



Centro de Cálculo Paramétrico S.L.

Doc. N.º 21.1

Medición de caudales en instalaciones de vacío con medios existentes. La bomba real

Se arrastraba desde la entrada 20.0 una duda sobre la resistencia mecánica de los depósitos cuando estos alcanzan valores elevados de vacío. La duda provenida de la falta de documentación técnica de los mismos. Se da la solución a como medir, sin que el depósito corra riesgos, solución que deberíamos haber incluido en la entrada al Blog 20.1 pero contábamos con la posibilidad de recibir un apoyo más amplio. Esto de momento no es posible, por compromisos internacionales y ofrecemos una solución eficaz, pero no tan completa como esperábamos.

La bomba real se separa de la teórica y la ingeniería establece los puentes necesarios para continuar aplicando las mismas leyes con coeficientes correctores. En este caso utilizar el caudal nominal equivalente a diferentes niveles de vacío.

Los resultados proporcionados por Busch son mejores de los esperado por mí y nos alegramos por ello. Los errores son inferiores al 10%. Se confirma que juntando voluntades se consiguen mejores resultados, más allá de la suma aritmética de esfuerzos.

Marc Sellares BUSCH
jrenedo CCP
09/01/2023



N.º	Tema	CCP
21.1	Medición de caudales en instalaciones de vacío con medios existentes	msellares jrenedo

Contenido

Anexos a la entrada 21.0	2
Introducción y metodología a la entrada 21.1	4
1.0 La bomba real	5
1.1 Como se miden las características de las bombas	5
1.2 Pumping Speed diagram	5
1.3 Datos numéricos de la R 5 RA 0100 F (100 m³/h)	7
NOTAS PARA TODAS LAS ENTRADAS DEL BLOG	15
Copy right	15
Advertencia	15
Ampliaciones sucesivas a esta entrada	15
Agradecimientos	15
Invitación	15
Bibliografía	16
LINKS de interés	16



Anexos a la entrada 21.0

Planteamos un posible problema, con la manera de medir el caudal al aumentar el nivel de vacío, bastante por encima de la franja de vacío más habitual.

Lo que podía implicar, riesgos de colapsamiento de depósitos de vacío, por no estar suficientemente documentados, desde un punto de vista técnico.

Solicitamos ayuda a un experto, pero nos acaban de confirmar la dificultad de conseguir una reunión en un plazo breve/medio. Por sus múltiples compromisos internacionales.

En el ínterin, hemos encontrado una solución fácil para no someter al depósito a vacíos elevados, que pudieran hacer peligrar su integridad mecánica, pero no la medición. A pesar de la gran diversidad de depósitos de diferentes orígenes. Dentro del amplio margen de soluciones y esquemas base del alcance geográfico del portal de Hospitecnia.

Solo se necesita desconectar el depósito del circuito de vacío. Y dejarlo a presión atmosférica. Esto puede precisar de pequeñas modificaciones en el esquema base (añadir alguna que otra válvula según sea su esquema particular). La mayoría de redes de tuberías aguantan bien vacíos elevados.

