
UNIVERSIDADE DA CORUÑA

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE NÁUTICA Y MÁQUINAS**

GRADO EN TECNOLOGÍAS MARINAS

ENERGÍA Y PROPULSIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

TFG/GTM/E-10-16

QUE LLEVA POR TÍTULO

**“ PROYECTO DE BANCO DE PRUEBAS
PARA BOMBAS CENTRÍFUGAS ”**

DEFENDIDO ANTE TRIBUNAL EN LA SESIÓN DE

SEPTIEMBRE-2016

ALEXANDRE CORREA HAZ

DIRECTOR: Álvaro Baaliña Insua

ÍNDICE GENERAL

1	MEMORIA	10
2	ANEXOS	76
3	PLANOS	116
4	PLIEGO DE CONDICIONES	130
5	PRESUPUESTO	156
6	DOCUMENTACIÓN TÉCNICA	164

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

1. MEMORIA

- Ilustración 1.7.1. - Velocidad absoluta a lo largo de una bomba [4]
- Ilustración 1.7.2.1.1. - Trayecto del flujo en una bomba de voluta [4]
- Ilustración 1.7.2.1.2. - Tipos de volutas [4]
- Ilustración 1.7.2.1.3. - Bomba centrífuga de difusor [4]
- Ilustración 1.7.2.2.1. - Rotor cerrado de doble aspiración [4]
- Ilustración 1.7.2.2.2. - Tipos de rotores [21]
- Ilustración 1.8.1.1.1. - Carga estática del sistema [4]
- Ilustración 1.8.1.4.1. - Curva de carga del sistema [34]
- Ilustración 1.8.1.5.3.1. - Obtención del $NPSH_{3\%}$ [3]
- Ilustración 1.8.2.1. - Curva característica [4]
- Ilustración 1.8.2.1.1.1. - Curva H-Q ascendente [4]
- Ilustración 1.8.2.1.2.1. - Curva H-Q caída [4]
- Ilustración 1.8.2.1.3.1. - Curva H-Q empinada [4]
- Ilustración 1.8.2.1.4.1. - Curva H-Q plana [4]
- Ilustración 1.8.3.3.1 - Separación de flujo [11]
- Ilustración 1.9.2.1. - Parámetros entrada/salida (1) [11]
- Ilustración 1.9.2.2. - Parámetros entrada/salida (2) [11]
- Ilustración 1.9.2.3. - Triángulos de velocidad entrada/salida [11]
- Ilustración 1.9.3.1. - Velocidades de salida del rotor [11]

- Ilustración 1.9.3.2. - Triángulos de velocidades [11]
- Ilustración 1.9.4.1.1. - Separación del flujo [11]
- Ilustración 1.9.4.1.2. - Incidencia del flujo con el álabe [11]
- Ilustración 1.9.4.1.3. - Gráfica pérdidas incidencia (1) [24]
- Ilustración 1.9.4.1.4. - Gráfica pérdidas incidencia (2) [20]
- Ilustración 1.9.4.2.1. - Gráfica pérdidas rozamiento de superficie (1) [24]
- Ilustración 1.9.4.2.2. - Gráfica pérdidas rozamiento de superficie (2) [20]
- Ilustración 1.9.4.4.1. - Gráfica pérdidas voluta (1) [24]
- Ilustración 1.9.4.4.2. - Gráfica pérdidas voluta (2) [20]
- Ilustración 1.9.4.6.1. - Gráfica pérdidas fricción del disco (1) [24]
- Ilustración 1.9.4.6.2. - Gráfica pérdidas fricción del disco (2) [20]
- Ilustración 1.9.4.7.1. - Gráfica pérdidas recirculación (1) [24]
- Ilustración 1.9.4.7.2. - Gráfica pérdidas recirculación (2) [20]
- Ilustración 1.10.4.1.5.1. - Vista isométrica montaje bomba [47]
- Ilustración 1.10.5.1. - Tolerancia bilateral [47]
- Ilustración 1.10.5.2. - Tolerancia grado 2B [47]
- Ilustración 1.12.1.1. - Vista perspectiva Banco

2. ANEXOS

- Ilustración 2.2.1.4.3.1.1.1. - Curvas características bomba prueba
- Ilustración 2.2.1.4.3.1.2.1. - Gráfica pérdidas entrada al rotor
- Ilustración 2.2.1.4.3.1.3.1. - Gráfica pérdidas entrada a la voluta

- Ilustración 2.2.1.4.3.1.4.1. - Gráfica pérdidas rozamiento
- Ilustración 2.2.1.4.3.1.5.1. - Gráfica pérdidas difusión
- Ilustración 2.2.1.4.3.1.6.1. - Gráfica pérdidas difusor
- Ilustración 2.2.1.4.3.1.7.1. - Gráfica pérdidas rozamiento disco
- Ilustración 2.2.1.4.3.1.8.1. - Gráfica pérdidas por recirculación
- Ilustración 2.2.1.4.3.2.1. - Resultados última iteración
- Ilustración 2.2.2.1.2.1. - Dimensiones bomba
- Ilustración 2.2.2.2.4.1. - Vista frontal tanque y bridas
- Ilustración 2.2.3.2.2.1.1. - Curvas características ejemplo
- Ilustración 2.2.3.2.2.2.1. - Gráfica NPSH ejemplo
- Ilustración 2.3.1.1. - Reporte Curvas características [46]
- Ilustración 2.3.1.2. - Reporte NPSH [46]

4. PLIEGO DE CONDICIONES

- Ilustración 4.1.1.1.2.1. - Interfaz programa
- Ilustración 4.2.2.2.1. - Sección medición descarga [46]
- Ilustración 4.2.2.3.1. - Tomas de presión [46]
- Ilustración 4.3.1.2.1. - Calentador ED 003C
- Ilustración 4.3.2.1.1. - Manómetro WIKA 111.10
- Ilustración 4.3.2.1.2. - Mnómetro WIKA 213.53 (1)
- Ilustración 4.3.2.2.1. - Manómetro WIKA 213.53 (2)
- Ilustración 4.3.2.3.1. - Termómetro WIKA A52

Ilustración 4.3.2.4.1. - Caudalímetro Proline Promag 10D

Ilustración 4.3.2.5.1. - Vatímetro TYP-360

Ilustración 4.3.2.6.1. - Tacómetro PCE-DT 63

Ilustración 4.3.3.1.1. - Válvula de globo BOA-H

Ilustración 4.3.3.2.1. - Válvula de bola hierro/INOX

ÍNDICE DE TABLAS

1. MEMORIA

Tabla 1.10.4.1.5.1. - Rugosidades [46]

Tabla 1.10.4.2.1.1. - Valores “t” cálculo incertidumbre [46]

2. ANEXOS

Tabla 2.2.2.1.1.1. - Dimensionamiento tanque

Tabla 2.2.2.1.2.1. - Bridas y dimensiones bombas

Tabla 2.2.2.1.2.2. - Velocidades máx./mín. línea

Tabla 2.2.3.2.3.1. - Cálculos (1)

Tabla 2.2.3.2.3.2. - Cálculos (2)

Tabla 2.2.3.2.3.3. - Cálculos (3)

Tabla 2.2.3.2.3.4. - Cálculos (4)

Tabla 2.2.3.2.3.5. - Cálculos (5)

Tabla 3.1.1. - Reporte Curvas Características

Tabla 3.1.2. - Reporte NPSH

4. ANEXOS

Tabla 4.2.3.1.2.1. - Fluctuaciones permisibles [46]

Tabla 4.2.3.1.3.1. - Incertidumbre de los instrumentos [46]

Tabla 4.2.3.1.4.1. - Incertidumbre del conjunto [46]

Tabla 4.2.3.1.5.1. - Eficiencia del conjunto [46]

Tabla 4.2.3.2.1. - Tolerancias [46]

“PROYECTO DE BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS CENTRÍFUGAS”

MEMORIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS

FECHA: SEPTIEMBRE 2016

AUTOR: El alumno

Fdo.: Alexandre Correa Haz

1	INTRODUCCIÓN	15
1.1.	Gefico Enterprise	15
2	OBJETO	16
3	ALCANCE	17
4	ANTECEDENTES	17
5	NORMAS Y REFERENCIAS	17
5.1.	Disposiciones legales y normas aplicadas	17
5.2.	Programas de cálculo	18
5.3.	Plan de gestión de la calidad	18
5.4.	Bibliografía	18
5.4.1.	Libros	
5.4.2.	Artículos	
5.4.3.	Bancos de Bombas	
5.4.4.	Enlaces web	
5.5.	Otras referencias	23
6	DEFINICIONES Y ABREVIATURAS	23
6.1.	Definiciones	23
6.2.	Abreviaturas	24
7	DESCRIPCIÓN DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA	25
7.1.	Principios de funcionamiento	25
7.2.	Elementos	27
7.2.1.	Carcasa	
7.2.2.	Rotor	
8	CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS	31
8.1.	Carga o “Head”	31
8.1.1.	Carga Estática	
8.1.2.	Carga de Fricción	
8.1.3.	Carga de Velocidad	
8.1.4.	Curva de Carga del Sistema	
8.1.5.	NPSH	
8.1.5.1.	Definición	

8.1.5.2.	NPSH _A	
8.1.5.3.	NPSH _R	
8.1.5.4.	Variación del NPSH _R	
8.1.6.	Carga total	
8.2.	Curvas Características de una Bomba	36
8.2.1.	Curva Carga-Caudal (H-Q)	
8.2.1.1.	Característica ascendente (“Rising”)	
8.2.1.2.	Característica caída (“Drooping”)	
8.2.1.3.	Característica empinada (“Steep”)	
8.2.1.4.	Característica plana (“Flat”)	
8.2.2.	Class	
8.3.	Otras características de las Bombas Centrífugas	40
8.3.1.	Cavitación	
8.3.2.	Prerrotación	
9	ANÁLISIS TEÓRICO DE BOMBAS CENTRÍFUGAS	42
9.1.	Introducción	42
9.2.	Parámetros de las bombas centrífugas	42
9.3.	Trabajo teórico del rotor	44
9.4.	Pérdidas	47
9.4.1.	Incidencia	
9.4.2.	Rozamiento de superficie	
9.4.3.	Difusión	
9.4.4.	Pérdidas de presión en la voluta	
9.4.5.	Difusor	
9.4.6.	Rozamiento del disco	
9.4.7.	Recirculación	
9.4.8.	Fugas del flujo	
9.5.	Carga de la bomba	55
9.6.	Eficiencia	55
10	BANCO DE BOMBAS	55
10.1.	Introducción	55
10.2.	Elementos	56

10.2.1.	Tanque	
10.2.2.	Elementos de medición	
10.2.2.1.	Manómetro aspiración	
10.2.2.2.	Manómetro descarga	
10.2.2.3.	Termómetro	
10.2.2.4.	Caudalímetro	
10.2.2.5.	Vatímetro	
10.2.2.6.	Tacómetro	
10.2.3.	Válvulas	
10.2.4.	Otros elementos	
10.2.4.1.	Desgasificador	
10.2.4.2.	Calentador	
10.2.4.3.	Agitador	
10.2.5.	Parte eléctrica	
10.3.	Diseño	59
10.4.	Teoría	59
10.4.1.	Parámetros de cálculo	
10.4.1.1.	Velocidad angular	
10.4.1.2.	Caudal volumétrico	
10.4.1.3.	Velocidad media	
10.4.1.4.	Energía cinética	
10.4.1.5.	Carga total de la bomba	
10.4.1.6.	NPSH	
10.4.1.7.	Potencia de salida de la Bomba	
10.4.1.8.	Eficiencia de la Bomba	
10.4.1.9.	Eficiencia del conjunto	
10.4.2.	Incertidumbre en las mediciones	
10.4.2.1.	Aleatoria	
10.4.2.2.	Conjunto	
10.4.2.3.	Eficiencia del conjunto	
10.4.3.	Extrapolación de resultados a las condiciones de garantía	
10.5.	Tolerancias	69
10.6.	Resultados e informe	70

11 REQUISITOS DE DISEÑO	71
11.1. El cliente	71
11.1.1. Nivel de tolerancia	
11.1.2. Tipo de instalación	
11.1.3. Tanque	
11.1.4. Calentador	
11.1.5. Líneas	
11.1.6. Instrumentos de medición	
11.1.7. Bombas a probar	
11.2. Normativa aplicable	73
11.3. Emplazamiento	73
11.4. Otros	74
12 RESULTADOS FINALES	74
12.1. Banco de Pruebas para Bombas Centrífugas	74
12.2. Hoja de cálculo Excel	75
12.3. Programa análisis teórico de Bombas Centrífugas	75
13 ORDEN DE PRIORIDAD ENTRE LOS DOCUMENTOS BÁSICOS	75

1. INTRODUCCIÓN

En el actual Plan Educativo se obliga a elaborar un Trabajo o Proyecto, incluido en el Plan de Estudios del Grado, para poder obtener el título del Grado. Consiste en un trabajo original que, el/la estudiante, con ayuda de un/a tutor/a, debe realizar en la etapa final de la carrera, y con el cual se debe demostrar que se han adquirido los conocimientos, capacidades y aptitudes previstas en el Plan de Estudios.

Esta asignatura como “Trabajo de Fin de Grado” tiene un peso en créditos en función de cada Plan de Estudios. Estos créditos son los que fijan la equivalencia en horas de trabajo. En el Plan de Estudios del Grado en Ingeniería Marina / Tecnologías Marinas, el Trabajo de Fin de Grado son 12 créditos.

El presente Proyecto abarca el diseño de un Banco de Bombas Centrífugas, como indica el título, pero además incluye otros desarrollos relacionados, que vienen recogidos en el apartado “2. OBJETO” de la presente Memoria. Este Proyecto ha sido demandado por la empresa Gefico Enterprise, principalmente el diseño del Banco. El conjunto del Proyecto presente, intenta adecuarse a los objetivos académicos del TFG tanto en amplitud, contenidos y calidad de los mismos, así como a las necesidades de la empresa.

1.1. Gefico Enterprise

Como viene definida en su propia página web: “Gefico Enterprise es una compañía líder que diseña, desarrolla y suministra soluciones para el mercado del tratamiento del agua, contando con más de 7000 instalaciones tanto off-shore como en tierra”.

Entre sus equipos que suministran, se encuentran Generadores de Agua Dulce, Potabilizadoras, equipos de Tratamiento de Agua, Intercambiadores de Calor. Todos estos equipos o su mayoría están equipados con bombas centrífugas de diseño propio, que son las que nos ocupan en el presente Proyecto.

La empresa tiene un gran peso en la industria marítima y naval, suministrando plantas de desalinización mediante ósmosis o vaporización, y equipos para el tratamiento del agua, instalados a bordo.

2. OBJETO

El objetivo principal del presente proyecto es el diseño de un Banco de Pruebas para Bombas Centrífugas con objeto de obtener las “Curvas Características” y principales características de funcionamiento de las bombas centrífugas de la empresa Gefico Enterprise, S.A., dentro del rango de potencia de 0,5 a 4 cv.

Paralelo al diseño del Banco de Pruebas, se creará un documento con el Programa Microsoft Excel que permita la recopilación de los datos tomados del Banco de Pruebas durante los ensayos. Además de esta recopilación, el objeto del documento es realizar el cálculo de las Curvas Características de la bomba y presentarlas en forma de gráfica, así como un reporte de los datos de la prueba.

Además se diseñará un programa ejecutable en formato “.EXE” mediante el software EES para poder calcular las “curvas características” teóricas de las bombas centrífugas objeto de estudio. Este estudio teórico se basará en el desarrollo teórico presentado en el libro de diseño de Bombas Centrífugas de J. Tuzson [11]. El programa diseñado debe realizar los cálculos teóricos a partir de datos geométricos del propio diseño de la bomba, extraíbles de los planos de la bomba, y de valores de diseño como puede ser el caudal de diseño.

Por último, la elaboración del presente Proyecto sienta las bases para el diseño, además de recopilar amplia Bibliografía, y abre las puertas al diseño y construcción de un Banco de Bombas en la Escuela Técnica Superior de Náutica y Máquinas de A Coruña, que pueda ser empleado con fines educativos en prácticas de materias como “Mecánica de Fluidos” e “Hidráulica”.

3. ALCANCE

El alcance del proyecto está dirigido en dos direcciones:

Por un lado, el alcance del diseño de la instalación del banco de bombas centrífugas está diseñado para las bombas de 50 Hz de la empresa Gefico Enterprise del rango de potencia que va de 0,5 a 4 cv. Este diseño se puede emplear en otras bombas de similares características (caudal, presión, potencia, dimensiones,...).

Por otro lado, el programa de análisis teórico de bombas centrífugas, se puede emplear en bombas centrífugas de simple etapa con voluta o difusor, hasta 0,02 m³/s de caudal. Si bien, este caudal máximo se puede variar, introduciendo en la última iteración de la tabla paramétrica de caudal otro valor, en el documento formato “.EES”.

4. ANTECEDENTES

La necesidad del presente Proyecto nace del vacío de información existente sobre las bombas de la empresa Gefico Enterprise. Esta falta de información se debe a que no se han probado en un banco antes las bombas de diseño propio. Esto puede provocar problemas o dificultades mayores al diseñar la instalación donde se pueda montar el equipo que componen, por lo que para la empresa se hace necesario el obtener las curvas características de funcionamiento de sus bombas centrífugas. Además, el presentar esta información de las bombas, ofrece una garantía al comprador de los equipos.

