tarifario del servicio de agua potable de Guayaquil: un análisis técnico sobre la estructura tarifaria y el impacto del crecimiento del costo del agua potable en la ciudad más poblada del Ecuador”; Econ. Andrés Freire; Guayaquil-Ecuador 2008
21. **Fundamentos de Calor, Cuarta Edición “Factores de Conversión”;** Frann P. Incropera y David P. de Will, Pág 887.
22. **Operation & Maintenance Manual, Vacuum Systems, Rietschle Oil Recirculated Vacuum Pumps;** Rietschle Thomas, 7222 Parkway Drive.
23. **Fundamentals of Vacuum Technology revised and compiled by Dr. Walter Umrath** with contributions from: Dr. Hermann Adam+, Alfred Bolz, Hermann Boy y otros, Agosto 1998.

Visto bueno en conformidad del artículo de tesis presentado

Nombre: Ing. Ernesto Martinez Lozano.
Director de Tesis