

Cálculo de Sistemas Neumáticos y de Distribución de Aceites Lubricantes en Taller Automotriz

Otto Edwin Garijo Robles
Ángel Vargas Zúñiga, Msc, MechEng
Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP)
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador
ogarijo@gmail.com
avargasz@gye.satnet.net

Resumen

En Ecuador existe un crecimiento del parque automotor, del 7% al 10% anual. Esto presiona a los concesionarios para aumentar sus locales y cubrir la creciente demanda de mantenimiento de los vehículos que representan, al igual que los talleres particulares para los vehículos fuera de “garantía”. Se requiere una buena planificación de sus futuras instalaciones. Hay dos cruciales para cualquier taller, además de las acometidas eléctricas: La red de aire comprimido y la distribución de lubricantes para despacho en sus puntos “express”. Estos sistemas eran realizados por personas con poco conocimiento técnico de la selección y dimensionamiento de sus elementos, lo que provocaba mal funcionamiento y bajo rendimiento de las redes y equipos conectados. Por ello el objetivo de esta tesis es presentar el proceso de cálculo de estos sistemas y elementos constitutivos, aprovechando la experiencia en la instalación de los mismos, obtenida durante algunos años. Utilizando los conocimientos de Ingeniería Mecánica y tablas certificadas de conocidos fabricantes de equipos involucrados, se llegará al dimensionamiento y diseño final teórico de estos sistemas, además del cálculo básico de costos, esperando que esta información sea una útil guía para todo Ingeniero que requiera realizar estos trabajos o fiscalizar infraestructuras instaladas.

Palabras Claves: *Instalaciones de taller automotriz, Neumática, Distribución de Lubricantes.*

Abstract

An annual fleet growth of 7% to 10% is happening in Ecuador. This fact forces to local concessionaires to increase their agencies – workshops for growing demand of car maintenance of their customers. Similar situation happens to private workshops for vehicles out-guaranteed. They require good planning of their future installations. Two facilities are critical for any workshop, besides the electrical connections: The pneumatic network and the lubricant distribution system to express bays service. Such facilities were made commonly by people with none or little technical knowledge about sizing and selection of system elements, causing malfunction and poor performance of these networks and connected devices. Thus, the aim of this article is to present the calculation process of these systems and their constituent elements, taking advantage of some years of experience of design and installing these systems. Using Mechanical Engineering knowledge and tables of certified manufacturers of the equipment involved, this article will develop the design theory and the final sizing of these systems, like to basic calculations of costs, thinking that this information might be an useful guide for all engineer than required to perform this work or inspect installed facilities.

Keywords: *Workshop facilities, Pneumatic, Lubricant Distribution System.*

1. Introducción

Se estima una tendencia al crecimiento del parque automotor ecuatoriano del 7% al 10% anual [1]. En Guayaquil pasamos de aproximadamente 30 talleres de concesionarios en 2004, a más de 50 en 2010 (una tasa de crecimiento de 3 a 4 por año). Se han desarrollado mayor cantidad de locales particulares para atender la demanda de servicios para vehículos fuera de garantía, flotas, llantas, pintura automotriz, enderezada, tercerización de servicios por parte de algunos concesionarios y otros más.

Un taller está compuesto de sistemas, entre los cuales se destacan la red neumática y la de distribución de lubricantes. Ambos son comunes pero es normal encontrarse con problemas de funcionamiento de los mismos por instalaciones anti-técnicas: trazados inapropiados con tuberías extremadamente largas de ½” (que generan una excesiva caída de presión y pérdida de energía), uso de materiales inadecuados en su construcción, etc.

El propósito y la importancia de este artículo radican en ayudar a los ingenieros que se encuentran a cargo de estas instalaciones, a fin que puedan realizar los cálculos requeridos para lograr redes funcionales

que cumplan los estándares y las expectativas de los usuarios. Un segundo propósito es proveer orientación para fiscalizar y reparar estas redes, desarrollando soluciones.

2. Capacidad proyectada del futuro taller

Para los concesionarios, este valor se define en la Ingeniería Conceptual y Básica del Proyecto en base de las proyecciones de crecimiento, investigación de mercado y diseño civil – arquitectónico del futuro local, quedando en manos del contratista la Ingeniería de Detalle de estas instalaciones. Luego realizar las acometidas técnicamente, en caso de ser contratado. Más común es encontrar un proyecto donde no existe un plano, o estudios de factibilidad y capacidad (talleres particulares). Por ello el ingeniero debe conocer el medio para asesorar a los propietarios del taller, definir el proyecto, y en este proceso obtener los datos de capacidades necesarias para su diseño.