5. NORMAS Y REFERENCIAS

5.1. Disposiciones legales y normas aplicadas

Las normas más importantes a tener en cuenta para la realización de presente Proyecto, son tres. Todas son fundamentales en la elaboración o en la realización del Proyecto:

- UNE 157001 - Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico.
- UNE-EN ISO 11442 - Documentación técnica de productos. Gestión de documentos.
- EN ISO 9906 - Rotodynamic pumps - Hydraulic performance acceptance tests - Grades 1, 2 and 3 (ISO 9906:2012).

5.2. Programas de cálculo

Microsoft Office Excel 2010

SRS1 Cubic Spline for Excel

Engineering Equation Solver (EES)

5.3. Plan de gestión de la calidad aplicado durante la redacción del Proyecto

En la elaboración del presente Proyecto, se ha tenido en cuenta la norma arriba indicada: UNE-EN ISO 11442 - Documentación técnica de productos. Gestión de documentos.

5.4. Bibliografía

En la presente bibliografía se incluye diverso material. Parte de él está referenciado en los diferentes documentos que componen el presente Proyecto, mientras que otra parte no aparece referenciada. Pero se ha creído conveniente su inclusión en la bibliografía o bien porque ha sido de utilidad en la redacción del presente Proyecto, o bien por estimar interesante su contenido en relación a lo expuesto en el último párrafo del apartado “2. OBJETO” de la presente Memoria.

5.4.1. Libros

- [1] - Brennen, Christopher E. *Hydrodynamics Of Pumps*. Norwich, Vt., USA: Concepts ETI, 1994.
- [2] - Çengel, Yunus A, John M Cimbala, and Víctor Campos Olgún. *Mecánica De Fluidos*. México: McGraw Hill, 2006.
- [3] - Girdhar, Paresh and Octo Moniz. *Practical Centrifugal Pumps*. Oxford: Newnes, 2005.
- [4] - Karassik, Igor J and J. T McGuire. *Centrifugal Pumps*. New York: Chapman & Hall, 1998. Print.
- [5] - Karassik, Igor J et al. *Pump Handbook*. New York: McGraw-Hill, 2008.
- [6] - Karassik, Igor J. *Centrifugal Pump Clinic*. New York: Dekker, 1989.
- [7] - Karassik, Igor J. *Manual De Bombas*. México, Madrid [etc.]: McGraw-Hill, 1983.
- [8] - Lobanoff, Val S and Robert R Ross. *Centrifugal Pumps*. Houston, Tex.: Gulf Pub., 1992.
- [9] - Mott, Robert L, Javier Enríquez Brito, and Javier León Cárdenas. *Mecánica De Fluidos*. México: Prentice-Hall, 2006.
- [10] - Shiels, Stan. *Stan Shiels On Centrifugal Pumps*. New York: Elsevier, 2004.
- [11] - Tuzson, John. *Centrifugal Pump Design*. New York: John Wiley & Sons, 2000.
- [12] - Yedidiah, S. *Centrifugal Pump User's Guidebook*. New York: Chapman & Hall, 1996.
- [13] - *Principios Básicos para el Diseño de Instalaciones de Bombas Centrífugas*. Madrid: Sterling SIHI.

5.4.2. Artículos

- [14] - F. Wiesner, "A Review of Slip Factors for Centrifugal Impellers", *J. Eng. Gas Turbines Power*, vol. 89, no. 4, p. 558, 1967.
- [15] - N. Parsipary, "Pipe Loss Standards", *Hydraulic Institute*, 1998.
- [16] - J. Lorett and S. Gopalakrishnan, "Interaction Between Impeller and Volute of Pumps at Off-Design Conditions", *Journal of Fluids Engineering*, vol. 108, no. 1, p. 12, 1986.
- [17] - R. Worsted, "The Flow in Volutes", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, vol. 177, no. 31, pp. 943-875, 1963.
- [18] - R. Nece and J. Daily, "Roughness Effects on Frictional Resistance of Enclosed Rotating Disks", *Journal of Basic Engineering*, vol. 82, no. 3, p. 553, 1960.
- [19] - J. Tuzson, "Inlet Recirculation in Centrifugal Pumps in Performance Characteristics of Hydraulic Turbines and Pumps", *ASME FED*, vol. 6, pp. 195-200, 1983.
- [20] - K. Thin, M. Khaing and K. Aye, "Design and Performance Analysis of Centrifugal Pump", *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 2008.
- [21] - M. El-Naggar, "A One-Dimensional Flow Analysis for the Prediction of Centrifugal Pump Performance Characteristics", *International Journal of Rotating Machinery*, vol. 2013, pp. 1-19, 2013.
- [22] - S. Kyparissis and D. Margaris, "Experimental Investigation and Passive Flow Control of a Cavitating Centrifugal Pump", *International Journal of Rotating Machinery*, vol. 2012, pp. 1-8, 2012.
- [23] - R. Ramadevi, "Net Positive Suction Head Analysis for Testing the Condition of a Centrifugal Pump", *Indian Journal of Science and Technology*, vol. 8, no. 10, p. 934, 2015.

[24] - R. Shastri, A. Singh and M. Singh, "Analysis About Losses of Centrifugal Pump by Matlab", *International Journal of Computational Engineering Research*, vol. 4, 2014.

5.4.3. Bancos de Bombas

[25] - S. Cajo and L. López, "Diseño y Construcción de un Banco de Pruebas para la determinación de la eficiencia de Bombas Centrifugas Domiciliarias", Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2012.

[26] - H. García and J. Suárez, "Diseño, Construcción y Puesta a Prueba de un Banco de Bombas Centrífugas en serie, paralelo y mixto", Tesis de Grado, Universidad Pontificia Bolivariana, 2010.

[27] - J. Yambombo, "Diseño y Construcción de un Banco de Pruebas para ensayos de pérdidas de carga en tuberías y accesorios", Tesis de Grado, Universidad Central del Ecuador, 2012.

[28] - F. Agila and I. Calahorrano, "Diseño y Construcción de un Banco de Pruebas para Bombas Centrífugas conectadas en serie y paralelo", Tesis de Grado, Universidad Politécnica Salesiana, 2011.

[29] - A. Pedrosa and P. Campoverde, "Automatización del Banco de Pruebas para Bombas Centrífugas del laboratorio de máquinas hidráulicas de la Universidad Politécnica Salesiana Sede-Cuenca", Tesis de Grado, Universidad Politécnica Salesiana Sede-Cuenca, 2011.

[30] - L. Díaz, Y. Mustafá and L. Ríos, "Construcción y Puesta en marcha de un Banco de Cavitación para Bombas Centrífugas pequeñas", *Scientia et Technica*, vol. 30, 2006.

[31] A. Baya, A. Bosioc, A. Stuparu, S. Muntean, R. Resiga, T. Milos and L. Anton, "Development a New Test Rig for analysis and control of swirling flows", *International Conference on Energy and Enviroment*.

[32] - Computer Controlled Centrifugal Pump Bench, PBCC. De Edibon.

[33] - Multi-Pump Test Rig - C3MKII, de Armfield

5.4.4. Enlaces web

- [34] - Elementos que conforman una bomba centrífuga ~ Bonnett. *Grupobonnettblogspotcomes*. 2016. Available at: <http://grupobonnett.blogspot.com.es/2014/06/elementos-que-conforman-una-bomba.html>. Acceso 12 Agosto 2016.
- [35] - Orifice equation - Engineering - Wikia. *Engineeringwikiacom*. 2016. Available at: http://engineering.wikia.com/wiki/Orifice_equation. Acceso 3 Agosto 2016.
- [36] - Principio de Bernoulli | La guía de Física. *Fisicalaguia2000com*. 2011. Disponible en: <http://fisica.laguia2000.com/dinamica-clasica/leyes-de-newton/principio-de-bernoulli>. Acceso 14 Agosto 2016.
- [37] - Pump Impeller Types - Engineers Edge. *Engineersedgecom*. 2016. Disponible en: http://www.engineersedge.com/pumps/impellar_classification.htm. Acceso 14 Agosto 2016.
- [38] - Pliego de condiciones. *Es.wikipedia.org*. 2016. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Pliego_de_condiciones. Acceso 26 Agosto 2016.
- [39] - Gefico | Soluciones para el tratamiento del agua. *Geficocom*. 2016. Disponible en: <http://www.gefico.com/es/>. Acceso 5 Septiembre 2016.
- [40] - Free software to add cubic spline functionality to a Microsoft Excel workbook. *Srs1softwarecom*. 2016. Disponible en: <http://www.srs1software.com/SRS1CubicSplineForExcel.aspx>. Acceso 7 Septiembre 2016.
- [41] - Automatización al mejor precio | Automation24. *Automation24es*. 2016. Disponible en: <http://www.automation24.es/>. Acceso 5 Septiembre 2016.
- [42] - ROTOPLAST SA | Fabricantes de Recipientes Industriales de Polietileno. *Rotoplastes*. 2016. Disponible en: <http://www.rotoplast.es/>. Acceso 6 Septiembre 2016.

- [43] - Sensores, detectores e instrumentos | E-direct por Endress+Hauser. *E-directendresscom*. 2016. Disponible en: <http://www.e-direct.endress.com/es/es>. Acceso 3 Septiembre 2016.
- [44] - Tu tienda de Instrumentación. *Typmedicionescom*. 2016. Disponible en: <http://www.typmediciones.com/>. Acceso 4 Septiembre 2016.
- [45] - GmbH P. PCE Iberica S.L. Instrumentación | PCE Instruments. *Pce-instrumentscom*. 2016. Disponible en: <https://www.pce-instruments.com/espanol/>. Acceso 6 Septiembre 2016.
- [46] - Pumps, Valves and Service | KSB. *Ksbcom*. 2016. Disponible en: <https://www.ksb.com/ksb-en/>. Acceso 7 Septiembre 2016.

5.5. Otras referencias

- [47] - ISO 9906:2012 Rotodynamic pumps - Hydraulic performance acceptance tests - Grades 1, 2 and 3.

6. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

6.1. Definiciones

Aguas abajo: Toda sección considerada después de la sección a la que se hace mención, en sentido de la corriente.

Aguas arriba: Toda sección considerada antes de la sección a la que se hace mención, en sentido de la corriente.

Banco de Pruebas para Bombas Centrífugas: Instalación destinada al ensayo de bombas centrífugas para extraer sus parámetros de funcionamiento.

Curvas características de una bomba: Son las curvas principales que definen el funcionamiento de una bomba. Se trata de la carga, rendimiento, potencia frente al caudal.

Estándar Internacional: Es una norma establecida por una organización internacional.

Instalación en lazo cerrado: Es un tipo de instalación con un tanque al que se recircula el fluido constantemente.

Máximo caudal desarrollado: Es el máximo caudal que una bomba es capaz de desarrollar en una situación concreta.

Off-shore: Se refiere a mar adentro.

Plano de referencia: Cualquier plano horizontal empleado como plano para la medición de la presión.

Potencia de entrada de la bomba: Potencia transmitida a la bomba por su motor.

Potencia de entrada en el motor: Potencia absorbida por el motor de la bomba

Prueba de fábrica: Prueba de funcionamiento que se realiza sin la presencia del comprador, en la cual el fabricante es el responsable de la recopilación de datos y de juzgar el funcionamiento de la bomba.

Punto de garantía: Punto de funcionamiento en el cual, el fabricante de la bomba, garantiza el funcionamiento de la bomba dentro de la tolerancia establecida en el grado de tolerancia.

Volumen de Control: Es un volumen considerado con el objeto de estudio.

6.2. Abreviaturas

cv: Caballos de potencia

m.c.a.: Metros de Columna de Agua

NPSH: Net Positive Suction Head

NPSH_A: Net Positive Suction Head Available

NPSH_R: Net Positive Suction Head Required

S.A.: Sociedad Anónima

TFG: Trabajo de Fin de Grado

7. DESCRIPCIÓN DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA

7.1. Principio de funcionamiento

El bombeo es la adición de energía de un fluido para moverlo de un punto a otro. Las bombas centrífugas son elementos de bombeo cinéticos, es decir, que añaden energía al fluido aumentando así su velocidad. La energía cinética la transmite al fluido el rotor a través de sus álabes movido por un eje.

Las bombas centrífugas siguen el Principio de Bernoulli de conservación de la energía y la Ecuación de Euler para turbomáquinas, que calcula la energía entregada al fluido por la bomba. El Principio de Bernoulli se aplica en la zona del difusor donde se transforma la energía cinética en energía de presión.

El teorema de Bernoulli donde (1) es la entrada y (2) la salida, es el siguiente:

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + gz_1 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + gz_2 + \delta E_{mj} \quad (\text{ec.1.7.1.1.})$$

donde,

p: presión

ρ : densidad

v: velocidad

g: gravedad

z: altura

δE_{mj} : pérdidas

La Ecuación de Euler viene desarrollada en el apartado “9.3. Trabajo teórico del rotor”, del presente documento.

El recorrido del fluido a través de la bomba, como se describe en Manual de Bombas [7], es el siguiente: “el líquido se fuerza e entrar en un juego de álabes rotatorios. Estos álabes constituyen un rotor que descarga el líquido en su periferia a más alta velocidad. Esta velocidad se convierte en energía de presión por medio de una voluta o mediante un juego de álabes estacionarios de difusión rodeando la periferia del rotor.” Este proceso de transformación de energía en bombas centrífugas se conoce como difusión.

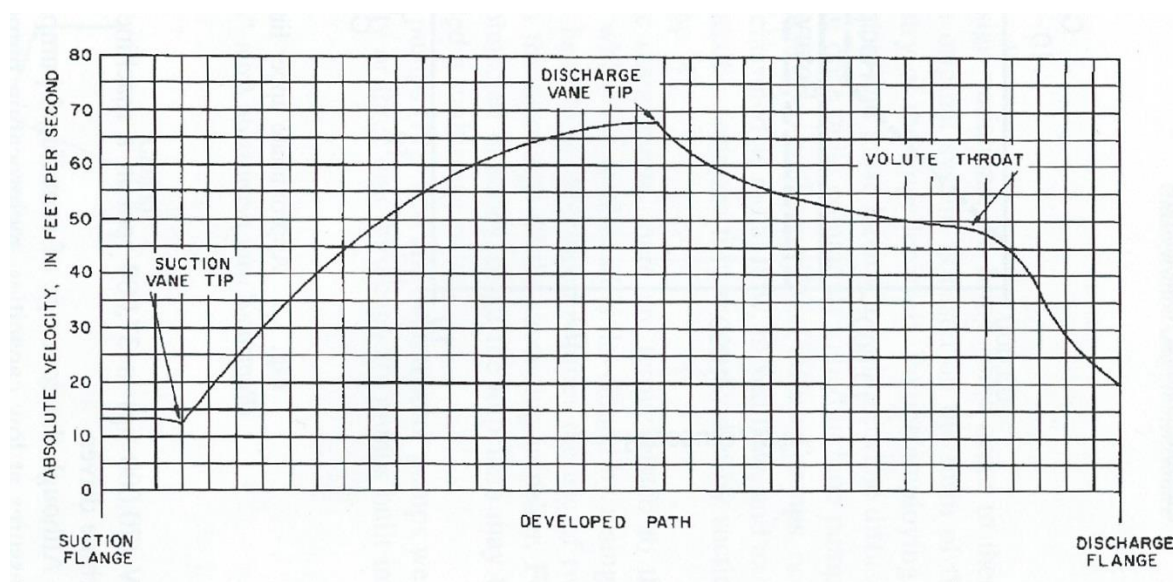


Ilustración 1.7.1.

En la Ilustración 1.7.1. se puede observar la variación de la velocidad absoluta en las diferentes zonas de una bomba centrífuga de voluta: entra en la bomba con una baja velocidad (zona horizontal de la izquierda), para ir aumentando su velocidad en el rotor (entre “Suction vane tip” y “Discharge vane tip”). Tras salir del rotor, el flujo va perdiendo velocidad en la voluta (hasta el punto “Volute throat”), para finalmente perder velocidad bruscamente en la zona del difusor (zona derecha).

7.2. Elementos

Las bombas centrífugas están formadas por varios tipos de elementos, tales como: carcasa, rotor, eje, sellos, rodamientos, etc. En el presente Proyecto se consideran de interés únicamente el estudio de la carcasa y rotor que son los elementos que están en contacto con el fluido y los cuales requieren de un análisis de los flujos. Por este motivo no se entra en materia de otros elementos que conforman una bomba centrífuga, aunque se trate de elementos de un gran interés de diseño sobretodo mecánico.

7.2.1. Carcasa

La carcasa es la parte de la bomba que contiene el rotor. Tiene 5 funciones principales según [4]:

- Mantener la presión
- Incorporar el colector
- Permitir la instalación del rotor y su extracción
- Sujetar la bomba
- Mantener la alineación entre la bomba y el rotor bajo la acción de presión.

El colector transforma la energía cinética descargada por el rotor y la transforma en energía de presión. Existen dos tipos de colectores: de voluta y de difusor.

Los colectores de voluta tienen una forma de espiral, la cual aumenta la sección desde la “lengua”, que es un saliente que divide el difusor de descarga de la sección inicial, hasta la zona de descarga, para transformar la velocidad del fluido en presión.

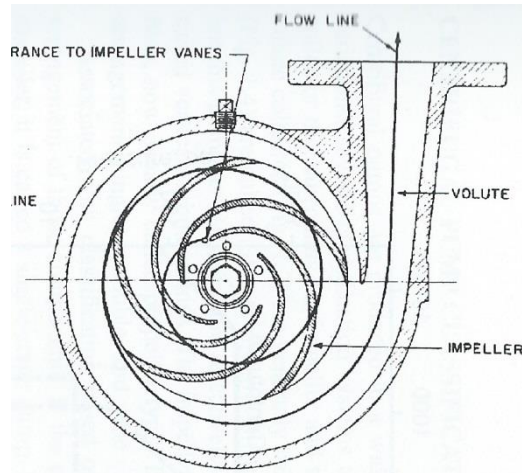


Ilustración 1.7.2.1.1.