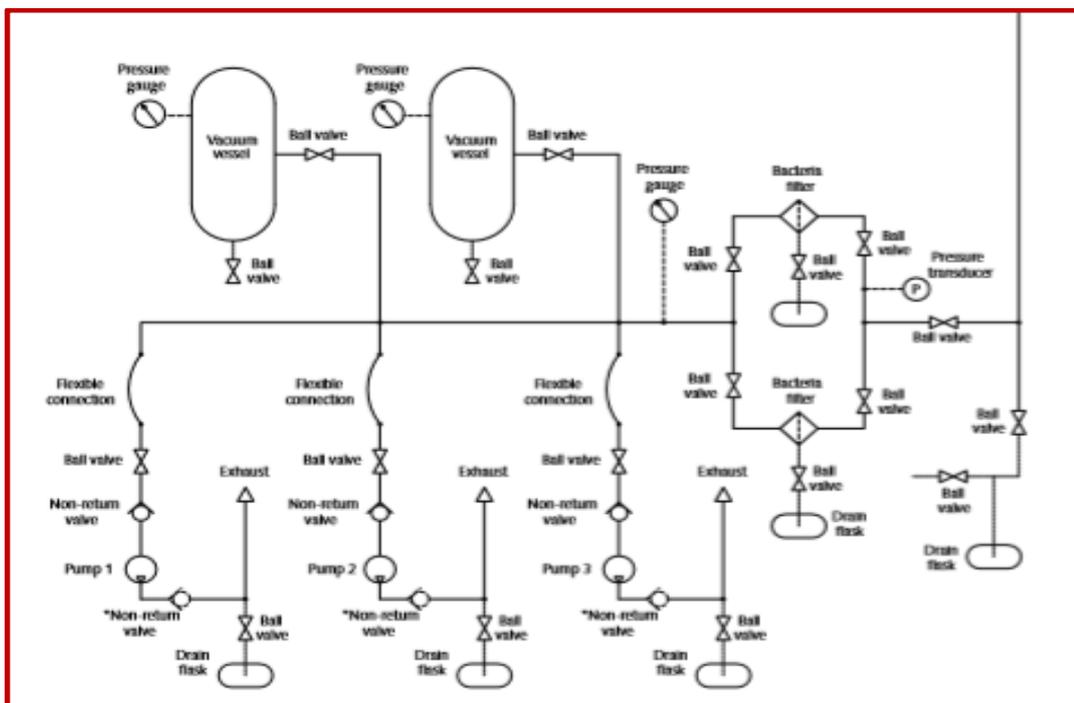


Fig. 1-Eschema base de la central de vacío de la norma HTM 02-01 Parte A (pág. 86, Figura 29)

Para no medir las posibles fugas de válvulas, que unen el depósito con la instalación, sería conveniente la utilización de elementos de desconexión manuales iguales a los mismos que se usan en los armarios de cierre y control.

Ver el esquema de la norma HTM 02-01 Parte A (Fig. 1). Donde ambos calderines tienen válvulas de aislamiento independientes y por tanto se pueden aislar ambos.

En nro caso es importante medir a boca de bomba y el esquema de la norma inglesa, no nos sirve completamente. Debería medirse con un equipo independiente. El sensor mide antes de filtros y los vacuómetros no medirían a boca de bomba, ya que están conectados a los calderines aislados. Sería necesario un vacuometro independiente. Cada caso contrario debe analizarse y llegado el caso realizar pequeñas modificaciones.

Lo importante es no olvidar al finalizar, recorrer el camino inverso, y dejar la instalación de nuevo operativa en modo automático.

También es necesario matizar el tema de las temperaturas. Su incidencia es poco significativa. Aparentemente es mucho pasar de +23°C a solo + 10°C en invierno, por tener la central en zona no climatizada. Pero es poco, si tenemos en cuenta que hablamos de temperaturas absolutas.

Cero grados centígrados está a 273° kelvin, por encima del cero absoluto. Pasar desde 296 °Kelvin (+23 °C) a 283 °k (+10°C), no influye excesivamente.



Introducción y metodología a la entrada 21.1

En la primera parte (entradas 20.0), se ha comentado el cómo utilizar dos herramientas existentes en las centrales de vacío, para determinar el caudal circulante.

Un vacuómetro analógico o digital para calcular el caudal que circula por la bomba unidad o equivalente si la capacidad de bombeo unitaria se consigue con más de una bomba.

Mas el conocimiento del caudal nominal de la bomba unidad (si solo hay 3)

En esta segunda parte se trabajará con los datos y conocimientos aportados por el Sr Marc Sellares y la firma Busch. Busch trabaja con más de 50 aplicaciones industriales, para otros tantos mercados. Y es el fabricante N°1 en el mundo de las bombas más utilizadas en el sector hospitalario (en España). Las rotativas de paletas lubricadas.

En otros países el tipo de bombas mas utilizado es el de uña en seco, por sus muy bajos requerimientos de mantenimiento.

El redactado y maquetación corre a cargo de CCP, para mantener la misma línea, los mismos formatos y coordinación con las entradas de los blogs preexistentes. La supervisión será conjunta.