Además del estudio económico de factibilidad, que no es objeto de estudio en este artículo, el ingeniero puede ayudarle a evaluar al dueño del taller la capacidad proyectada del taller (V) con los siguientes valores:

M: Mercado total de vehículos en el sector de influencia (alrededor del sitio del taller), en cantidad de vehículos.

P: Porcentaje esperado de cobertura de ese mercado total, en porcentaje al año

C: Crecimiento del mercado que se conoce está entre el 7% al 10% anual [1], conservadoramente se puede asumir un 6% (sobre todo por la posible contracción por las medidas económicas actuales)

$$V = M * P * (1 - C)^n \quad [\text{vehículos/año}]$$

Donde n se define en función del año a proyectar:

n_0 = año inicial proyección

n_i = año final de proyección

$$n = n_i - n_0.$$

El resultado de V debe ser obtenido al menos para el año final de retorno de la inversión.

2.1. Servicios a ofrecer en el taller y bahías destinadas a cada uno

Algunos requerirán aire comprimido como servicio a llantas, otros casi nada, como electromecánica. Para el sistema de lubricantes, se deberá tomar en cuenta si planifican bahías express de lubricación, o bahías de mecánica con servicios generales que requieran estos sistemas.

Se debe cuantificar la cantidad de bahías que se dedicarán a cada servicio, tomando en cuenta las dimensiones del local, la ubicación y tamaño de otras infraestructuras requeridas como espacios de bodegas, oficinas, vías de circulación interna, etc. Todo local tendrá un número máximo de bahías de trabajo definido por su espacio físico y la distribución del resto de áreas.

Existen parámetros empíricos de capacidad de atención diaria por tipo de bahía de trabajo (Fv). Por ejemplo 5 vehículos diarios por bahía de mecánica rápida o servicio a llantas.

Se puede comenzar un proceso iterativo de diseño, con layouts previos, sumando la cantidad total de vehículos atendidos en todas las bahías al día, hasta encontrar una solución similar a lo encontrado en la proyección calculada (V).

2.2. Equipos destinados para cada bahía

Con el plano resultado de lo anterior, se podrá definir la cantidad, tipo y ubicación de equipos a instalar en el taller. Con estos datos se continuará el diseño, ya que se consiguió la misma información que se tiene de la ingeniería conceptual y básica de proyectos mayores.

3. Cálculo y dimensionamiento del sistema de distribución de lubricantes.

3.1. Flujo promedio de despacho de lubricantes esperado

El primer paso es definir tipos de lubricantes bombeados. Esto dependerá de algún estudio previo. Lo que no se bombee en líneas fijas, utilizará equipos móviles o despacho manual directamente de envases. Sin embargo el despacho asistido (neumático o eléctrico) será mucho más rápido.

Por cada lubricante a bombear se deberá encontrar el caudal diario entregado, o flujo promedio de despacho (Qe). Para ello se definirá cuantas bahías serán atendidas (Nb). Se requiere también el volumen por cambio de aceite unitario (Vau) el cual depende del tamaño del receptáculo a llenar en el vehículo (p. ej. Cárter). Entonces:

$$Qe = Fv * Nb * Vau \quad [Lpd]$$

3.2. Selección y cálculo de bombas de lubricantes

Según el tipo de lubricante a transferir se selecciona la bomba neumática recomendada para la aplicación. Normalmente los fabricantes publican curvas de desempeño (presiones de salida y consumos

de aire) para diferentes caudales despachados según la presión de alimentación neumática. [2] [3] [10] [11]

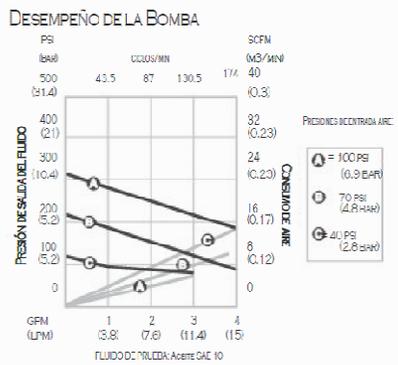


Figura 1. Ejemplo de curva de desempeño

Primero se comparan varios modelos de bombas en un punto de operación similar, normalmente al mismo CPM (Ciclos por minuto), para encontrar las de mayor flujo entregado y menor consumo neumático, es decir mayor eficiencia y menor desgaste. Otro punto como indica la Tabla 2 es el caudal sugerido de la ficha técnica de cada bomba (cuando no existe información de CPM)