Los colectores de voluta pueden tener diversas formas. La forma habitual es en espiral, aunque también se ven volutas semiconcéntricas y concéntricas.

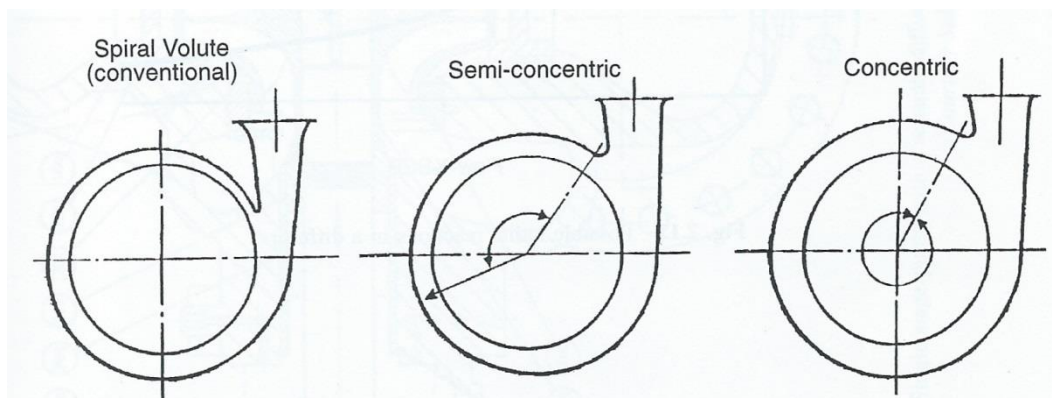


Ilustración 1.7.2.1.2.

Los colectores de difusor, emplean difusores concéntricos con el rotor, que aumentan la sección del fluido con el aumento del radio, y así se produce la transformación de energía cinética a potencial.

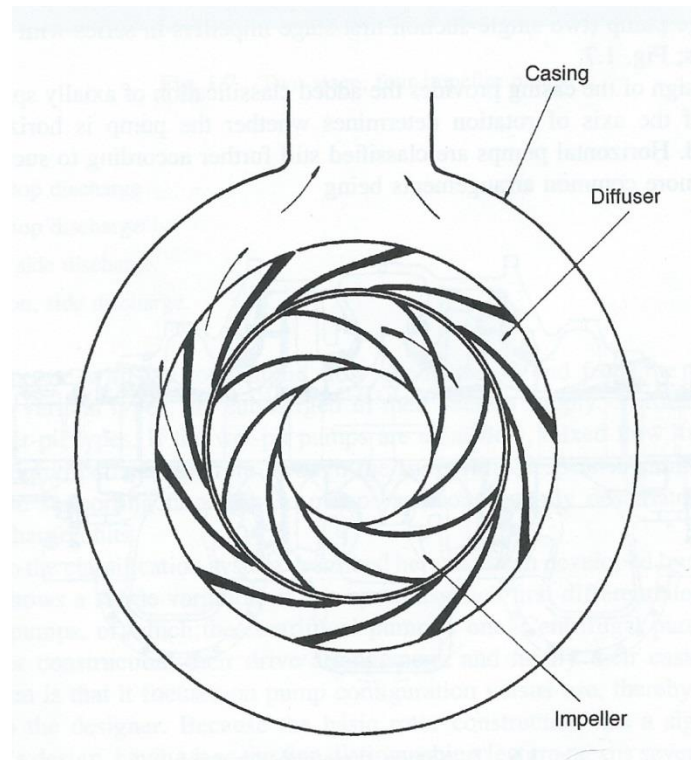


Ilustración 1.7.2.1.3.

7.2.2. Rotor

El rotor transforma el par aplicado sobre el eje en energía cinética del fluido. Esto se produce por los álabes del rotor, que aceleran el flujo.

En la siguiente Ilustración se pueden observar las diferentes partes del rotor en inglés. Aunque se trata de un rotor de doble aspiración cerrado, en todos los rotores cerrados la nomenclatura es la misma.

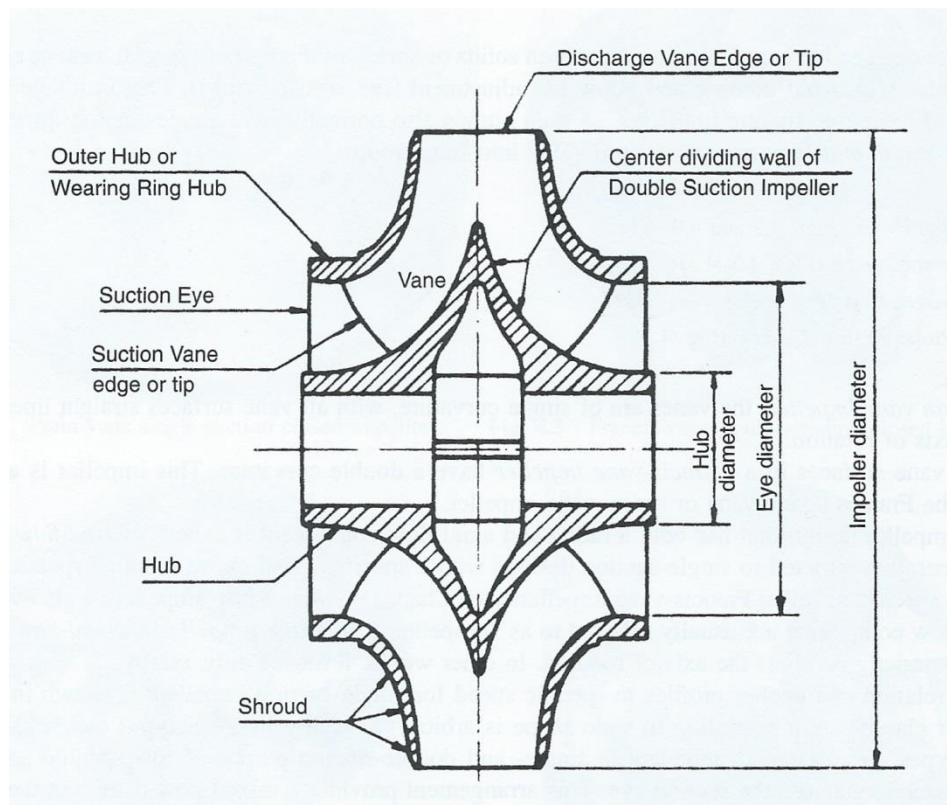


Ilustración 1.7.2.2.1.

Principalmente se puede distinguir entre tres tipos de rotores: cerrados, semiabiertos y abiertos.

Los rotores de tipo cerrado (derecha Ilustración 1.7.2.2.2.), tienen ambas caras cubiertas, con los álabes en su interior. Este tipo de rotor reduce las pérdidas por fugas de fluido entre la zona de descarga a mayor presión y la de aspiración a menor.

Los rotores de tipo semiabierto (centro Ilustración 1.7.2.2.2.), cuentan con un lado del rotor cerrado. Normalmente es el lado contrario al de la aspiración, aunque a veces es el lado de aspiración de la bomba. Este tipo de rotor tiene una mayor resistencia a esfuerzos que el abierto completamente.

Los rotores de tipo abierto (izquierda Ilustración 1.7.2.2.2.), consisten en álabes fijados al lado del eje de la bomba. Este tipo de rotor cuenta con muchas limitaciones mecánicas en cuanto a la resistencia de los materiales y su diseño.

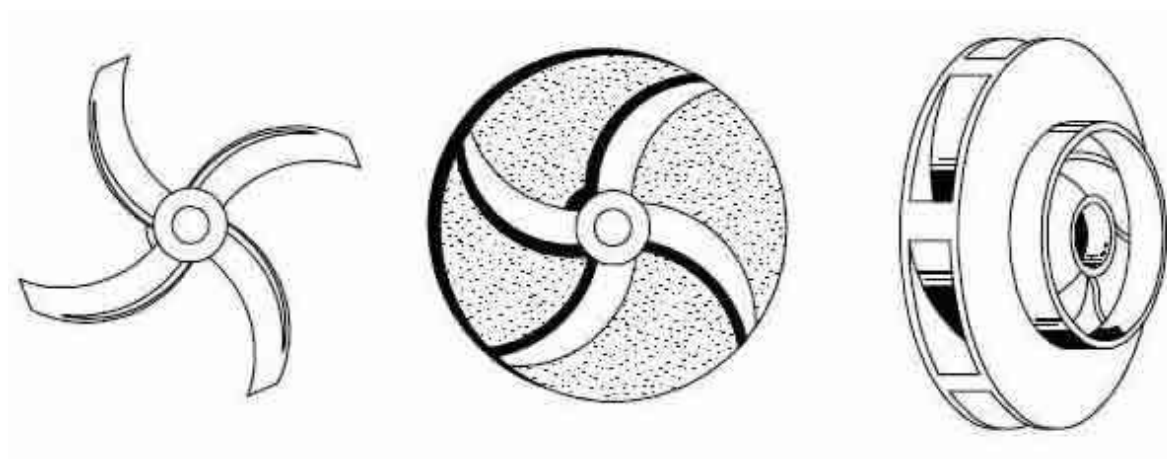


Ilustración 1.7.2.2.2.

8. PARÁMETROS DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS

8.1. Carga o “Head”

La palabra en inglés “Head”, traducida al español por “Carga” en el Manual de Bombas [7], se emplea para designar una forma de energía o bien la posibilidad de realizar trabajo. Esta forma de energía es en forma de presión de metros de columna de agua.

8.1.1. Carga Estática

Es la carga que hace referencia a la altura. La carga estática es la diferencia de alturas del sistema entre la altura del nivel de líquido en la aspiración y la descarga.

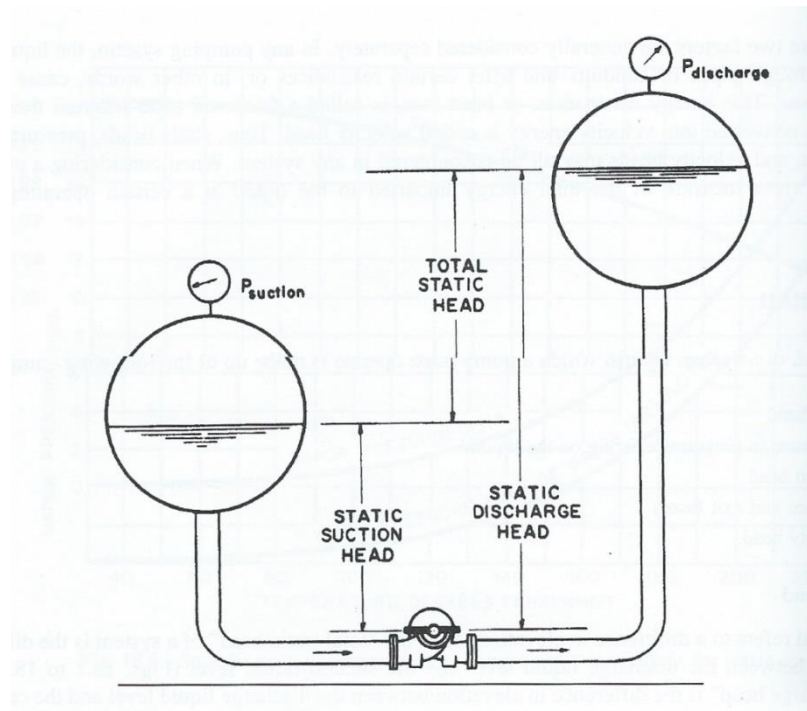


Ilustración 1.8.1.1.1.

8.1.2. Carga de Fricción

Es la carga, expresada también en metros, de pérdidas por fricción en las líneas del sistema. En estas pérdidas no se incluyen las pérdidas que se dan en la bomba. Dentro de estas pérdidas se pueden englobar también las pérdidas por entrada y salida, es decir, en la aspiración y descarga de las líneas.

8.1.3. Carga de Velocidad

La carga de velocidad de un fluido es la energía cinética de éste en un punto, expresada en metros. Esta carga de velocidad se debe de tener en cuenta en los cálculos ya que es parte de energía del fluido. Viene expresada por la siguiente ecuación:

$$h_v = \frac{v^2}{2g} \quad (\text{ec. 1.8.1.3.1.})$$

8.1.4. Curva de Carga del Sistema

La curva de carga del sistema es una gráfica H-Q en la que se representa la suma de la carga estática del sistema, la diferencia de presión entre la aspiración y la descarga del sistema y la carga de fricción.

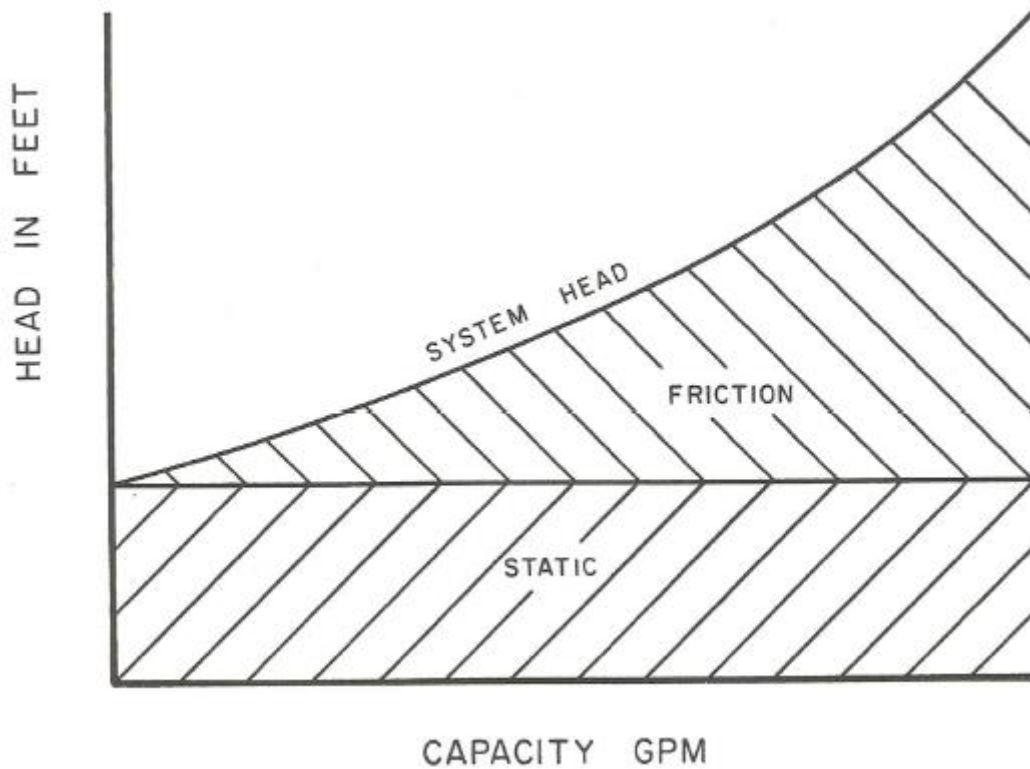


Ilustración 1.8.1.4.1.

8.1.5. NPSH

8.1.5.1. Definición

El NPSH o CNPA es acrónimo de “Net Positive Suction Head” en inglés y “Carga Neta Positiva de Aspiración” en español sucesivamente.

El NPSH se define en [12] (traducido del inglés) como:

“la diferencia entre la carga total absoluta existente en la aspiración de la bomba y la presión que corresponde a la presión de vapor del líquido bombeado”

El NPSH sigue la siguiente ecuación:

$$NPSH = \frac{p_s - p_v}{\gamma} + \frac{c^2}{2g} \quad (\text{ec. 1.8.1.5.1.1.})$$

donde,

p_s : presión absoluta de la aspiración

p_v : presión de vapor del líquido bombeado para determinada temperatura

γ : peso específico del líquido

c : velocidad del flujo en la sección de medición

El estudio del NPSH es de mucha importancia en las bombas ya que está estrechamente ligado al fenómeno de la cavitación que se trata en el apartado: “8.3.1. Cavitación”.

8.1.5.2. NPSH_A

Se trata del NPSH “Available” o “Disponible”. Es la carga total en la aspiración de la bomba menos la presión de vapor del líquido a esa temperatura. Este parámetro depende del diseño de la instalación donde va montada la bomba.

8.1.5.3. NPSH_R

Es el NPSH “Required” o “Requerido” por la bomba para evitar la aparición de cavitación en la misma y así tener una operación segura.

El NPSH_R se puede calcular mediante varios métodos. El más común y el que se tiene en cuenta en la normativa ISO 9906:2012 [46] para hallarlo es el método del 3%. Este método consiste en situar el NPSH_R en el punto donde se produce una variación del 3% de la carga total de la bomba.