1.0 La bomba real

Si no se especifica lo contrario, nos referiremos a datos de una bomba de paletas lubricada, de caudal nominal de 100 m³/h, serie R5 de la firma Busch. Las demás de la misma serie podrían seguir procesos similares.

Se aprovecha, para explicar detalles del entorno de la bomba. Que son sencillos, pero no son fácilmente accesibles para el común del personal. Siempre dentro del sector hospitalario.

1.1 Como se miden las características de las bombas

Existen diferentes normas. Entre ellas:

- **EN ISO 21360-2 2020**
Vacuum technology – Standards methods for measuring vacuum-pump performance
- **ISO/R 1000, DIN 28400**
Vacuum technology; terms and definitions, general terms
- **Pneurop**

La bomba Busch R5 100F se rige por la norma EN ISO 21360-2 2020

Los diferentes métodos varían un poco en cuanto a condiciones ambientales y montaje necesario para realizar la medición.

1.2 Pumping Speed diagram

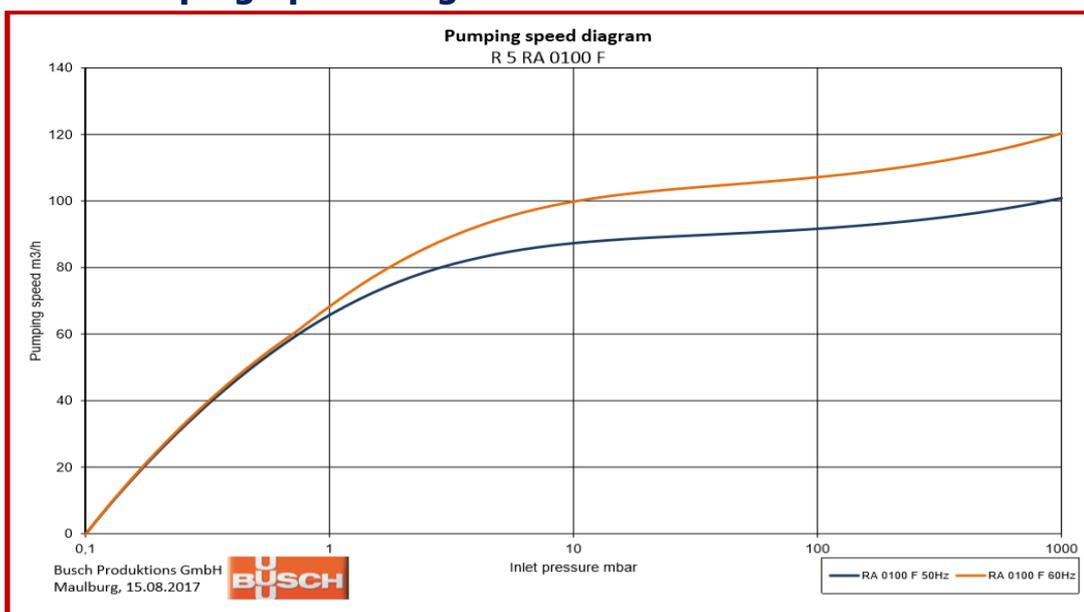


Fig. 2- Pumping speed

En primer lugar, se pueden observar 2 graficas distintas, para una misma bomba. La grafica con la línea roja se corresponde al funcionamiento en una red eléctrica



de 60Hz, a más RPM, más caudal. Red a 60 Hz (Usa.....) o generación local mediante variador de frecuencia.

La grafica con la línea negra, es el funcionamiento en una red eléctrica de 50 Hz.

Estas dos gráficas, nos muestran cómo podemos movernos en un amplio rango de caudales, usando la misma bomba con un variador de frecuencia.

Trabajando en una red de 50Hz, podemos conseguir el equivalente a 60 Hz. En la misma red podemos simular una red de menor frecuencia, comportándose la bomba como de caudal inferior.

La variación de frecuencia está sujeta a algunas limitaciones, la bomba no puede variarse entre cero y el 100%. Se considera, que la variación de frecuencia limite correcta es de +/- 20%. A partir de estos límites, podrían mermarse algunas de las características de las bombas.