El segundo parámetro es la eficiencia. Se debe obtener la curva. Tomando en cuenta la información del consumo neumático y la curva a 90 – 100 psi de alimentación neumática:

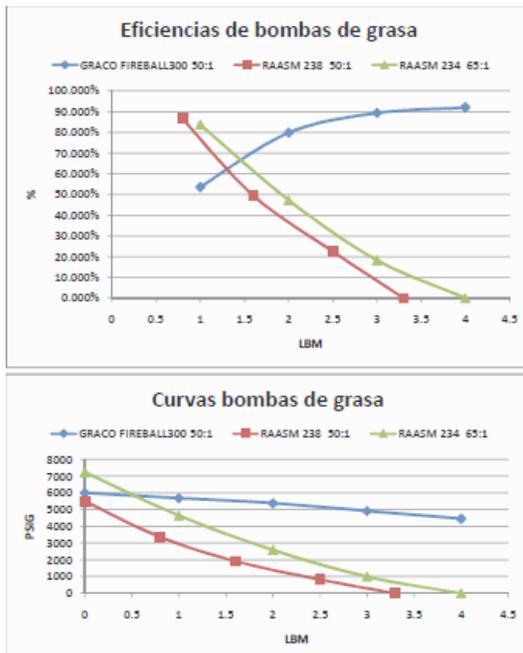


Figura 2. Ejemplo curva eficiencia bombas

Eficiencia en cada punto de la bomba (n)

$$n(Q_b) = Ph/Pe$$

Potencia eléctrica consumida de compresor (Pe)

$$Pe(Q_b) = (1/4) * Q_a \quad [hp]$$

Potencia hidráulica teórica (Ph)

$$Ph(Q_b) = Q_b * P_b * C \quad [hp]$$

Donde: Q_b = Caudal de aceite de la bomba en el punto de operación [GPM]. Q_a = Caudal de aire consumido por el caudal de aceite entregado [CFM@90 - 100 psig]. P_b = Presión de salida de aceite en el punto de operación [psig]. C = 1/1714.2 [hp/ GPM* psi].

Con estos dos parámetros se puede seleccionar una o dos bombas para cada caso de lubricante siendo las de mejor eficiencia y menor desgaste. Se requiere completar el diseño definiendo los elementos complementarios: carretes, pistolas de despacho, tubería y accesorios.

Carretes y pistolas se escogen de los catálogos, por el fluido a manejar, presión de operación y caudal. Las tuberías se definen por su diámetro y material a través de tablas de fabricantes de bombas, en función del fluido, distancia desde la bomba al carrete más lejano y presión máxima de operación. Con esto se realiza un layout previo de las acometidas y obtener los datos para generar la curva del sistema:

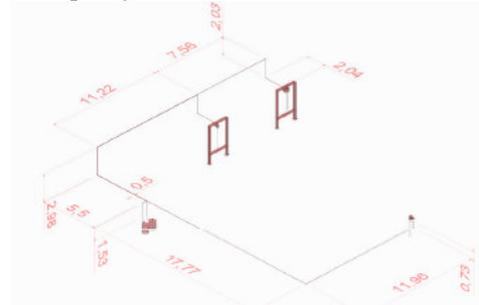


Figura 3. Layout previo de acometidas de lubricantes



Figura 4. Ejemplo de curva del sistema y selección de bomba de lubricante.

Aplicando las ecuaciones de mecánica de fluidos se realiza la curva del sistema $\Delta p = f(Q)$. Al encontrar los puntos de operación para las bombas seleccionadas, se escoge la bomba que permite un mayor caudal.

Con el caudal resultante, intersección de las curvas Q_b , se debe encontrar el factor de uso de la bomba F_b :

$$\begin{aligned} T_d &= V_{au} / Q_b && [\text{min} / \text{veh}] \\ T_{tb} &= T_d * F_v * N_b && [\text{min} / \text{día laboral}] \\ F_b &= T_{tb} / (8 \text{ h} / \text{día laboral} * 60 \text{ min} / \text{h}) && [\%] \end{aligned}$$

Donde:

T_d = Tiempo por despacho
 T_{tb} = Tiempo total de uso de bomba
 V_{au} = Volumen por cambio de aceite unitario.
 N_b = Número de bahías.
 F_b = Factor de uso de la bomba.