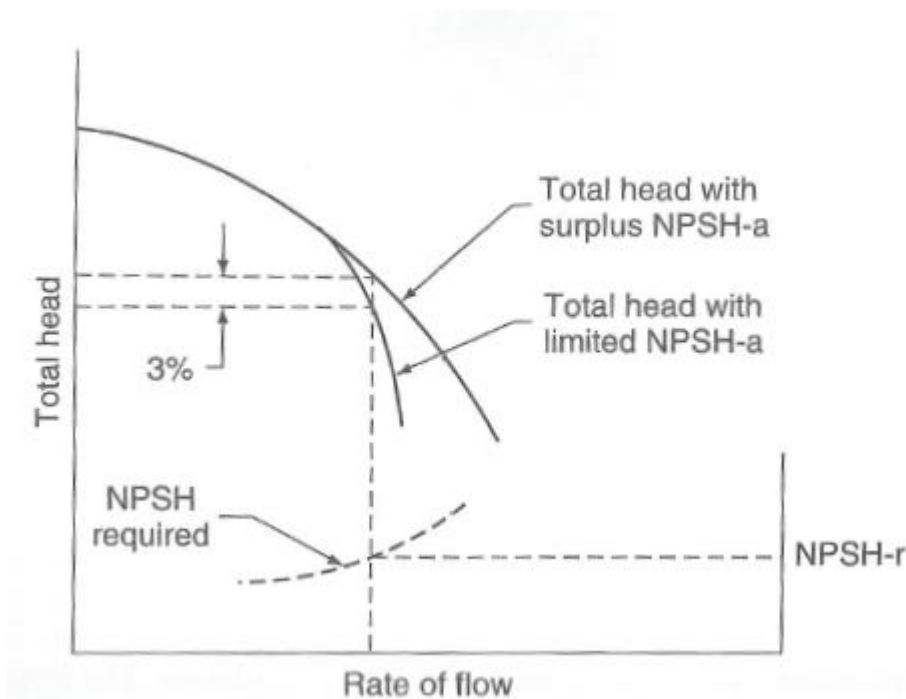


Ilustración 1.8.1.5.3.1.

Otros métodos lo pueden hallar mediante vibraciones, ruido, etc.

8.1.5.4. Variación del $NPSH_R$

El $NPSH_R$ varía con la temperatura, aunque lo hace en un grado reducido. Esta variación se produce por el comportamiento del agua a elevadas temperaturas, que depende de sus características termodinámicas. A diferentes temperaturas, se necesita más masa a la temperatura superior para alcanzar el mismo volumen de vapor saturado. Por otro lado, el calor latente del agua a la temperatura superior, es ligeramente inferior. Estas dos características hacen que sea necesaria mayor transferencia de calor a una temperatura superior para conseguir el mismo volumen de vapor.

Como el fluido normalmente se encuentra durante un corto período de tiempo en la zona de baja presión, donde se produce la cavitación, se libera una cantidad menor de vapor a la temperatura superior, lo que explica la reducción de la cavitación con el aumento de la temperatura.

Este fenómeno es de tener en cuenta a la hora de calcular el NPSH de la bomba, siendo recomendable la realización de las pruebas con el fluido a una temperatura próxima a la de funcionamiento en los diversos equipos donde van montadas las bombas.

8.1.6. Carga total

La carga total de una bomba centrífuga es la energía total transmitida por la bomba al fluido. Esta energía es simplemente la diferencia entre la carga en la aspiración de la bomba y la carga en la descarga de la bomba, en el caso de que no exista pre-rotación. Se tiene en cuenta las formas de energía cinética, potencial y de presión del fluido.

8.2. Curvas Características de una Bomba

Las curvas características de una bomba, están formadas por los siguientes parámetros: Carga Total de la bomba (H), Potencia absorbida (P) y Eficiencia (η). Todos estos parámetros son función del Caudal (Q) y se grafican en varias gráficas (separadas) o en una que incluya todos los parámetros. Estas gráficas se conocen como Curvas Características de una Bomba y son las que definen su funcionamiento. Existe otro parámetro que es el del régimen de giro de la bomba (rpm), pero que no se trata en el presente proyecto ya que la instalación diseñada, se va a emplear con bombas sin variador de frecuencia, es decir, con régimen de giro constante.

En la Ilustración 1.8.2.1. se puede observar una gráfica de las curvas características ejemplo, donde se encuentran H , P y η frente al caudal.

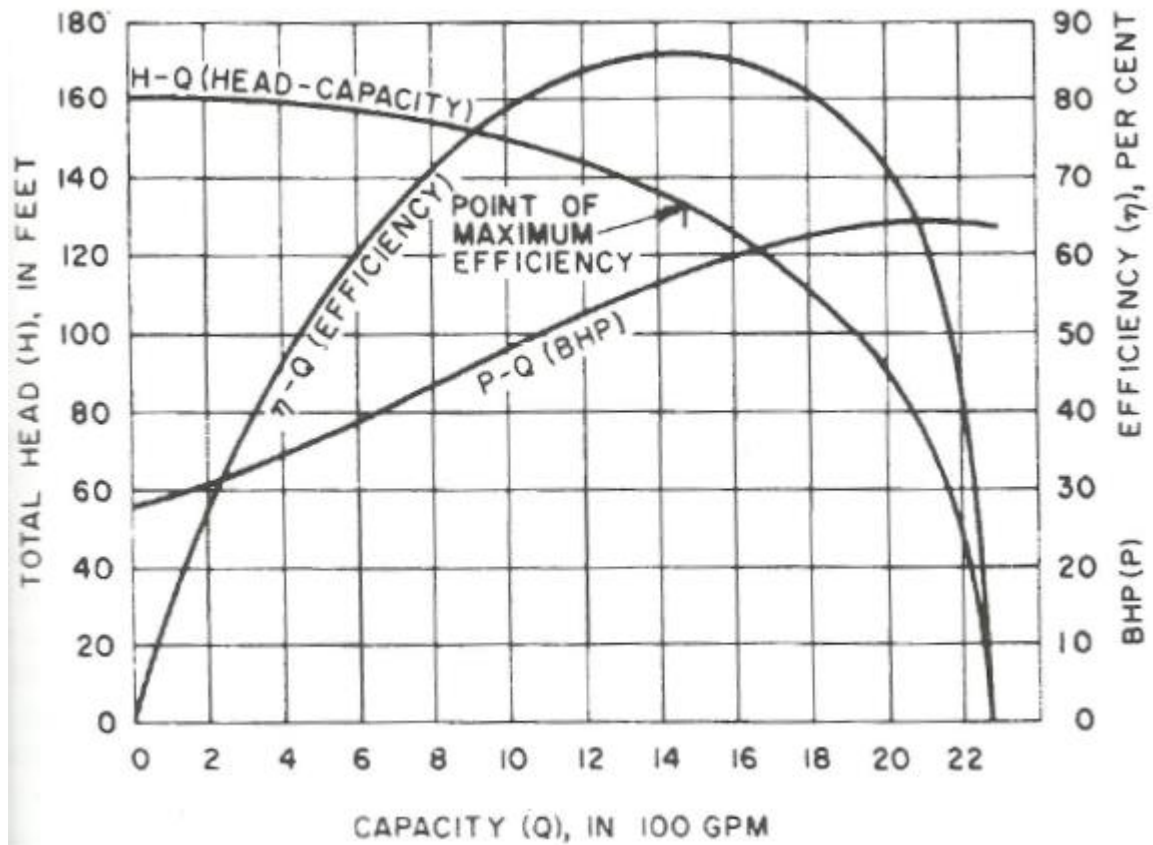


Ilustración 1.8.2.1.

8.2.1. Curva Carga-Caudal (H-Q)

La curva H-Q muestra la relación entre la Carga de la bomba y el Caudal. Según la forma que describe esta curva, se puede clasificar en varios tipos, aunque una curva puede ser de varios tipos a la vez. Normalmente esta curva es siempre descendente.

8.2.1.1. Característica ascendente (“rising”)

Se caracteriza por aumentar continuamente la carga mientras el caudal disminuye.

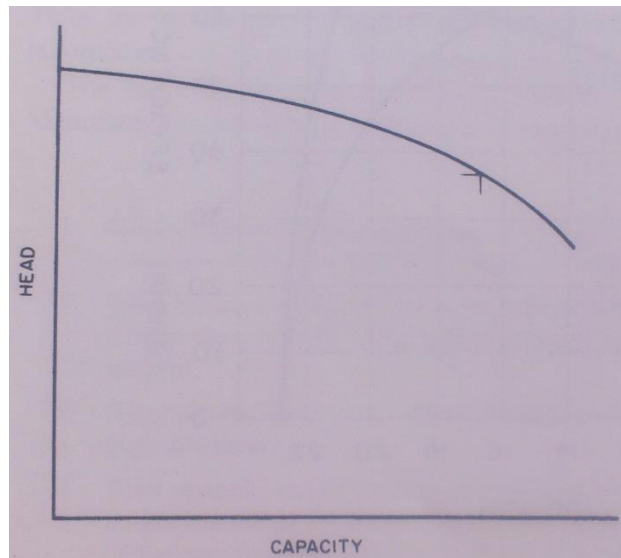


Ilustración 1.8.2.1.1.1.

8.2.1.2. Característica caída (“drooping”)

Se caracteriza por existir algún punto en el cual la carga es mayor que con caudal nulo.

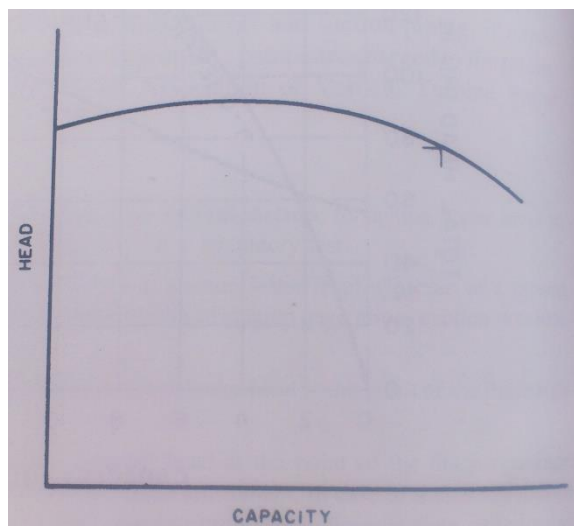


Ilustración 1.8.2.1.2.1.

8.2.1.3. Característica empinada (“Steep”)

Se caracteriza por haber una gran diferencia de la carga entre el punto de máximo caudal desarrollado y el punto de caudal nulo. Esta característica también se puede referenciar a zonas de la curva.

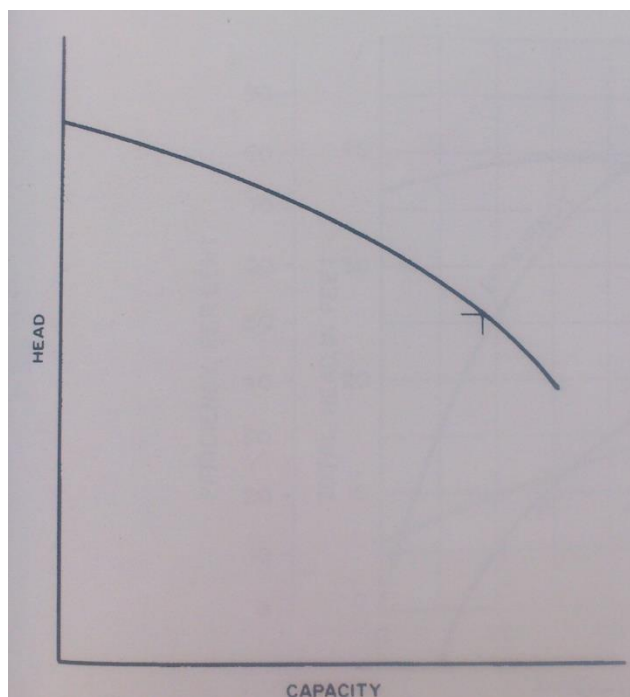


Ilustración 1.8.2.1.3.1.

8.2.1.4. Característica plana (“Flat”)

Esta característica es la contraria de la anterior. Se caracteriza por haber poca diferencia de la carga entre el punto de máximo caudal desarrollado y el punto de caudal nulo. Al igual que la anterior característica, se puede referenciar a zonas de la curva.

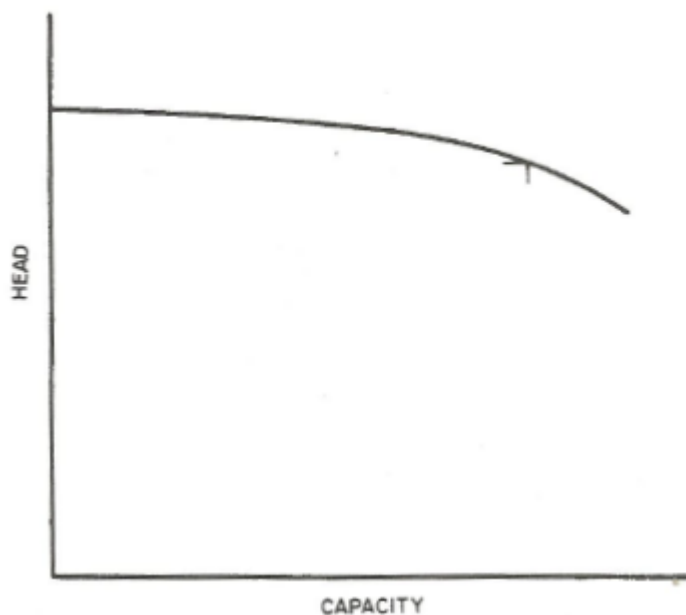


Ilustración 1.8.2.1.4.1.

8.3. Otras características de las Bombas Centrífugas

8.3.1. Cavitación

La definición de cavitación viene explicada en Manual de Bombas [7] de la siguiente forma:

“Se llama cavitación a la formación y subsecuente colapso de las cavidades llenas de vapor en un líquido, debido a la acción dinámica. Las cavidades pueden ser burbujas o bolsas llenas de vapor, o una combinación de ambas. Para que la cavitación se inicie, la presión en el lugar debe ser igual o menor que la presión de vapor del líquido, y las cavidades deben encontrar una región de presión más alta que la presión de vapor para que implosionen. [...] De la definición de cavitación se excluye arbitrariamente la ebullición acompañada por la adición de calor o la reducción de presión estática sin la acción dinámica del fluido.”

La cavitación produce erosiones por las implosiones cuando estas suceden en contacto con una superficie, arrancando material de la misma. Por esto mismo es un fenómeno que se desea controlar, así como evitar.

8.3.2. Pre-rotación

La pre-rotación es un fenómeno que se produce al igual que la cavitación, en la aspiración. La pre-rotación aparece cuando se forma un remolino aguas arriba de la aspiración de la bomba. Esta pre-rotación puede aparecer por dos factores: se forma cuando la bomba trabaja por debajo de su capacidad de recirculación, en cuyo caso se produce por el diseño de la bomba; se forma cuando el flujo es afectado por la línea de aspiración, en cuyo caso se debe al diseño de la misma.

8.3.3. Patrón de flujo “Jet-Wake”

Cuando aparece la separación de flujo en el rotor, se forman dos regiones con diferente energía. La velocidad relativa permanece constante pero diferente en las dos regiones.

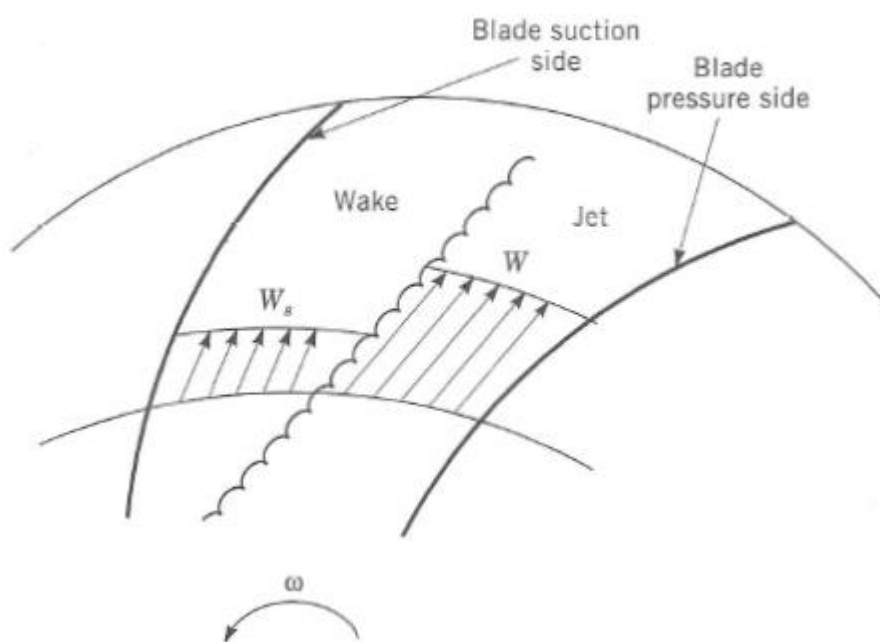


Ilustración 1.8.3.3.1.

8.3.4. Recirculación

La recirculación se produce en algunos caudales, normalmente por debajo del caudal de diseño de la bomba, se produce recirculación en la zona de aspiración y descarga del rotor. Este fenómeno produce inestabilidad de la presión en dichas zonas. Cuando se trata de recirculación en la aspiración, es importante prevenirla ya que afecta en la aparición de cavitación.

9. ANÁLISIS TEÓRICO DE BOMBAS CENTRÍFUGAS

9.1. Introducción

El análisis teórico de las bombas centrífugas se realiza principalmente siguiendo el análisis realizado en el libro “Centrifugal Pump Design [11]”, y también empleando otros recursos que también son referenciados.

Este análisis parte del cálculo del trabajo teórico desarrollado por el rotor y suministrado al fluido. Posteriormente se calculan todas las pérdidas principales que puede tener una bomba centrífuga para finalmente restarlas al trabajo teórico y obtener la curva H-Q real teórica de la bomba y la eficiencia de la bomba a través de una fórmula empírica.

9.2. Parámetros de las bombas centrífugas

A continuación se describen todos los parámetros que se tienen en cuenta en el análisis teórico de las bombas centrífugas.