Aparentemente la gráfica parece muy distinta a la mostrada en la entrada del blog previa. Pero debe tenerse en cuenta que en el grafico anterior el grafico era lineal y en el actual el eje X es logarítmico.

Para observar una gráfica con ejes lineales véase la figura 2, de una bomba tipo uña

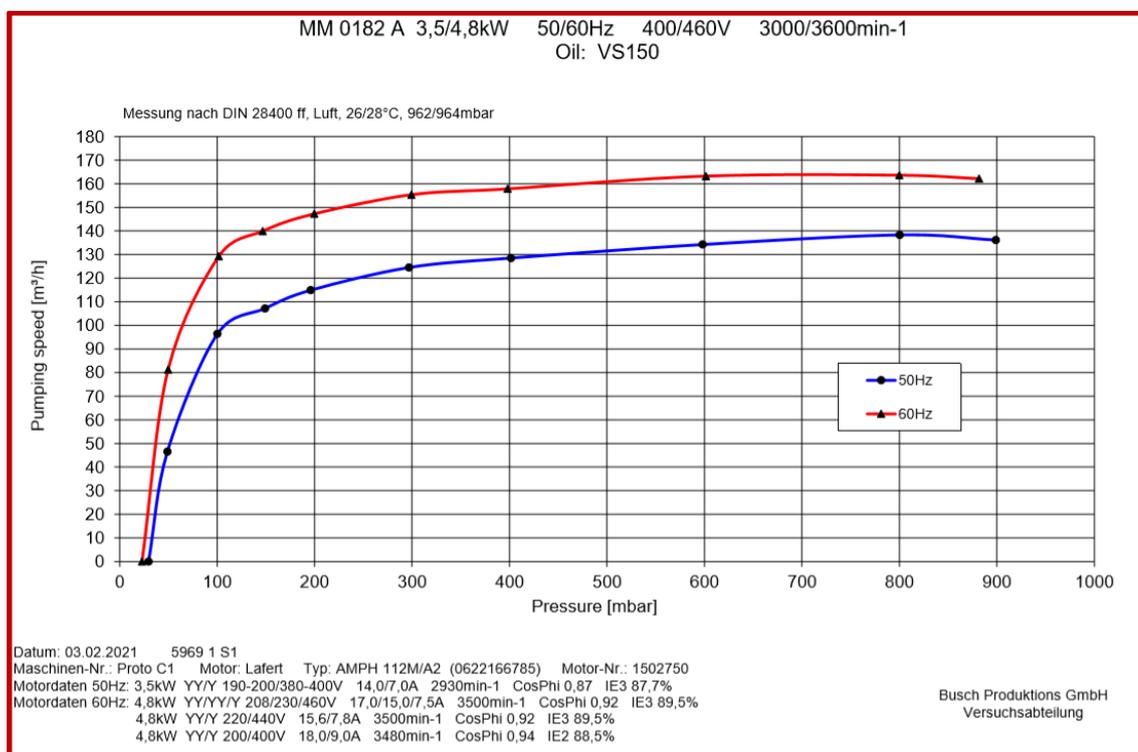


Fig. 3- Pumping speed bomba tipo uña (serie Mink) de Busch, grafico lineal



1.3 Datos numéricos de la R 5 RA 0100 F (100 m³/h)

Las 3 primeras columnas, provenientes de Busch de forma directa. La 1 y la 2 desde puntos de la curva de la figura 1. La 3 se calcula, en base al caudal nominal geométrico corregido de la bomba (columna 2), partiendo de una presión atmosférica local de 760 mm Hg