4. Cálculo y dimensionamiento del sistema neumático.

4.1. Cálculo del consumo promedio

Primero se enlistan los equipos a utilizar que necesiten alimentación neumática. Con esto se deberá definir los factores de uso (F_u) y el consumo neumático unitario para cada herramienta (C_u).

Para evaluar el factor de uso (F_u) para cada herramienta se aplicarán los siguientes cálculos:

$$\begin{aligned} F_u &= [T_u * F_v] / [N_j * 480 \text{ min} / \text{jornada laboral}] \\ F_u &= T_{ut} / [N_j * 480 \text{ min} / \text{jornada laboral}] \end{aligned}$$

Donde:

T_u = tiempo de uso de la herramienta por vehículo en minutos, de información tomada del usuario o por experiencia y observación de equipos similares.

N_j = número de jornadas durante el día

T_{ut} = Tiempo de uso total de la herramienta durante la jornada (en caso de conocerlo) en minutos.

Tabla 1. Tabla ejemplo cálculo consumo promedio

Herramienta	Cant.	C_u	F_u	C_t
1	N_1	C_{u1}	F_{u1}	$N_1 * C_{u1} * F_{u1}$
2	N_2	C_{u2}	F_{u2}	$N_2 * C_{u2} * F_{u2}$
:	:	:	:	:
N	N_n	C_{un}	F_{un}	$N_n * C_{un} * F_{un}$
Total consumo promedio (Ctp):				$\sum_{i=1}^n C_{ti}$

Los valores de C_u se encuentran en tablas, en función de una presión de operación, normalmente 90 psig. [6] [12] En caso de tener el valor en relación de otra presión, se deberá transformar los caudales a la

presión base (en este caso 90 psig) por la ley de gases ideales o por los valores estándar o normalizados de caudal [13]

4.2. Selección y cálculo del compresor de aire.

De los tipos de compresores existentes, en un taller automotriz normalmente solo se utilizan dos: De pistones o de tornillo. Los parámetros de selección son los siguientes:

4.2.1. Presión de operación. Un taller no supera los 175 psig. Las pistolas de pintura HVLP trabajan hasta 40 psig. El resto de herramientas en un rango de 90 a 100 psig. Algunos neumáticos se inflan a 120 psig máximo.

4.2.2. Caudal requerido – Potencia instalada. Basándose en C_{tp} , se puede encontrar una potencia eléctrica referencial de compresor (P_c) al transformar 1 HP por cada 4 cfm o 100 lpm @ 90 – 100 psig (regla de pulgar). Si el compresor a seleccionar es de pistones, se requiere aumentar a este resultado por lo menos un 30% de su valor para enfriamiento. Si será uno de tornillo se selecciona la potencia comercial superior más aproximada al resultado P_c .

4.2.3. Tipo de motor. Depende de la acometida eléctrica disponible: monofásica o trifásica. En ocasiones no se cuenta con electricidad por lo que se instala el equipo con un motor a combustión, cuya potencia debería ser aproximadamente el doble de lo calculado para un motor eléctrico equivalente (regla de pulgar).

4.2.4. Planificación de trabajo de equipos neumáticos. Dependiendo de su análisis se podrá proyectar el tipo de compresor y si uno solo o varios servirán para cubrir la demanda calculada en C_{tp}

El flujo de trabajo en un taller común es muy variable (hay días que están llenos y otros vacíos). En estos casos se deberá escoger compresores de pistón. Solo cuando se puede conocer cierto volumen fijo de trabajo por planificación de mantenimiento (flotas), proyecciones de crecimiento (concesionarios) o contratos de mantenimiento (algunos talleres privados y/o sociedades con aseguradoras), se podría perfilar el consumo neumático producido por este caudal base requerido para generarlo con un tornillo, y la diferencia con un equipo de pistón o un tornillo modulante.

En caso de tener que generar aire comprimido con pistones, y si la potencia calculada es relativamente alta para un taller común (mayor a 10 hp) o las acometidas del local no son trifásicas o no pueden soportar el arranque y consumo de un equipo único, se puede dividir la potencia en varios equipos de pistón y hacerlos funcionar en tándem.

4.2.5. Regulaciones ambientales. Algunos sitios están sujetos a regulaciones de ruido. En estos casos, a menos que se cuente con un compresor de pistones con aislamiento acústico y buena ventilación, la única opción es un compresor de tornillo.