En primer término, se hace mención a los parámetros geométricos del rotor y del difusor.

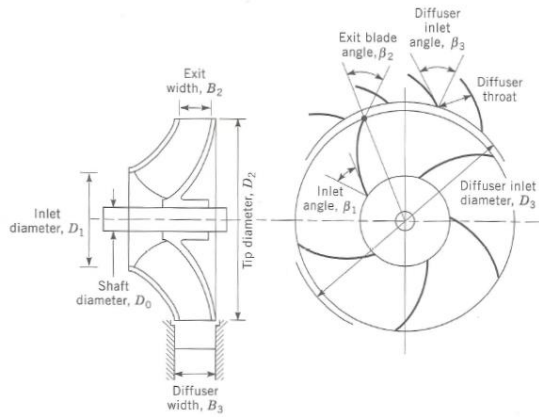


Ilustración 1.9.2.1.

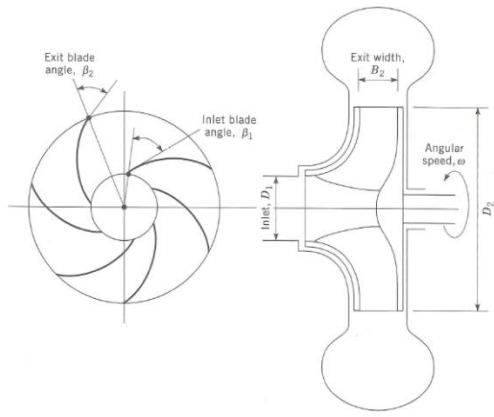


Ilustración 1.9.2.2.

D_1 : Diámetro de entrada

D_2 : Diámetro del rotor

D_3 : Diámetro de la entrada en el difusor

D_0 o D_s : Diámetro del eje

B_2 : Ancho de salida del rotor

B_3 : Ancho del difusor

β_1 : Ángulo del álabe de entrada

β_2 : Ángulo del álabe de salida

β_3 : Ángulo del difusor de entrada

Las velocidades del flujo existentes en una bomba centrífuga se definen a continuación:

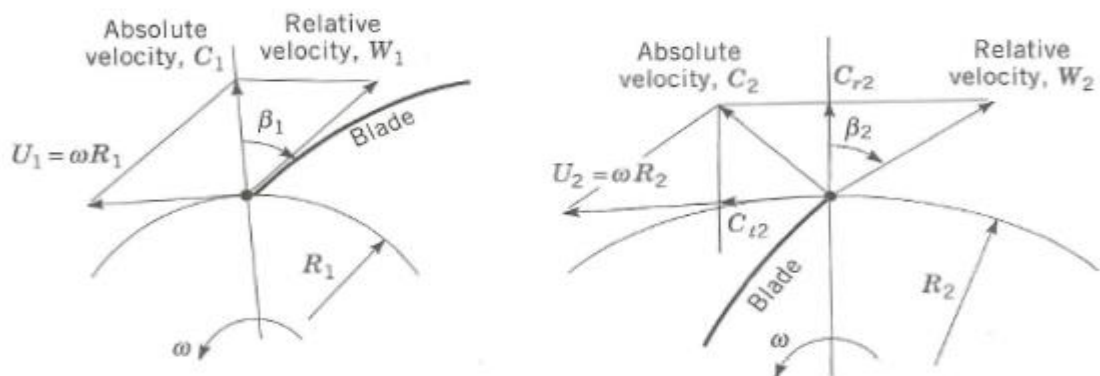


Ilustración 1.9.2.3.

u_1 : Velocidad tangencial de entrada del rotor

c_1 : Velocidad absoluta de entrada del rotor

w_1 : Velocidad relativa de entrada del rotor

β_{1F} : Ángulo del flujo en la entrada del rotor

u_2 : Velocidad tangencial de entrada del rotor

c_2 : Velocidad absoluta de salida del rotor

c_{2r} : Velocidad absoluta radial de salida del rotor

c_{2t} : Velocidad absoluta tangencial de salida del rotor

w_2 : Velocidad relativa de salida del rotor

w_{2r} : Velocidad relativa radial de salida del rotor

w_{2t} : Velocidad relativa tangencial de salida del rotor

β_{2F} : Ángulo del flujo en la salida del rotor

9.3. Trabajo teórico del rotor

El trabajo teórico del rotor es la energía teórica que el rotor imparte al fluido, H_{th} . Éste se puede calcular aplicando el principio de conservación del Momento Angular ($\rho r C_t$) que, aplicado a bombas, se conoce con el nombre de Ecuación de Euler. La gráfica que muestra el trabajo teórico (eje de ordenadas) frente al caudal (eje de abscisas), tiene forma de recta descentente con el aumento de caudal.

El desarrollo del cálculo, suponiendo que no existe pre-rotación, según como está realizado en Centrifugal Pump Design [11]:

Considerando un Volumen de Control con forma anular de radio de entrada r_1 y de salida r_2 , el par aplicado al fluido, T , por el rotor es igual a la diferencia entre el momento angular a la entrada y a la salida:

$$T = Q(\rho C_{t2} r_2 - \rho C_{t1} r_1) \quad (\text{ec.1.9.3.1.})$$

Por tanto, la Potencia, P, queda de la siguiente forma:

$$P = T\omega = \rho Q H_{th} g \quad (\text{ec. 1.9.3.2.})$$

El trabajo teórico queda como sigue:

$$H_{th} = \frac{(C_{t2}r_2 - C_{t1}r_1)\omega}{g} \quad (\text{ec. 1.9.3.3.})$$

Pero se puede simplificar, considerando que no existe momento angular en la aspiración ($\rho r_1 C_{t1} = 0$), ya que las bombas normalmente se diseñan para que no exista momento angular en la aspiración. Sustituyendo $U_2 = \omega r_2$ y simplificando queda de la siguiente manera:

$$H_{th} = \frac{U_2 c_{t2}}{g} = \frac{U_2^2 \sigma - U_2 W_{r2} \tan(\beta_2)}{g} \quad (\text{ec. 1.9.3.4.})$$

En el segundo término de la ecuación se observa un nuevo coeficiente (σ). Este coeficiente se conoce como coeficiente de resbalamiento o “slip coefficient”. La aplicación de este coeficiente se debe a que el flujo no sigue la misma dirección que los álabes del rotor. El ángulo de salida del flujo, β_{F2} , difiere del ángulo de salida del álabe, β_2 . Esto se debe a que la velocidad relativa de salida W_2 está ligeramente inclinada respecto a la teórica. En la Ilustración 1.9.3.1. se puede observar esta inclinación de la dirección del flujo, mientras que en la Ilustración 1.9.3.2. se puede observar el triángulo de velocidades resultante.

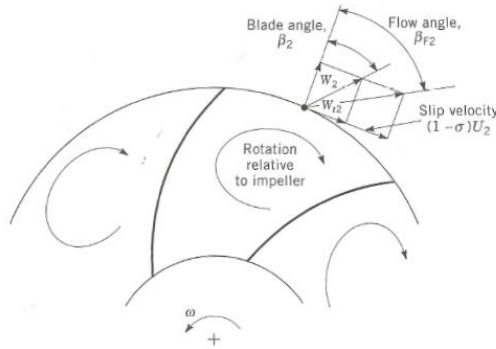


Ilustración 1.9.3.1.

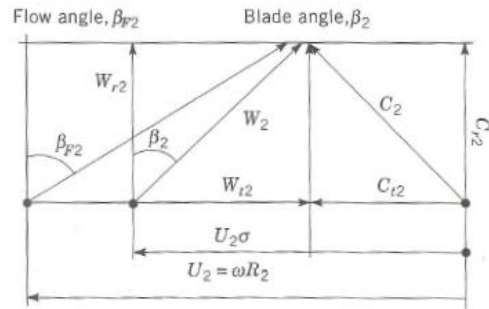


Ilustración 1.9.3.2.

Las velocidades en la salida quedarían de la siguiente forma:

$$C_{t2} = U_2 - W_{r2} \tan(\beta_{F2}) = U_2\sigma - W_{r2} \tan(\beta_2) \quad (\text{ec. 1.9.3.5.})$$

$$W_{r2} = C_{r2} = \frac{Q}{\pi D_2 B_2} \quad (\text{ec. 1.9.3.6.})$$

Respecto a la velocidad relativa tangencial, W_{t2} , a diferencia de en la bibliografía [11], en el programa se emplea esta velocidad considerando deslizamiento, es decir, el ángulo β_{F2} del flujo, y no el ángulo de salida del álabe. Por eso mismo, aunque se designe igual que en las Ilustraciones 1.9.3.1. y 1.9.3.2., y en la bibliografía, la velocidad relativa tangencial corresponde a la velocidad relativa aplicando el factor de deslizamiento. Por lo tanto, la velocidad queda de la siguiente forma:

$$W_{t2} = W_{r2} \tan(\beta_2) + (1 - \sigma)U_2 \quad (\text{ec.1.9.3.7.})$$

El factor de resbalamiento, según la bibliografía [14], sigue la siguiente fórmula empírica:

$$\sigma = 1 - \frac{[\sin(90^\circ - \beta_2)]^{1/2}}{Z^{0,7}} \quad (\text{ec. 1.9.3.8.})$$

siendo,

Z: Número de álabes

9.4. Pérdidas

9.4.1. Incidencia

Las pérdidas de incidencia, denominadas en inglés “incidence” o “shock losses”, se calculan en la entrada de la bomba y se calculan suponiendo una separación repentina del flujo en los álabes y una mezcla posterior de flujos separados como se muestra en la Ilustración 1.9.4.1.1.:

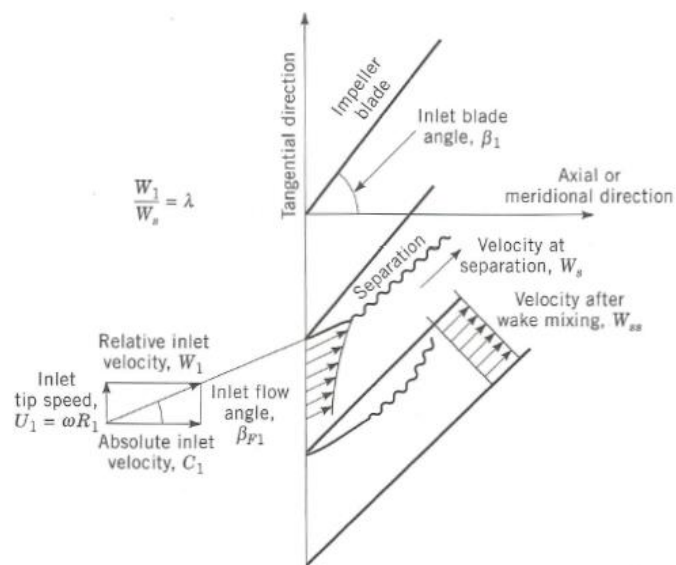


Ilustración 1.9.4.1.1.

Estas pérdidas aparecen por la diferencia de ángulos entre el ángulo del álabe en la entrada β_1 , y el ángulo del flujo para ese determinado caudal β_{F1} . Por lo tanto, las pérdidas de incidencia serán mínimas para el caudal de diseño de la

bomba en el que los ángulos deben coincidir en un buen diseño de la bomba. Para caudales superiores al de diseño, la separación se produce en el lado de presión del álabe, al contrario que para caudales menores al de diseño. La separación en el lado de presión del álabe siempre es inestable pero se mezcla rápido, mientras que en el lado de depresión es estable y puede ser muy duradera y acarrear mayores pérdidas.

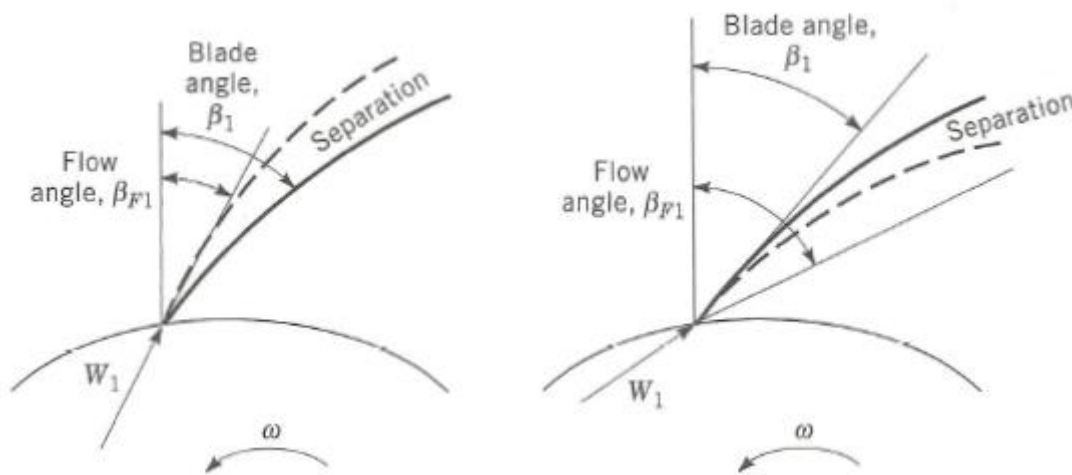


Ilustración 1.9.4.1.2.

La gráfica de las pérdidas de incidencia frente al caudal es de la siguiente manera, con un mínimo aproximadamente en el caudal de diseño de la bomba:

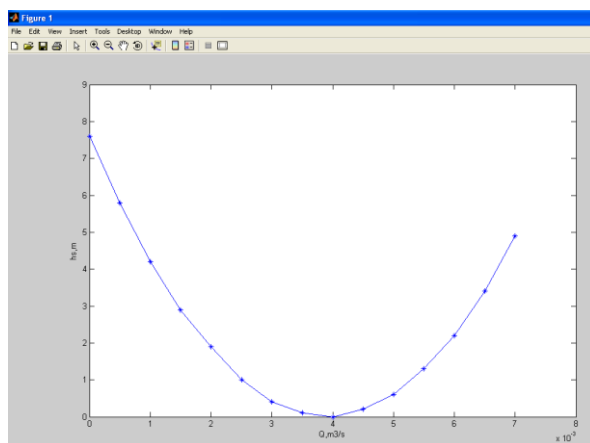


Ilustración 1.9.4.1.3.

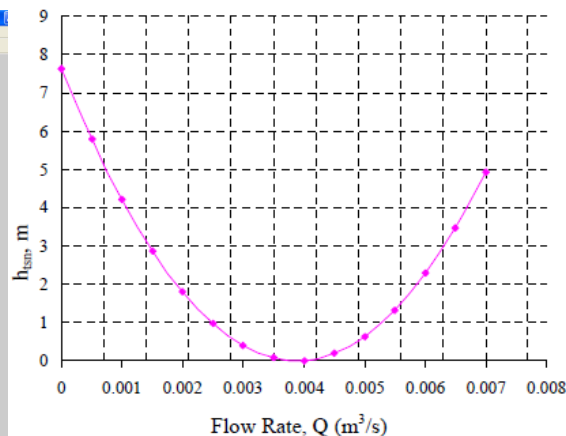


Ilustración 1.9.4.1.4.

La relación λ relaciona la velocidad de entrada en el rotor, W_1 , con la velocidad en la separación del flujo, W_s :

$$\lambda = \frac{W_1}{W_s} = \frac{\cos(\beta_{F1})}{\cos(2\beta_{F1} - \beta_1)} - \left\{ \frac{\cos(\beta_{F1})^2 - \cos(\beta_1) \cos(2\beta_{F1} - \beta_1)}{[\cos(2\beta_{F1} - \beta_1)]^2} \right\}^{1/2} \quad (\text{ec.1.9.4.1.1.})$$

La velocidad W_{ss} es la velocidad tras la zona de separación del flujo, donde los flujos separados se han mezclado y la distribución de velocidad es uniforme:

$$W_{ss} = W_1 \frac{\cos(\beta_{F1})}{\cos(\beta_1)} \quad (\text{ec. 1.9.4.1.2.})$$

La pérdida por incidencia en la entrada de la bomba, sigue una expresión de la siguiente forma:

$$D_{Q;in12} = \frac{W_s^2}{2g} \left(1 - \frac{W_{ss}}{W_s} \right)^2 \quad (\text{ec. 1.9.4.1.3.})$$

El cálculo de las pérdidas de incidencia no incluye ningún coeficiente empírico. Se supone el borde del álabe en la entrada completamente axial y también una distribución axial de la velocidad. En caso de bordes axiales con inclinación, se debe suponer un ángulo de entrada del álabe aproximado. Para mayor exactitud en el cálculo se debería realizar un análisis tridimensional.

9.4.2. Rozamiento de superficie

Las pérdidas por rozamiento con la superficie, en inglés “wall friction” o “skin friction”, se producen en el rotor y difusor o voluta. Estas pérdidas se

calculan siguiendo el método de cálculo para pérdidas por fricción en tuberías según el Hydraulic Institute [15]. Se emplea el radio hidráulico y una velocidad media para secciones irregulares.