Col	Concepto	Comentarios resumidos
1	Presión (mm Hg) Pres.absol P2	<ul style="list-style-type: none"> Datos suministrado por Busch, a partir de la curva de fig. 1 Presión absoluta a la aspiración de la bomba De interés por cuanto se utiliza después para cálculos
2	Caudal real (m ³ /h) QGeomCorregBomba Q2	<ul style="list-style-type: none"> Nosotros lo denominamos como caudal nominal geométrico equivalente, para los diferentes valores de presión absoluta. Valor a mantener en todas las bombas de la serie con diferencias por debajo del 10% sobre la curva suministrado de cada bomba.
3	Caudal m ³ /ambient Qaudal extraído Q1	<ul style="list-style-type: none"> Los valores se corresponden con aplicar la formula en base a las columnas 1 y 2 con una presión atmosférica local de 760 mm Hg
4	m ³ /h ambient. caudal extraíd.teóric Q1	<ul style="list-style-type: none"> Caudal extraído tomando el caudal nominal de la bomba comercial, en este caso 100 m³/h para todos los valores de la presión absoluta
5	Vacío mm Hg	<ul style="list-style-type: none"> Es la medición complementaria a la presión absoluta, presión referenciada a la presión si esta es de 760 mm Hg
Franja verde		<ul style="list-style-type: none"> Desde la presión atmosférica absoluta hasta la presión de 260,75 mm Hg La presión absoluta de 260 mm Hg es un valor de referencia para la norma HTM 22. Como valor de arranque de las bombas Por encima de 260 mm Hg de presión absoluta, no deberían arrancar las bombas s/HTM 22
Franja amarilla		<ul style="list-style-type: none"> Es la zona que va desde un vacío de 500 mm Hg (260 mm Hg de presión absoluta) hasta un vacío de 680 mm Hg Es la zona de trabajo de las bombas con una histéresis <= 180 mm Hg s/HTM 22 180 mm Hg es un valor alto y suele trabajarse por debajo La parte de vacío más elevada de esta franja se necesitará para evaluar los caudales de consumo
Franja azul		<ul style="list-style-type: none"> Es la zona que va desde vacíos de 680 mm Hg hasta vacíos de 758 mm Hg Mas allá de 758 mm Hg no tiene sentido trabajar, a menos que se nos ocurra alguna nueva aplicación

Fig. 4-Valores de la figura 5



BUSCH				
1	2	3	4	5
Pres. Absol. P2	QGeomCorregBombaQ2	Caudal extraido Q1	Caudal extraido teorico Q1	Vacío
Presión (mmHg)	Caudal Real (m3/h)	m3/h ambiente	m3/h ambiente	mm Hg
763,00	93,80	94,17	100,39	-3,00
667,16	92,99	81,63	87,78	92,84
583,37	92,23	70,80	76,76	176,63
510,10	91,52	61,43	67,12	249,90
446,03	90,86	53,32	58,69	313,97
390,01	90,24	46,31	51,32	369,99
341,03	89,66	40,23	44,87	418,97
298,20	89,11	34,97	39,24	461,80
260,75	88,61	30,40	34,31	499,25
228,01	88,13	26,44	30,00	531,99
199,37	87,69	23,00	26,23	560,63
174,34	87,27	20,02	22,94	585,66
152,45	86,88	17,43	20,06	607,55
133,30	86,52	15,18	17,54	626,70
116,57	86,18	13,22	15,34	643,43
101,93	85,86	11,52	13,41	658,07
89,14	85,57	10,04	11,73	670,86
77,95	85,29	8,75	10,26	682,05
68,16	85,03	7,63	8,97	691,84
59,61	84,78	6,65	7,84	700,39
52,13	84,55	5,80	6,86	707,87
45,59	84,33	5,06	6,00	714,41
39,87	84,12	4,41	5,25	720,13
34,87	83,92	3,85	4,59	725,13
30,49	83,73	3,36	4,01	729,51
26,67	83,54	2,93	3,51	733,33
23,33	83,35	2,56	3,07	736,67
20,40	83,16	2,23	2,68	739,60
17,85	82,96	1,95	2,35	742,15
15,61	82,75	1,70	2,05	744,39
13,66	82,52	1,48	1,80	746,34
11,95	82,28	1,29	1,57	748,05
10,46	82,01	1,13	1,38	749,54
9,15	81,70	0,98	1,20	750,85
8,01	81,36	0,86	1,05	751,99
7,01	80,97	0,75	0,92	752,99
6,14	80,52	0,65	0,81	753,86
5,37	80,02	0,57	0,71	754,63
4,70	79,45	0,49	0,62	755,30
4,12	78,80	0,43	0,54	755,88
3,61	78,07	0,37	0,47	756,39
3,16	77,25	0,32	0,42	756,84
2,77	76,37	0,28	0,36	757,23
2,43	75,40	0,24	0,32	757,57
2,13	74,32	0,21	0,28	757,87
1,87	73,13	0,18	0,25	758,13
1,64	71,83	0,16	0,22	758,36
1,44	70,41	0,13	0,19	758,56
1,27	68,87	0,12	0,17	758,73