4.2.6. Factor Económico. Factor prioritario. En este punto a menos que se tenga una regulación de ruido, siempre la mejor opción serán los equipos de pistones.

Con estos lineamientos se reduce la lista de compresores a solo unos pocos con características similares. Para seleccionar el más conveniente se realiza una comparación final con datos del fabricante como revoluciones de la unidad compresora (cabezote o tornillo según el caso) para el mismo caudal entregado, materiales y sobre todo costo. El equipo con menor cantidad de revoluciones por caudal unitario entregado, de material más durable y menor costo debería ser el seleccionado.

4.3. Selección de los elementos de filtración y acondicionamiento de aire comprimido:

Se requiere adecuar la provisión de aire a los requerimientos de las aplicaciones en el taller. La norma ISO 8573-1: 2001 [17] define la pureza del aire comprimido en función de cantidad de partículas sólidas (A), agua condensada (B) y aceite (C): ISO A, B, C.

Las calidades ISO 3, 4, 5 e ISO 1, 2, 3 son las más utilizadas en los talleres, siendo la primera para las herramientas en general y la segunda para pintura automotriz, generadores de nitrógeno y equipos especiales.

Se recomienda el uso de filtros con drenaje automático por flotador, a fin de evitar el descuido de los operarios que pudieran comprometer el desempeño del sistema y/o averiar los equipos. Se recomienda el uso de reguladores de presión (solos o en unidades de mantenimiento) en los puntos finales para reducir el consumo de energía del sistema. Estos elementos se seleccionan de las tablas de distintos fabricantes, conforme la presión de operación y el caudal proyectado en la línea y cada punto.

4.4. Selección y cálculo de las tuberías de aire comprimido:

Tomando en cuenta la ubicación de las diferentes herramientas que generan el consumo promedio anteriormente calculado se desarrolla un layout previo.

Con las distancias encontradas se obtienen diámetros sugeridos con la tabla de flujo máximo de

aire recomendado (SCFM) para tubería ANSI céd. 40 de peso estándar. [8]. Se puede verificar la selección de diámetros realizando los cálculos de caída de presión para cada tramo de la tubería tomando en cuenta también los accesorios (con nomogramas), obteniendo para cada caso la L_{te} : Longitud total equivalente.

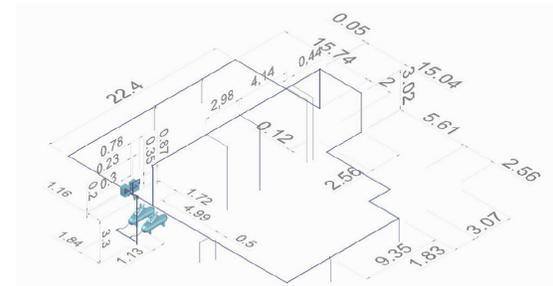


Figura 5. Layout previo de tuberías neumáticas.

Con tablas publicadas de caídas de presión por cada 100 ft en aire comprimido en diferentes diámetros de tuberías y caudales, [15] se obtienen valores empíricos que al ponderarlos por cada L_{te} correspondiente se obtiene el porcentaje de caída de presión, que en ningún caso deberá ser mayor al 10%.

Los materiales más utilizados en las acometidas de talleres son acero galvanizado y PVC. Por resistencia mecánica se tiende a seleccionar la tubería galvanizada para la presión de operación, a pesar de su corrosión con el tiempo.

5. Cálculo de costos.

En la mayor parte de los casos se debe presentar los proyectos a Gerencia o un staff financiero que busca el menor costo y algunas veces con la mejor calidad de equipos posible.

Tabla 2. Presupuesto de costos instalaciones

ITEM	CANT	COSTO U	C. T.
1	Q_1	C_1	$Q_1 * C_1$
2	Q_2	C_2	$Q_2 * C_2$
:	:	:	:
:	:	:	:
N	Q_n	C_n	$Q_n * C_n$
TOTAL PRESUPUESTADO			

Los ítems tratan respecto a cada elemento (tubería 1", codo 90° 1", mano de obra, etc.). Q_i representa la cantidad de cada uno (de los layouts y diseños). C_i es el costo de cada elemento cotizado con los proveedores. La suma al final indica el costo de cada instalación.