Las pérdidas por rozamiento con la superficie, se calculan mediante la siguiente ecuación:

$$D_{Q;sf} = c_{sf} \left[\frac{D_2 - D_1}{2\cos(\beta_2)} \times \frac{1}{D_{hyd}} \times \frac{(W_2 + W_1)^2}{4g} \right] \quad (\text{ec.1.9.4.2.1.})$$

Siendo C_{sf} el coeficiente de rozamiento y D_{hyd} la distancia perpendicular a la superficie del álabe, que se calcula por la siguiente ecuación:

$$D_{hyd} = B \frac{\pi D_2 / Z \times \cos(\beta_2)}{B + \pi D_2 / Z \times \cos(\beta_2)} \quad (\text{ec. 1.9.4.2.2.})$$

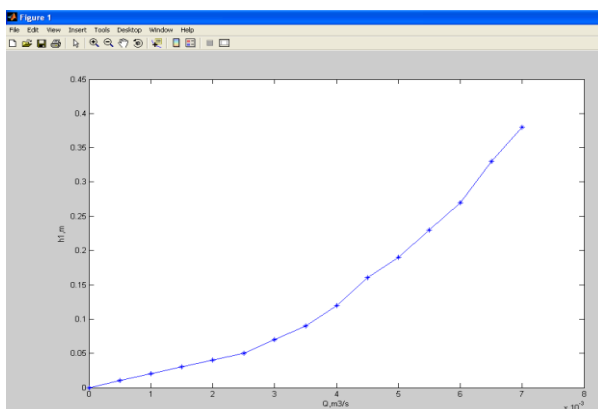


Ilustración 1.9.4.2.1.

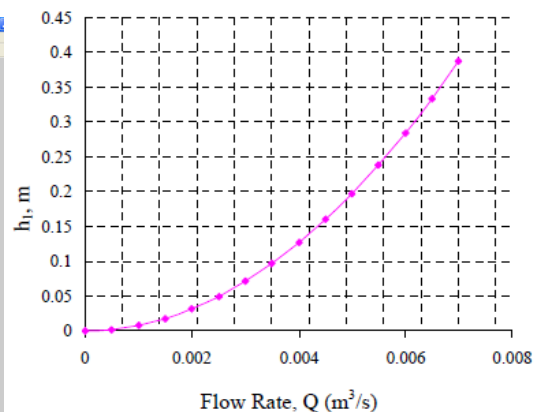


Ilustración 1.9.4.2.2.

9.4.3. Pérdidas por difusión

Las pérdidas por difusión, en inglés “diffusion loss”, aparecen cuando se produce separación del flujo en alguna zona del rotor. En los cálculos del programa, al igual que en la bibliografía [11], se asume que si el ratio de velocidades relativas a la entrada y salida: W_1/W_2 supera un valor de 1,4, parte de la carga de velocidad se pierde siguiendo la siguiente ecuación:

$$D_{Q;dif} = \frac{0,25 \times W_1^2}{2g} \quad (\text{ec. 1.9.4.3.1.})$$

9.4.4. Pérdidas de presión en la voluta

Las pérdidas de presión en la voluta, en inglés “volute head loss”, se deben a la diferencia de velocidades entre la velocidad a la salida del rotor y la velocidad en la garganta de la voluta. Estas pérdidas se producen cuando la velocidad en las cercanías de la garganta de la voluta, es superior a la velocidad en la garganta, perdiéndose la diferencia de carga de velocidad [16,17].

La velocidad en la cercanía de la voluta, C_3 se calcula considerando conservación del momento angular, y asumiendo que la velocidad a la salida del rotor C_{t2} disminuye en función del radio. Por lo tanto, la velocidad en la cercanía de la voluta es:

$$C_3 = C_{t2} \frac{D_2}{D_3} \quad (\text{ec. 1.9.4.4.1.})$$

Por otro lado, la velocidad en la garganta de la voluta, se calcula a partir del caudal y de la sección de la garganta:

$$C_{Q3} = \frac{Q}{2\pi R_3 B_3 \cos(\beta_3)} \quad (\text{ec. 1.9.4.4.2.})$$

Finalmente, la pérdida de presión en la voluta, queda de la siguiente manera:

$$D_{Q;in23} = 0,8 \frac{(c_3^2 - c_{Q3}^2)}{2g} \quad (\text{ec. 1.9.4.4.3.})$$

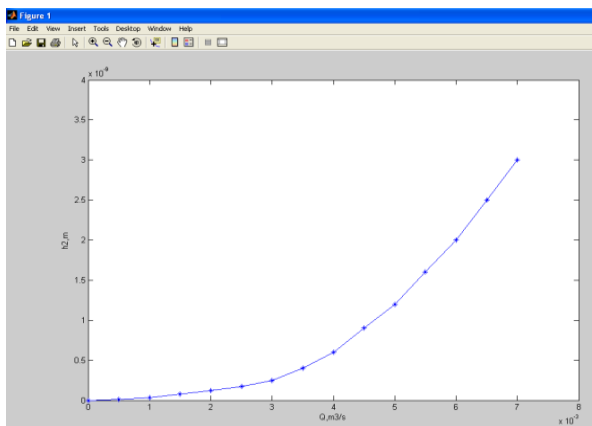


Ilustración 1.9.4.4.1.

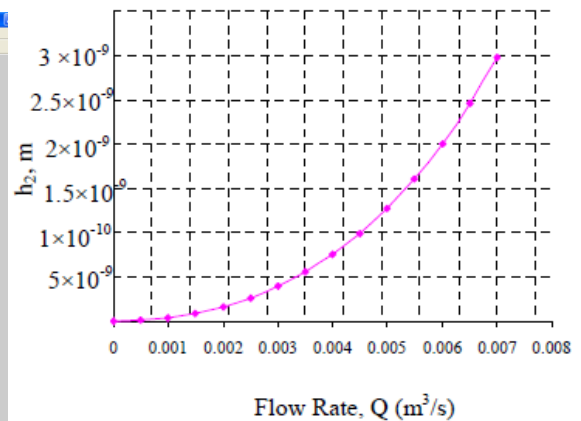


Ilustración 1.9.4.4.2.

9.4.5. Difusor

La pérdida en el difusor, en inglés “difusser loss”, se calcula estimando un coeficiente de recuperación, C_{vd} . La ecuación para el cálculo de las pérdidas en el difusor es la siguiente:

$$D_{Q;vd} = c_{vd} \left(\frac{c_{Q3}^2}{2g} \right) \quad (\text{ec. 1.9.4.5.1.})$$

9.4.6. Rozamiento del disco

La pérdida por rozamiento del disco, en inglés “disk friction loss”, se considera una pérdida parásita que se añade a la carga hidráulica para el cálculo de la demanda de potencia. El cálculo se realiza mediante la ecuación planteada en [18]:

$$D_{fh} = \frac{c_{df} \rho \omega^3 (D_2/2)^5}{Q} \quad (\text{ec. 1.9.4.6.1.})$$

siendo C_{df} , el coeficiente de rozamiento del disco.

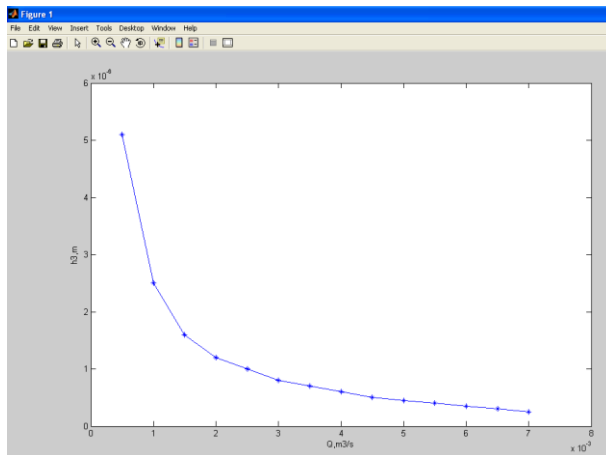


Ilustración 1.9.4.6.1.

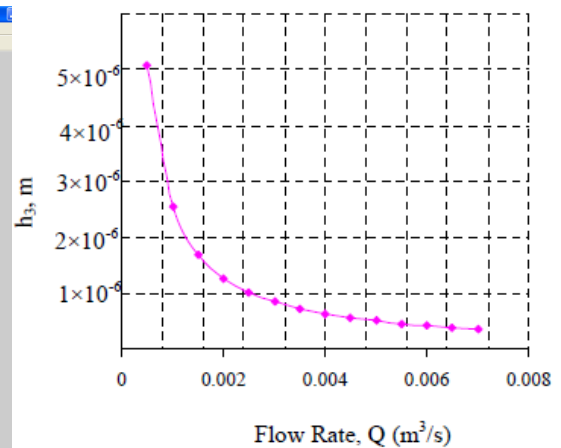


Ilustración 1.9.4.6.2.

9.4.7. Recirculación

La pérdida por recirculación, en inglés “recirculation loss” también es una pérdida parásita, que se produce en la aspiración de la bomba. Para el cálculo se aplica la Ecuación empleada en [19] que es de la siguiente forma:

$$D_{rec;h} = c_{rec} \omega^3 (R_1^2 - R_s^2)^{2,5} \left(1 - \frac{Q}{Q_0}\right)^{2,5} \quad (\text{ec. 1.9.4.7.1.})$$

siendo C_{rec} el coeficiente de recirculación. Este coeficiente depende de la línea de aspiración de la bomba además de la geometría en la aspiración.

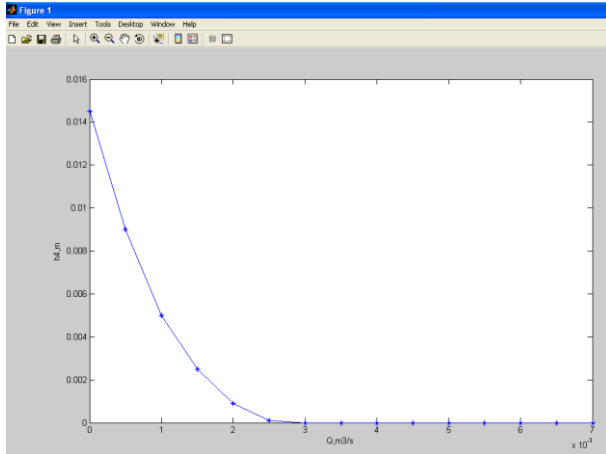


Ilustración 1.9.4.7.1.

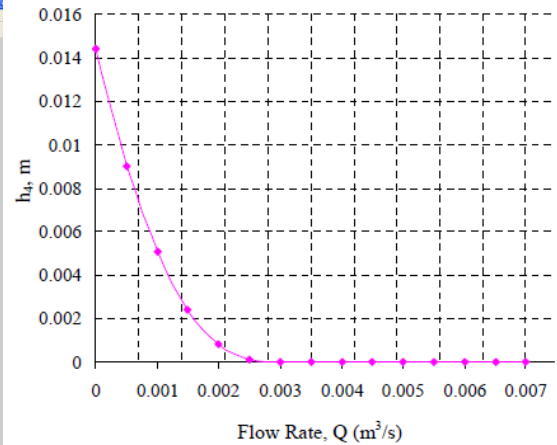


Ilustración 1.9.4.7.2.

9.4.8. Fugas del flujo

Las fugas del flujo, en inglés “leakage flow rate”, se producen en el espacio del anillo de desgaste en la aspiración. Normalmente estas fugas corresponden entre el 1-2 % del caudal total.

Para el cálculo se emplea la ecuación de un orificio simple, tomando como grosor del espacio 0,125 mm [11]. La diferencia de presión se supone la carga teórica menos la cuarta parte de la carga de velocidad de salida. La ecuación para calcularlas es como sigue:

$$Q_L = C_{con}(0,000125\pi D_1) \left[2g \left(H_{th} - \frac{C_2^2}{2g} + \frac{C_1^2}{2g} - \frac{1/8 \omega^2 (R_2^2 - R_1^2)}{2g} \right) \right] \quad (\text{ec. 1.9.4.8.1})$$

siendo C_{con} , el coeficiente de contracción.

9.5. Carga de la bomba

La carga de la bomba, en inglés “pump head”, se calcula restando a la carga teórica todas las pérdidas no parásitas. El cálculo queda de la siguiente forma:

$$D_H = H_{th} - (D_{Q;in12} + D_{Q;sf12} + D_{Q;sf23} + D_{Q;in23} + D_{Q;dif} + D_{Q;sf34} + D_{Q;vd}) \quad (\text{ec.1.9.5.1})$$

9.6. Eficiencia

La eficiencia de la bomba se calcula teniendo en cuenta la carga teórica y real además de las pérdidas parásitas y las fugas de flujo. Por lo tanto el cálculo de la eficiencia se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$\varepsilon = 100 \times \frac{D_H}{H_{th} + D_{fh} + D_{rec;h}} \times \frac{Q}{Q + Q_L} \quad (\text{ec. 1.9.6.1.})$$

10. BANCOS DE BOMBAS

10.1. Introducción

Un banco de bombas es una instalación, fija, desmontable o móvil que se emplea en la obtención de las curvas características de una bomba, así como en el conocimiento de los límites de una bomba.

Existen bancos de bombas que se emplean con fines académicos, sobre todo en el ámbito de la Mecánica de Fluidos y la Hidráulica. Este tipo de bancos normalmente permiten estudiar el comportamiento de las bombas, así como también de ciertos elementos de regulación y control. Además suelen tener más de una bomba, y permiten cambiar la configuración de estas (aisladas, en paralelo, en serie) mediante válvulas.

También existen varios tipos de Bancos de Bombas según su construcción. El que ocupa el presente Proyecto, es del tipo de Lazo cerrado con calentador, empleado para la obtención del NPSH de la bomba y de las curvas

características, por lo que se obvian los otros tipos que no son objeto del presente Proyecto.

Este tipo de Banco de Bombas, tiene como particularidad principal el estar compuesto por un solo tanque, al cual se recircula el fluido. Además este tanque, tiene un calentador (Intercambiador o resistencia) que calienta el fluido y así se consigue la disminución del $NPSH_A$ de la instalación con el aumento de la temperatura.

Al tratarse de un Banco de Bombas para el cálculo del NPSH, la presión debe medirse mediante dos manómetros independientes (uno en la aspiración y uno en la descarga), y no uno diferencial. Esto se debe a que para el cálculo del NPSH, se debe conocer la presión absoluta en la aspiración.

El banco se va a emplear para bombas de varios tamaños, por lo cual se opta por un diseño único con tramos intercambiables para cada bomba en la aspiración y descarga de la misma.

10.2. Elementos

10.2.1. Tanque

El tanque es el recipiente que contiene el fluido con el que se van a probar las bombas, normalmente agua. El tanque debe suministrar un caudal constante a la instalación, así como mantener el nivel constante e intentando que las turbulencias en su interior provocadas por la descarga de fluido en chorro, sean mínimas con el objeto de un funcionamiento estable de la bomba para la toma de datos. Asimismo, en el tanque es favorable instalar un dispositivo desgasificador para eliminar todo gas incondensable contenido en el fluido.

Con el objeto de reducir las turbulencias en su interior, se recomienda el empleo de placas deflectoras que, al mismo tiempo cumplen la función de mezcla del fluido, junto con un agitador de fluido. Esta mezcla permite obtener una temperatura homogénea del fluido en el tanque y evitando así fluctuaciones de temperatura.

Por último, el tanque debe tener válvulas de vaciado y relleno, así como un nivel (o ser de un material translúcido) para controlar el nivel y cantidad de fluido en su interior.

10.2.2. Elementos de medición

10.2.2.1. Manómetro aspiración

La medición de la presión en la aspiración, se realiza mediante un manómetro. La característica principal de este manómetro debe ser el rango útil del mismo que se debe situar en el rango de presiones de la aspiración. Se recomienda que este rango corresponda al 40 % del rango de medición. Otra característica importante es que las divisiones no correspondan a una fracción elevada de la carga de la bomba. Se opta por disponer de dos, uno para las pruebas de NPSH y otro para las pruebas de las curvas características.

10.2.2.2. Manómetro descarga

Las características del manómetro de descarga corresponden con las del manómetro de aspiración, aunque más acentuadas ya que el rango de presiones en la descarga normalmente es superior al de la aspiración.

10.2.2.3. Termómetro

El termómetro tiene la función de medir la temperatura en la aspiración de la bomba. Esta temperatura es importante en el cálculo del NPSH para el conocimiento de la presión de vapor del fluido.

10.2.2.4. Caudalímetro

El caudalímetro realiza la medición del caudal. Éste se sitúa en la descarga y es importante que todo el flujo pase a través de él.

10.2.2.5. Vatímetro

El vatímetro tiene la función de la medición de la potencia. Al tratarse de bombas trifásicas, el vatímetro debe medir la potencia de las tres fases.

10.2.2.6. Tacómetro

El tacómetro mide las revoluciones de trabajo de la bomba. Hay varios tipos en el mercado, según las necesidades.

10.2.3. Válvulas

La instalación debe disponer un mínimo de 2 válvulas para el control y regulación del caudal y presión. Estas válvulas se encuentran una en la aspiración y otra en la descarga. Otra válvula secundaria regula el caudal al desgasificador.

10.2.4. Otros elementos

10.2.4.1. Desgasificador

Se trata de una “ducha” en la que el fluido es pulverizado, desprendiendo así gases incondensables que pueda contener.

10.2.4.2. Calentador

El calentador es un elemento que calienta el fluido en el tanque. Hay dos tipos principales de calentadores: eléctrico e intercambiador de calor. En el presente Proyecto se considera el primero.

10.2.4.3. Agitador

Se trata de un elemento del tanque. El agitador se encarga de que se haga una buena mezcla del flujo en el interior del misma, garantizando una temperatura lo más homogénea posible en el interior del mismo y así evitar variaciones en la temperatura durante las mediciones.

10.2.5. Parte eléctrica

La parte eléctrica del Banco de Bombas, no se considera en el presente Proyecto. El motivo de esto se debe a que la empresa Gefico tiene cuadros eléctricos para sus equipos y, diseña y construye sus propios cuadros eléctricos. La empresa, en las condiciones del presente Proyecto, no ha requerido ningún estudio de la parte eléctrica. Por estos motivos no es necesario el estudio de la parte eléctrica más allá de la instrumentación electrónica.