Fig. 5-Tabla de valores de la R5 100F



Las columnas 1 (presión absoluta) y 5 (Vacío, presión relativa)

La 1 (presión absoluta) es original de Busch.

La 5 deriva de aplicar la formula

Columna 5 (vacío) = **760 de presión atmosférica local considerada fija** –
valor columna 1 (presión absoluta)

Lo que implica un posible error por variación de la presión ambiente considerada como fija

Podemos considerar, que el error así planteado debe matizarse y hasta cierto punto compensarse

Una parte del error es aproximadamente fijo. Por ejemplo, en España la presión absoluta en la meseta es inferior a la que pueda tenerse en la costa. Este error podría de compensarse parcialmente tomando el valor medio local. Véase la bibliografía citada al final "*Análisis físico-matemático de la influencia de las condiciones ambientales locales en las prestaciones del vacío médico*", o en su defecto los datos del clima que están accesibles por internet. Por meses y años. Los datos allí reflejados se han extraído, de una guía resumida del clima de España. Hay unas 50 estaciones meteorológicas censadas, de antes de que los datos estuvieran disponibles en internet

De todas formas, el nivel de exactitud que se encuentra opinamos que es suficiente a los objetivos buscados.

Lo analizamos más, explicitamos para quien quiera afinar mas

Columna 2 (caudal real m³/h)

Dato original de Busch

A cada presión absoluta le corresponde un cierto caudal, que Busch denomina "Caudal real", medido en m³/h. Valor que mide en los controles de calidad de fabricación. Los valores admisibles como divergentes admiten muy poca variación porcentual.

Es un acierto de Busch establecer este nexo entre la teoría y la realidad. Porque permite ir corrigiendo el comportamiento según múltiples puntos de la curva. En la tabla original de Busch hay más de 150 valores de presión y por tanto de caudal real. Nosotros hemos reflejado bastantes menos, por considerar que valores de presión absoluta menores de 2 mm Hg, no nos afectan. A excepción de si surgen nuevas aplicaciones en las que, no hemos pensado todavía. Lo actual lo habíamos



empleado de una forma más rudimentaria, pero que durante el confinamiento hemos mejorado y estructurado.

En la aplicación hospitalaria, se trabaja en una franja mucho más reducida de presiones. De hecho, una histéresis de 180 mm Hg (vacío de paro de aproximadamente 680 mm Hg) la consideramos como muy grande y antes de llegar a ella, preferiríamos ampliar la capacidad de almacenamiento; si ello es físicamente posible en la sala de máquinas.

Tenemos al respecto un problema a varias bandas.

Los diseñadores suelen escoger exclusivamente un pack del fabricante de bombas, con lo cual el espacio necesario es mínimo, Si además ha escogido bombas mayores de lo necesario bien sea por si acaso, bien por calculo, pero la instalación no puede suministrar todavía el caudal de la bomba unidad. No, hasta que la instalación no disponga de las secciones de tubería necesarias. A ver como se soluciona el problema de añadir un calderin adicional. En una sala de máquinas, en que todo suele necesitar un calzador para ubicarse.

El encaje de bolillos de los ajustes, del que hemos hablado varias veces, lamentablemente no ha calado en los planteamientos a medio/largo plazo. Por la sencilla razón de que esta cultura no está todavía presente en el día a día. Tampoco es fácil en un sistema con múltiples ingenierías, normas e instaladores.

Pero es fácil corregir este tipo de errores planteando una central ligeramente distinta. Pero de este tema hablaremos en otro momento, porque es un tema largo.