Normalmente los equipos (compresores, bombas neumáticas, unidades de mantenimiento, filtros,

carretes, pistolas cuenta-litros, etc.) representan entre el 50% al 80% del presupuesto. Se puede obtener un buen ahorro al seleccionar equipos económicos, mientras no reduzcan gravemente el desempeño del sistema. Se debe buscar un equilibrio costo – rendimiento, a fin de optimizar la instalación. Es cuando el diseño se vuelve otra vez iterativo hasta encontrar la mejor respuesta verificando opciones de equipos, accesorios y mano de obra.

6. Conclusiones

Tomando en cuenta lo expuesto concluimos que el cálculo de las instalaciones debe estar basado en un buen análisis de factibilidad y capacidad del taller, a fin de encontrar los volúmenes proyectados de vehículos a atender por bahía y servicio.

En el sistema de distribución de lubricantes, el elemento más importante es la bomba neumática y los cálculos más críticos son para el diámetro de las acometidas. Ambos puntos deben ser bien evaluados para desarrollar un sistema con buen desempeño.

En las instalaciones neumáticas, el elemento más crítico es el compresor, y le sigue en importancia los equipos para tratamiento de aire. Es imprescindible el correcto cálculo del consumo promedio del taller y la evaluación de las calidades ISO para cada aplicación en el mismo. El cálculo de las tuberías se simplifica bastante con las tablas desarrolladas para el diseño de las mismas, pero se debe aplicar correctamente el concepto del caudal estándar (SCFM)

Los conocimientos presentados toman relevancia para asegurarle al contratista, diseñador y al usuario final un buen trabajo. También servirán al ingeniero auditor para evaluar acometidas instaladas con problemas a fin de presentar soluciones efectivas. Todo esto redundará en buenas referencias para el ingeniero y obviamente mejores oportunidades en su futuro.

7. Agradecimientos

A la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción y a la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

8. Referencias

[1] De la Cadena A., Pazmiño M., Sánchez F., Merchán M., Estadísticas Estructurales de

- Empresas y Establecimientos Económicos, Talleres Gráficos del INEC. 2009.
- [2] Equipos de Lubricación. Guía del Comprador., Minneapolis, USA, Graco Inc. © 2009, 2010 Rev. B 6/10.
- [3] Lubrication Equipment Buyer's Guide., Minneapolis, USA, Graco Inc. ©2001-2006 Rev. F 2/06
- [4] Fox – McDonald, Introducción a la Mecánica de Fluidos, Mc. Graw Hill 4ª Edición. Año 1995
- [5] Air Guide Handbook, Ingersoll Rand
- [6] Catálogo de Herramientas Neumáticas, Schulz S.A. Joinville, Brasil. Año 2009.
- [7] Vargas A., Montaje de Maquinaria Industrial – Tomo 1, Series VZ. Guayaquil, Ecuador. Año 1982.
- [8] Información Técnica. Flujo de Aire Máximo Recomendado (SCFM) a través de Tubería ANSI Cédula 40 de Peso Estándar., Dixon Valve & Coupling Co., USA. Año 2011.
- [9] Anuario 2009., AEADE Quito, Ecuador.
- [10] <http://www.liquidynamics.com/newOil/oilPumpAcc2.html>, última actualización del 16 de Abril del 2011.
- [11] <http://www.raasm.com/indexspa.htm>, última actualización del 16 de Abril del 2011.
- [12] http://www.engineeringtoolbox.com/air-consumption-tools-d_847.html, última actualización del 20 de Mayo del 2011.
- [13] SCFM (Standard CFM) vs. ACFM (Actual CFM)., REP. Inc., disponible en: <http://www.pdblowers.com/t6-scfm-standard-cfm-vs-acfm-actual-cfm.php>, última actualización 1 de Julio del 2011.
- [14] Akton psychrometric charts. Akton Associated. Edmond, USA. Año 2011, disponibles en: <http://www.aktonassoc.com/>
- [15] Tablas de Caídas de presión por cada 100 pies de tubería recta., disponibles en: http://www.engineeringtoolbox.com/compressed-air-pressure-loss-d_1014.html
- [16] EMC-AirPrep-01A-ES, SMC Corporation. España. Disponible en: http://ceysi.com.mx/AirPreparationSystem_leaflet_es.pdf
- [17] GT Secadores - CE 04:007:012. ISO 7183 - Secadores de ar comprimido - especificações e testes., Metalplan, disponible en: http://www.metalplan.com.br/pdf/br2/iso_7183.pdf.
- [18] Kingston Model KSV12 & KSV25. Torrance, USA. Storm Manufacturing Group, Año 2010.