10.3. Diseño

Es importante que existan unas buenas condiciones del flujo en las secciones de medición. El flujo debería tener unas características concretas:

- Distribución axial de la velocidad simétrica.
- Distribución de la presión estática uniforme.
- La ausencia de remolinos inducidos por la instalación.

Se puede evitar una mala distribución de la velocidad o la formación de remolinos evitando en lo posible cualquier codo o combinación de éstos, cualquier expansión o discontinuidad en las proximidades de la sección de medición.

Los remolinos también se pueden evitar mediante:

- Un diseño cuidadoso de la línea aguas abajo.
- El empleo de un rectificador del flujo.
- Una colocación correcta de los medidores de presión.

10.4. Teoría

A continuación, se muestran las fórmulas empleadas para el cálculo de las curvas características y NPSH de las bombas probadas en el Banco de Bombas. Estas fórmulas se aplican en la Hoja de cálculo de Excel. Este apartado de la Memoria, debe ser entendido en conjunto con el apartado “2.3.1. Contenido de las celdas” del documento Anexos, así como con la propia Hoja de cálculo.

10.4.1.1. Velocidad angular

$$\omega = 2\pi n \quad (\text{ec. 1.10.4.1.1.1.})$$

siendo n , la velocidad de rotación

10.4.1.2. Caudal volumétrico

$$\dot{Q} = \frac{\dot{q}}{\rho} \quad (\text{ec. 1.10.4.1.2.1.})$$

siendo,

\dot{q} , el caudal másico

ρ , la densidad del fluido

10.4.1.3. Velocidad media

Valor medio de la velocidad axial del flujo

$$U = \frac{Q}{A} \quad (\text{ec. 1.10.4.1.3.1.})$$

siendo A , el área de la sección de referencia

10.4.1.4. Energía cinética

Es la energía del fluido en movimiento, y se representa como:

$$\frac{U^2}{2g} \quad (\text{ec. 1.10.4.1.4.1.})$$

10.4.1.5. Carga total de la bomba

Es la diferencia entre la carga en la decarga y en la aspiración de la bomba.

$$H = z_2 - z_1 + \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + \frac{U_2^2 - U_1^2}{2g} \quad (\text{ec. 1.10.4.1.5.1.})$$

siendo z, la altura de la medición sobre el plano de referencia.

Para bombas centrífugas horizontales, la carga total de la bomba queda de la siguiente forma:

$$H = z_2' - z_1' + z_{M2'} - z_{M1'} + \frac{p_{M2'} - p_{M1'}}{\rho g} + \frac{U_2'^2 - U_1'^2}{2g} + H_{J2} + H_{J1} \quad (\text{ec. 1.10.4.1.5.2.})$$

siendo z, las alturas; p, las presiones medidas; U, las velocidades en los puntos ilustrados en la Ilustración 1.10.4.1.5.1. Mientras que H_{J2} y H_{J1} son las pérdidas de carga entre la toma de mediciones y los planos de referencia. Estas pérdidas de carga se calculan mediante la Ecuación de Darcy-Weisbach:

$$H_j = \lambda \frac{L}{D} \times \frac{U^2}{2g} \quad (\text{ec. 1.10.4.1.5.3.})$$

donde,

λ : factor de fricción

L: longitud de la sección desde el plano de medición hasta el plano de referencia

D: diámetro de la tubería

Para el cálculo del factor de fricción se utiliza la Ecuación de Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left(\frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3,7D} \right) \quad (\text{ec. 1.10.4.1.5.4.})$$

donde,

Re: Número de Reynolds

k: la rugosidad uniforme

La rugosidad uniforme de tuberías se puede extraer de la siguiente Tabla:

Commercial pipe (new) material	Equivalent uniform roughness, k , of the surface mm
Glass, drawn brass, copper or lead	smooth
Steel	0,05
Asphalted cast iron	0,12
Galvanized iron	0,15
Cast iron	0,25
Concrete	0,30 to 3,0
Riveted steel	1,0 to 10,0

Tabla 1.10.4.1.5.1.

El cálculo del Número de Reynolds se realiza mediante:

$$Re = \frac{UD}{\nu} \quad (\text{ec. 1.10.4.1.5.5.})$$

donde ν , es la viscosidad cinemática:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (\text{ec. 1.10.4.1.5.6.})$$

Donde μ es la viscosidad dinámica del fluido

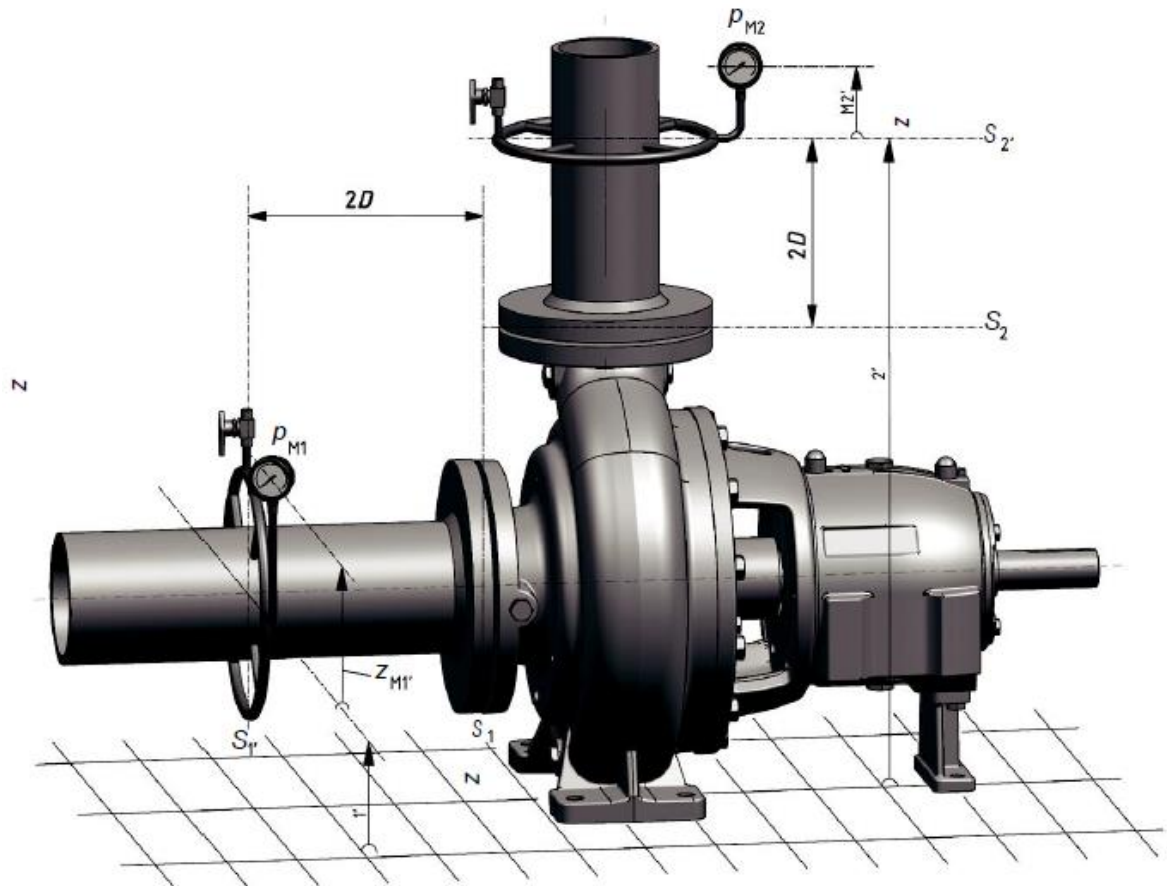


Ilustración 1.10.4.1.5.1.

10.4.1.6. NPSH

Carga de entrada sobre la presión de vapor relativa al plano de referencia.

$$NPSH = H_1 - z_D + \frac{p_{amb} - p_v}{\rho g} \quad (\text{ec. 1.10.4.1.6.1.})$$

Siendo,

p_{amb} : presión de ambiente

p_v : presión de vapor del fluido

10.4.1.7. Potencia de salida de la Bomba

Es la potencia hidráulica de la descarga de la bomba

$$P_H = \rho Q g H \quad (\text{ec. 1.10.4.1.7.1.})$$

10.4.1.8. Eficiencia de la bomba

$$\eta = \frac{P_H}{P_2} \quad (\text{ec. 1.10.4.1.8.1.})$$

siendo P_2 la potencia de entrada de la bomba

10.4.1.9. Eficiencia del conjunto

$$\eta_{gr} = \frac{P_H}{P_{gr}} \quad (\text{ec. 1.10.4.1.9.1.})$$

siendo P_{gr} , la potencia de entrada del motor

10.4.2. Incertidumbre en las mediciones

10.4.2.1. Aleatoria

Esta incertidumbre se produce por las características del sistema de medición empleado o bien por las variaciones de la cantidad medida o una combinación de ambas. Este tipo de incertidumbre es posible reducirlo aumentando el número de mediciones bajo las mismas condiciones.

Se establece un mínimo de tres mediciones en cada punto de la prueba. Esta incertidumbre se calcula a partir de la media y la desviación estándar de las mediciones. La incertidumbre se calcula como sigue:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i \quad (1.10.4.2.1.1.)$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})^2} \quad (1.10.4.2.1.2.)$$

$$e_R = 100 \frac{ts}{\bar{x}\sqrt{n}} \% \quad (1.10.4.2.1.3.)$$

Donde t , se obtiene de la Tabla 1.10.4.2.1.1.:

n	t	n	t
3	4,30	12	2,20
4	3,18	13	2,18
5	2,78	14	2,16
6	2,57	15	2,14
7	2,45	16	2,13
8	2,36	17	2,12
9	2,31	18	2,11
10	2,26	19	2,10
11	2,23	20	2,09

Tabla 1.10.4.2.1.1.

10.4.2.2. Conjunto

La incertidumbre del conjunto tiene en cuenta la incertidumbre aleatoria, e_R , y la incertidumbre de los instrumentos de medición, e_S .

$$e = \sqrt{e_R^2 + e_S^2} \quad (\text{ec.10.4.2.2.1.})$$

10.4.2.3. Eficiencia del conjunto

La incertidumbre de la eficiencia se puede calcular con diferentes fórmulas dependiendo de los parámetros que se tengan en cuenta:

$$e_{\eta gr} = \sqrt{e_Q^2 + e_H^2 + e_{Pgr}^2} \quad (\text{ec. 1.10.4.2.3.1.})$$

- Par, velocidad y velocidad de rotación:

$$e_{\eta} = \sqrt{e_Q^2 + e_H^2 + e_T^2 + e_n^2} \quad (\text{ec. 1.10.4.2.3.2.})$$

- Potencia de entrada de la bomba:

$$e_{\eta} = \sqrt{e_Q^2 + e_H^2 + e_P^2} \quad (\text{ec. 1.10.4.2.3.3.})$$

10.4.3. Extrapolación de resultados a las condiciones de garantía

Dado que normalmente, las mediciones se realizan en condiciones ligeramente diferentes al punto de garantía, hay unas fórmulas que permiten convertir los resultados como si se realizaran en el punto de garantía. Esta conversión se realiza para ajustar a la velocidad de rotación de garantía, n_{sp} , la velocidad de rotación medida, n . Las fórmulas para el Caudal, Carga, Potencia y Eficiencia, son como siguen:

$$Q_T = Q \frac{n_{sp}}{n} \quad (\text{ec. 1.10.4.3.1.})$$

$$H_T = H \left(\frac{n_{sp}}{n} \right)^2 \quad (\text{ec. 1.10.4.3.2.})$$

$$P_T = P \left(\frac{n_{sp}}{n} \right)^3 \quad (\text{ec. 1.10.4.3.3.})$$

$$\eta_T = \eta \quad (\text{ec. 1.10.4.3.4.})$$

Para la extrapolación del $NPSH_R$, se emplea la siguiente ecuación:

$$NPSH_{R_T} = NPSH_R \left(\frac{n_{sp}}{n} \right)^x \quad (\text{ec. 1.10.4.3.5.})$$

donde $x = 2$ siempre que se cumpla el rango que aparece en el Pliego de Condiciones en el apartado 2.3.3.6. Aun así puede ser igual a 1 o 3, en caso de que se acuerde entre el comprador y el fabricante de las bombas.

10.5. Tolerancias

En la norma ISO 9906:2012 se establece para cada grado de tolerancia, unas tolerancias que se deben cumplir. Pueden ser unilaterales o bilaterales. En el caso del presente Proyecto, tratándose de un grado 2B, se establecen una serie de tolerancias bilaterales, que se pueden ver en el apartado 2.3.2. del Pliego de Condiciones.

Estas tolerancias se aplican al punto de garantía suministrado por el fabricante de las bombas. Es de obligación cumplir las tolerancias de caudal así como de carga de la bomba. Sin embargo, es opcional el cumplir las tolerancias de rendimiento y potencia.

Para la comprobación del cumplimiento de las tolerancias, éstas se aplican al punto de garantía, y la curva trazada según las mediciones, debe interseccionarse con al menos una de las dos tolerancias (H-Q) o con las tolerancias de Potencia y Rendimiento.

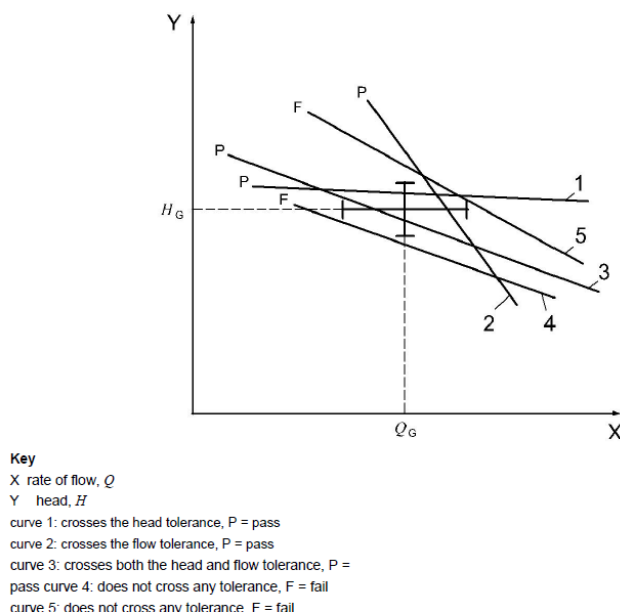


Ilustración 1.10.5.1.

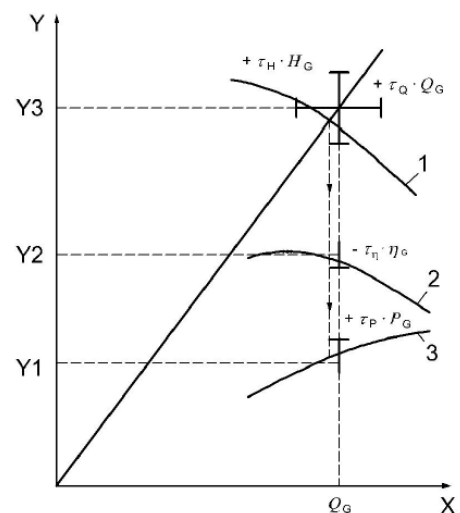


Ilustración 1.10.5.2.

En la Ilustración 1.10.5.1. se observa en qué casos se cumple la tolerancia H-Q y en cuales no, mientras que en la Ilustración 1.10.5.2. se muestra un caso en el que se cumplen todas las tolerancias.

10.6. Resultados e informe

Los resultados de las pruebas de funcionamiento de las bombas, deben reunirse en un informe conteniendo información detallada identificando la bomba probada y otro tipo de datos. La norma ISO 9906:2012 [46], recomienda una serie de datos que deberían ser incluidos en un informe:

- Grado de tolerancia.
- Gráfica, con los puntos de medición corregidos según lo explicado en el punto 10.4.3 - Extrapolación de resultados a las condiciones de garantía, de la presente Memoria. Además de mostrar el punto de garantía, con las tolerancias según el grado de tolerancia.
- Fecha de la prueba
- Equipo al que se ha realizado la prueba
- Instalación de la prueba y localización
- Temperaturas del ambiente y del agua
- Presión barométrica
- Datos del motor
- Comentarios sobre la prueba

Además, se recomienda incluir una hoja de datos de la prueba, que no debe reunir todos los datos del informe, pero si parte de ellos.

En el apartado 3.3. de los Anexos del presente Proyecto se muestran dos ejemplos de hojas de datos, así como hoja con una gráfica realizada correctamente.

11. REQUISITOS DE DISEÑO

11.1. El cliente

Los representantes del Departamento de Ingeniería de la empresa Gefico Enterprise, S.A., en una reunión mantenida entre ambas partes el día 13 de Julio de 2016, sentaron las bases para el diseño de la Instalación. En dicha reunión se establecieron unos requisitos de diseño a partir de la propuesta elaborada (Ver plano N° 1). En la reunión se discutió la propuesta, quedando los requisitos enunciados en los siguientes apartados. La mayoría de los requisitos están establecidos en relación al coste monetario de la Instalación.

11.1.1. Nivel de tolerancia

El Grado de tolerancia de la Instalación se establece en 2B. Aunque en la tabla de recomendaciones de [46] se recomienda para industria marina el empleo del grado 1B, no se considera necesario tal grado de precisión para las instalaciones en las que van montadas las bombas. Además los compradores no demandan tal nivel de aproximación en los equipos.