También se tiene una visión sesgada de cómo hay que enfocarlo. Analizar un problema no es fácil, puede requerir un cierto tiempo, se pide en ocasiones un presupuesto y si no se acepta, la carga inicial de los costes corre a cuenta del instalador. Es correcto que un industrial corra con los gastos de un presupuesto, pero no de un proyecto (= solución).

Como ejemplo un hospital con muy escaso personal técnico. Se pidió un compresor para alimentar una maquina concreta. La máquina necesitaba 7 bar de aire limpio y seco. Se compro un compresor de 7 bar y después se quejaban de que no daba 7 bar. No se había tenido en cuenta el máximo número de arranques; (selección simultánea del calderin y de la histéresis entre arranque y paro), el diferencial necesario para el reductor, las perdidas en los filtros y en el secador, las perdidas en la tubería hasta la maquina..... etc.

Columna 3 Caudal extraído Q1, m3/h ambiente

Es el caudal extraído según las columnas 1 y 2. Es directo desde la curva de la bomba Busch de 100.



Revisemos las bases de cálculo. Formula clásica

$$P_a \times V_a/T_a = P_R \times V_R/T_R \quad [1]$$

Los subíndices "a" se refieren a las condiciones ambiente

Los subíndices "R" se refieren a las condiciones rarificadas

Como nos interesa conocer el caudal extraído en las mismas condiciones ambiente de entrada vamos a realizar las siguientes adaptaciones

Haciendo

$$T_a = T_R \text{ (isoterma)} \quad [2]$$

Obviamente que la temperatura de salida es mayor que la ambiente, pero el valor que nos interesa es el caudal en condiciones ambiente equivalente.

La ecuación [1] queda como

$$P_a \times V_a = P_R \times V_R \quad [3]$$

Dividiendo los volúmenes por tiempo, pasaremos de m³ a m³/h

$$P_a \times Q_a = P_R \times Q_R \quad [4]$$

En la hoja de cálculo de la figura 5, la fórmula 4 se convierte en:

$$760 \text{ mm Hg} \times \text{Caudal extraído } Q_1 \text{ (columna 3)} = \text{Pres.Absol } P_2 \times \text{QGeomCorreg Bomba } Q_2 \text{(columna 2)} \quad [5]$$

$$\text{Caudal extraído } Q_1 \text{ (col. 3)} = \text{Pres.Absol } P_2 \times \text{QGeomCorreg Bomba } Q_2 \text{(col. 2)} / 760 \text{ mm Hg} \quad [6]$$

Aquí tenemos una fuente adicional de error al dividir por 760 mm Hg, es posible atenuar el error de considerar la presión fija, tomando datos del servicio meteorológico.

Columna 4 Caudal extraído teórico, Q1 m³/h ambiente

Se aplica la misma fórmula [6], pero sin usar el valor de la columna 2 (QGeomCorreg Bomba Q2). En su lugar usamos el caudal geométrico sin corregir, concretamente el nominal de 100 m³/h, en todas las filas de la hoja de cálculo.

Obviamente la columna 4 está más alejada de la realidad que la columna 3



Comparación entre columnas 3 y 4

La columna 4 la ponemos solo para ver el nivel de error que tenía previamente, cuando desconocía la columna 2 (suministrada por Busch) aplicando la fórmula clásica directamente. Era simple curiosidad.

Si Busch acota el error de la columna 2 a un máximo del 10% y la columna 3 trabaja con este posible error. La columna 4 manifiesta un error sobre la columna 3, los errores se acumulan.

Aun y así, como aproximación grosera la columna 4 tiene aplicación.

No siempre se dispone de curvas donde se pueda leer los datos con precisión. Además, si las curvas aparecen en un catálogo, no suelen tener ni una fácil accesibilidad por lo reducido del dibujo, ni una fácil conversión a datos numéricos.



6-Perfil de la colaboración recibida

Empresa Busch Ibérica

Concepto	Datos
Nombre	BUSCH
Nº de empleados	3800 a nivel mundial
Nº de fabricas	<ul style="list-style-type: none">• Alemania• Suiza• Republica Checa• Corea• USA• UK
Países donde opera	<ul style="list-style-type: none">• 45 con filial propia• Resto con distribuidores
Algunos de los sectores tecnológicos donde opera	<ul style="list-style-type: none">• Vaccum packaging• Food procesing• Medical air and vacuum• Water and wastewater• Cerámica• Chemical• Print• Vood• Oil and gas• Farma and biotech• Mining• Metalurgia• Battery• Eletronics• Leak detection system• Semiconductors• Analytics• Flat panel display• Etc etc
Posición en el Ranking mundial en el sector de bombas de paletas lubricadas	Nº 1



Perfil del colaborador

Concepto	Datos
Nombre	<ul style="list-style-type: none">• Marc Sellares
Edad	<ul style="list-style-type: none">• 40 años
Formación	<ul style="list-style-type: none">• Ingeniero Superior Químico• Universidad Autónoma de Barcelona
Experiencia	<ul style="list-style-type: none">• Total, de 17 años en el mundo del Vacío en Busch Vacuum Solutions• 2005-2008 como Ingeniero de Oficina Técnica (diseño de instalaciones, planificación de proyectos, documentación técnica y puestas en marcha)• 2008-2019 Técnico comercial• 2019 – actualidad Market Coordinator&Business Developer Coordinación del mercado a nivel nacional



NOTAS PARA TODAS LAS ENTRADAS DEL BLOG

Copy right

Todos los derechos reservados. Queda prohibida la reproducción o transmisión total o parcial de esta publicación, ya sea por medios mecánicos o electrónicos. Incluyendo grabaciones, fotocopias videos o cualquier otro medio de almacenamiento y recuperación de información sin permiso escrito previo del autor/es

Advertencia

El contenido de este blog compartido con Uds., no tiene el suficiente detalle para una aplicación constructiva directa. No es un kit. La información aquí expuesta, puede parecer más sencilla de lo que realmente es. La reproducción de uno varios de los conceptos, procedimientos y esquemas desarrollados debe ser supervisada por profesionales competentes. En aras a la claridad conceptual, en ocasiones no se incluyen todos los elementos constructivos y detalles.

El contenido expuesto, tiene finalidades educativas y didácticas. No nos hacemos responsables de lo que se haga con la información aquí expuesta. Gracias

Ampliaciones sucesivas a esta entrada

El tema no está agotado. Esta entrada ya es una continuación de la 21.0. Podrán continuar en otras líneas de trabajo, si ello es posible técnica y económicamente.

Agradecimientos

Agradecemos a todos las personas que han colaborado.

Invitación

Las empresas interesadas en dar a conocer sus productos, pueden enviarnos sus documentaciones técnicas lo más completas posibles (manuales de montaje, instrucciones de funcionamiento, mantenimiento, planos.... etc.). Además, en PDF y a ser posible con fotos ilustrativas. Pero lejos de los simples folletos comerciales.

Quisiéramos que, en cada tema, se dispusiera de 2 o 3 marcas representativas. Hoy por hoy, es difícil. También si se considera de interés agradeceríamos poder disponer de una ampliación de contenidos a demanda.

El objetivo final es dar a conocer productos y características de los mismos, y para ello nadie mejor que el propio fabricante y un técnico independiente del sector, que puede tener opiniones diferentes a las del fabricante. Consideramos que dar a conocer productos no es publicidad, con medida es información técnica.

El uso de la documentación recibida es optativo. Y no es remunerado. Es necesario responder a las ampliaciones de información técnica que se les demanden.

En caso necesario se podrán solicitar muestras. Aunque no somos un laboratorio de ensayos.



Bibliografía

- **Análisis físico-matemático de la influencia de las condiciones ambientales locales en las prestaciones del vacío medico**

I Renedo Rouco, J Renedo Puig - Todo Hosp, 2002 - pesquisa.bvsalud.org (se puede bajar desde el Google académico)

Entrada al blog N° 20 de 9/6/2021

- **Conducción amigable de instalaciones. Entradas de emergencia. Válvulas. Circuitos tipo. Mejoras en el tendido. Protecciones VIR y ARL en redes de vacío** JRenedo

Específicamente los epígrafes:

Desde el 1.1.1. hasta 1.1.4

Desde el 1.2. hasta al 1.2.2.

LINKS de interés