11.1.2. Tipo de instalación

El tipo de instalación, se exige que sea de tipo “lazo cerrado”. El principal motivo es el cálculo del NPSH, disminuyéndolo mediante el aumento de la presión de vapor y no mediante una gran altura en la aspiración, que complicaría el diseño de la instalación, además del montaje en el lugar de emplazamiento.

Dentro del tipo de instalación de “lazo cerrado”, la regulación del NPSH, ha de llevarse a cabo mediante la variación de la temperatura del agua y variando la

apertura de la válvula de aspiración. Descartando la creación de vacío en el tanque por aumentar la complejidad así como los costes.

11.1.3. Tanque

El tanque ha de ser de polipropileno y prefabricado, ya que esto abarata los costes tanto por el precio del material como el tiempo de construcción.

11.1.4. Calentador

El calentador ha de ser una resistencia eléctrica, tanto por coste como por falta de una instalación térmica en el lugar de emplazamiento que permita instalar un intercambiador de calor.

11.1.5. Líneas

El material de las líneas será PVC, por coste y facilidad de manejo. Las líneas intercambiables de aspiración serán de plástico transparente para poder ver la presencia de gases en la aspiración. El método de conexión será por bridas.

11.1.6. Instrumentos de medición

Se deben emplear instrumentos analógicos en la medida de lo posible, para abaratar costes. No se descarta el uso de instrumentación electrónica.

11.1.7. Bombas a probar

Las bombas principales que la empresa desea probar son las que van del rango de 0,5 a 10 cv aunque las de menor rango son las que más interesan de

momento. Por lo que se hace especial hincapié en el rango de 0,5 a 4 cv, que son las que se ha tenido en cuenta a la hora del diseño.

11.2. Normativa aplicable

La normativa aplicable al presente proyecto, en su diseño es la norma ISO 9906:2012 [46], siendo de obligado cumplimiento en su total extensión, ya que el presente proyecto se rige por este Estándar.

11.3. Emplazamiento

El emplazamiento seleccionado, es la nave industrial donde tiene base la empresa Gefico Enterprise, S.A. Si bien, en un principio se ha planteado la posibilidad de realizar el montaje de la instalación en la Escuela Técnica de Náutica y Máquinas de Riazor, esta opción se ha descartado por temas económicos, ya que el traslado de material, así como de los técnicos de montaje aumentaría el precio.

11.4. Otros

Un dato de partida importante es que el presente Proyecto, si bien es un proyecto realizado para una empresa, su origen es académico, por lo que se ha de regir por los tiempos establecidos en su origen académico. En este caso, en el primer cuatrimestre (septiembre-enero) hay asignaturas regulares, mientras que el segundo cuatrimestre está ocupado en gran parte por las prácticas. En mi caso, 4 meses (abril-julio) por lo que el desarrollo del proyecto comprende los meses de (enero-abril) y (julio-septiembre). Según el calendario académico, la entrega del proyecto está fechada el 12 de septiembre.

Estos factores, entre otros, como es el cierre de la empresa en agosto, imposibilitaron un alcance del proyecto mayor, como podía ser la puesta a punto de la instalación y la prueba de las bombas.

12. RESULTADOS FINALES

12.1. Banco de Pruebas para Bombas Centrífugas

El resultado final obtenido es un Banco de Pruebas, con tramos intercambiables, destinado a las bombas de 0,5 a 4 cv de la empresa Gefico Enterprise. El Banco puede ser adaptado para bombas de mayor potencia, requiriendo un gasto relativo reducido, debido a que: por una parte, el banco está sobredimensionado; por otra, la mayor parte del material es apto para emplear con mayores potencias.

El Banco de Pruebas está diseñado, y acotado en diversos aspectos. El Banco está definido en el apartado 1.1.2. del Pliego de Condiciones. El resultado es fruto del cálculo realizado en 2.2.2. en los Anexos. Además, el diseño del Banco se comprobar en los Planos N° 1 a 7.



Ilustración 1.12.1.1.

En la Ilustración 1.12.1.1. se observa en perspectiva el resultado final del banco de bombas, realizada con Autodesk Inventor. Es la parte de la instalación fija, respetando las mediciones de los cálculos. Como elementos destacados se observan el caudalímetro y las diferentes válvulas.

El presupuesto asciende a 5431,67 €, con el IVA, beneficio industrial y otros gastos incluidos (Ver presupuesto).

12.2. Hoja de cálculo Excel

El funcionamiento de la Hoja de Cálculo Excel es correcto, los resultados del ejemplo coinciden tanto en el reporte como las gráficas (Ver Anexos) coinciden con los resultados del ejemplo de la Norma [46]. Además se ha añadido más exactitud que a los cálculos de la Norma, ya que se tienen en cuenta siempre las pérdidas de carga entre la medición y el plano de referencia.

12.3. Programa análisis teórico de Bombas Centrífugas

El programa de análisis teórico de bombas centrífugas ofrece unos resultados en forma de gráfica (Ver Anexos). Estas gráficas corresponden tanto en forma como en valores (de forma aproximada) a los vistos en la presente Memoria recogidos en la bibliografía [20, 24]. Se puede, por tanto, concluir que los resultados son razonables y esperados.

13. ORDEN DE PRIORIDAD ENTRE LOS DOCUMENTOS BÁSICOS

Frente a posibles discrepancias, se establece un orden de prioridad de los documentos básicos del presente Proyecto

1. Pliego de condiciones
2. Planos
3. Memoria
4. Presupuesto

“PROYECTO DE BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS CENTRÍFUGAS”

ANEXOS

1. INTRODUCCIÓN	79
2. CÁLCULOS	79
2.1. Programa de análisis teórico de Bombas Centrífugas	79
2.1.1. Datos de entrada (“Inputs”)	
2.1.2. Estructura de cálculo del programa	
2.1.3. Datos de salida (“Outputs”)	
2.1.4. Ejemplo de cálculo	
2.1.4.1. Introducción	
2.1.4.2. Datos de entrada	
2.1.4.3. Resultados	
2.1.4.3.1. Gráficas	
2.1.4.3.1.1. Curva característica	
2.1.4.3.1.2. Pérdidas entrada al rotor	
2.1.4.3.1.3. Pérdidas entrada a la voluta	
2.1.4.3.1.4. Pérdidas por rozamiento	
2.1.4.3.1.5. Pérdidas difusión	
2.1.4.3.1.6. Pérdidas difusor	
2.1.4.3.2. Resultados última iteración	
2.1.4.3.3. Tabla paramétrica	
2.2. Instalación	87
2.2.1. Elementos	
2.2.1.1. Tanque	
2.2.1.2. Diámetro líneas	
2.2.2. Dimensionamiento Instalación	
2.2.2.1. Tanque	
2.2.2.2. Calentador	
2.2.2.3. Agitador	
2.2.2.4. Tomas de la bomba	
2.2.2.5. Línea aspiración	
2.2.2.6. Línea descarga	
2.2.2.7. Tramos intercambiables	
2.2.2.7.1. Bomba 0,5 cv	
2.2.2.7.2. Bomba 1 cv	

2.2.2.7.3.	Bomba 2 cv	
2.2.2.7.4.	Bomba 4 cv	
2.2.3.	Cálculos de pérdidas de carga	
2.3.	Documento Excel de cálculo	95
2.3.1.	Contenido celdas	
2.3.1.1.	Hoja 'Reporte y gráfica'	
2.3.1.2.	Hoja 'NPSH'	
2.3.1.3.	Hoja 'Cálculos'	
2.3.2.	Ejemplo cálculo	
2.3.2.1.	Reportes	
2.3.2.2.	Gráficas	
2.3.2.2.1.	Curvas características	
2.3.2.2.2.	NPSH	
2.3.2.3.	Otros datos de cálculo	
3.	DOCUMENTOS	104
3.1.	Reportes Hoja de cálculo	104
3.2.	Tabla paramétrica ejemplo EES	109
3.3.	Cálculos formateados EES	113

1. INTRODUCCIÓN

En el presente documento se recogen diferentes Anexos. La parte más importante son los cálculos o la programación del programa de análisis teórico de bombas. Aunque también se recoge otra documentación que no se puede enmarcar en los otros documentos básicos del Proyecto.

2. CÁLCULOS

2.1. Programa de análisis teórico de Bombas Centrífugas

2.1.1. Datos de entrada (“Inputs”)

El Programa de análisis teórico de Bombas Centrífugas realiza los cálculos de las curvas características a partir de los siguientes datos de entrada, que se obtienen de los planos de las bombas, mientras que algunos coeficientes pueden ser preseleccionados por el programa:

$D_1; D_2; D_3; \beta_1; \beta_2; \beta_3; B; Z; B_2; B_3; Q_0; N; C_{df}; C_{fs}; C_{rec}; C_{vd}; D_s.$

2.1.2. Estructura de cálculo del programa

La estructura de cálculo del programa sigue las formulaciones planteadas en el Documento Memoria del presente Proyecto en el apartado: “9. ANÁLISIS TEÓRICO DE BOMBAS CENTRÍFUGAS”. La estructura es la siguiente:

"DATOS"

$g=9,8066$ [m/s ²]	"Gravedad"
$\rho=\text{Density}(\text{Water};T=T;P=P)$	"Densidad del agua"
$T=25$ [C]	"Temperatura del agua"
$P=1013$ [kPa]	"Presión ambiente"
$R_1=D_1/2$	"Radio entrada del impulsor"
$R_2=D_2/2$	"Radio exterior del impulsor"
$R_3=D_3/2$	"Radio voluta"
$R_s=D_s/2$	"Radio del eje"
$\omega=N*\text{convert}(\text{rev}/\text{min};\text{rad}/\text{s})$	"Velocidad angular"

"CÁLCULO ALTURA TEÓRICA BOMBA"

$H_{th}=(U_2 \cdot C_{t2})/g$	"Altura teórica de la bomba"
$\sigma=1-((\sin(90[\text{deg}]-\beta_2))^{1/2})/(Z^{0,7})$	"Factor de resbalamiento"
$U_2=\omega \cdot R_2$	"Velocidad tangencial de salida"
$W_2=(W_{r2}^2+W_{t2}^2)^{1/2}$	"Velocidad relativa de salida"
$W_{r2}=Q/(2 \cdot \pi \cdot R_2 \cdot B_2)$	"Velocidad relativa radial de salida"
$W_{t2}=W_{r2} \cdot \tan(\beta_2)+(1-\sigma) \cdot U_2$	"Velocidad relativa tangencial de salida"
$C_2=(C_{r2}^2+C_{t2}^2)^{1/2}$	"Velocidad absoluta de salida"
$C_{r2}=W_{r2}$	"Velocidad absoluta radial de salida"
$C_{t2}=(U_2 \cdot \sigma - W_{r2} \cdot \tan(\beta_2))$	"Velocidad absoluta tangencial de salida"

"PÉRDIDAS"**"Pérdidas de incidencia"**

$$D_{Q_in12}=(\omega_1^2)/(2 \cdot g) \cdot (1/\lambda)^2 \cdot (1-(\lambda \cdot \cos(\beta_{f1}))/\cos(\beta_1))^2$$

"Relación velocidades lambda"

$\lambda=\omega_1/W_s$	
$\lambda=RATIO_1-TERM_1$	
$RATIO_1=\cos(\beta_{f1})/\cos(2 \cdot \beta_{f1}-\beta_1)$	
$TERM_1=O \cdot (((\cos(\beta_{f1}))^2-\cos(\beta_1) \cdot \cos(2 \cdot \beta_{f1}-\beta_1))/(\cos(2 \cdot \beta_{f1}-\beta_1))^2)^{0,5}$	
$O=\text{if}(RATIO_1;0;-1;1;1)$	"Función para tener valor absoluto"
$M=\text{IFW1}(W_1)$	"Función para obtener valor absoluto"
$\omega_1=M \cdot W_1$	"Valor absoluto W_1"
$U_1=\omega \cdot R_1$	"Cálculo U_1"
$C_1=Q/((\pi \cdot (D_1^2-D_s^2))/4)$	"Cálculo C_1"
$\tan(\beta_{f1})=U_1/C_1$	"Cálculo beta_f1"
$\cos(\beta_{f1})=C_1/W_1$	"Cálculo W_1"

"Diámetro hidráulico"

$$D_{hyd12}=B \cdot ((\pi \cdot D_2)/Z \cdot \cos(\beta_2))/(B+((\pi \cdot D_2)/Z) \cdot \cos(\beta_2))$$

"Pérdidas de rozamiento superficial"

$$D_{Q_sf12}=C_{fs} \cdot ((D_2-D_1)/(2 \cdot \cos(\beta_2))) \cdot (1/D_{hyd12}) \cdot (W_2+\omega_1)^2/(4 \cdot g)$$

$D_{Q_dif}=X \cdot (0,25 \cdot \omega_1^2)/(2 \cdot g)$	"Pérdidas de difusión"
$X=\text{if}(\omega_1/W_2;1,4;0;1)$	"Función para cálculo a partir de relación 1,4"

$D_{Q_in23}=kl \cdot 0,8 \cdot (C_3^2-C_{Q3}^2)/(2 \cdot g)$	"Pérdida de presión en la voluta"
$C_3=C_{t2} \cdot (D_2/D_3)$	"Velocidad teórica en la voluta"
$C_{Q3}=Q/(2 \cdot \pi \cdot R_3 \cdot B_3 \cdot \cos(\beta_3))$	"Velocidad en la voluta"
$kl=\text{if}(C_3^2-C_{Q3}^2;0;0;1;1)$	"Función valor positivo"

$D_{Q_vd}=C_{vd} \cdot (C_{Q3}^2)/(2 \cdot g)$	"Pérdidas en el difusor"
---	--------------------------

$D_{fh}=(C_{df} \cdot \omega^3 \cdot (D_2/2)^5)/(Q \cdot g)$	"Pérdidas por fricción en el disco"
--	-------------------------------------

"Pérdidas por recirculación"

$$D_{rec_h} = C_{rec} * (\omega^3) / 2 * 1 / (g * Q) * (R_1^2 - R_s^2)^{2,5} * (EQ)^{2,5}$$

$$EQ = IFTest(Q; Q_0)$$

"Función para limitar la pérdida a Q_0"

"Caudal de fugas"

$$Q_l = C_{con} * 2 * \pi * R_1 * ancho * (2 * g * ((H_{th} - C_2^2 / (2 * g)) + C_1^2 / (2 * g)) - ((1/8) * \omega^2 * (R_2^2 - R_1^2)) / (2 * g))^{0,5}$$

$$ancho = 0,000125 \text{ [m]}$$

"Ancho del espacio entre disco y carcasa"

"ALTURA TOTAL"

$$D_H = H_{th} - (D_{Q_in12} + D_{Q_in23} + D_{Q_sf12} + D_{Q_dif} + D_{Q_vd})$$

"EFICIENCIA"

$$\epsilon = Y * (D_H / (H_{th} + D_{fh} + D_{rec_h})) * (Q / (Q + Q_l))$$

$$Y = 100 \text{ [%]}$$

"Eficiencia"

Los cálculos con formato de lectura, se encuentran en el apartado 3.3. del documento actual de Anexos.

Los cálculos se realizan con el valor Q (caudal) como variable paramétrica, el cual se itera entre el rango 0 y 0,02 [m³/s], pudiendo variar este valor final cambiando el valor último de iteración de la tabla paramétrica.

2.1.3. Datos de salida ("Outputs")

Los datos de salida del programa se dan en forma de gráficas de estos datos frente al caudal. Estos datos permiten obtener las Curvas Características de la bomba en cuestión a analizar, además de todas las pérdidas teóricas que presenta una bomba centrífuga en función del caudal. Esto permite analizar con más precisión el funcionamiento y el diseño de la bomba.

Los datos son los siguientes:

$$D_H; H_{th}; \epsilon; D_{Q;in12}; D_{Q;in23}; D_{Q;sf12}; D_{Q;dif}; D_{Q;vd}; D_{fh}; D_{rec;h}; Q_l.$$

2.1.4. Ejemplo de cálculo

2.1.4.1. Introducción

A continuación se muestra los datos obtenidos en el cálculo teórico de la bomba de 2 cv de potencia que trabaja a 60 Hz (Bomba 2HP 460V 60Hz) de la empresa Gefico Enterprise. Estos cálculos se han realizado a partir de los datos obtenidos en la medición realizada sobre los planos del rotor y voluta de la misma. Estos planos, por protección de datos de la empresa, no se pueden publicar en el presente Proyecto, pero sí que los datos tomados son reales.

Además de estos datos extraídos de los planos, se han tenido en cuenta los coeficientes estándar para cada una de las diferentes pérdidas calculadas.

2.1.4.2. Datos de entrada

Los datos de entrada introducidos en el programa son los siguientes:

OTROS		DIMENSIONES	
$Z = 4$	Número de álabes	$D_1 = 0,038$ [m]	Diámetro entrada rotor
$N = 3200$ [rev/min]	Régimen de giro	$D_2 = 0,14$ [m]	Diámetro salida rotor
$Q_D = 0,006667$ [m ³ /s]	Caudal de diseño	$D_3 = 0,18$ [m]	Diámetro entrada difusor
		$D_s = 0,016$ [m]	Diámetro eje de la bomba (D_0)
		$B = 0,006$ [m]	Espesor del álabe
		$B_2 = 0,006$ [m]	Ancho de la salida del rotor
		$B_3 = 0,006$ [m]	Ancho de entrada al difusor
		$\beta_1 = 30$ [deg]	Ángulo de entrada del álabe
		$\beta_2 = 50$ [deg]	Ángulo de salida del álabe
		$\beta_3 = 60$ [deg]	Ángulo de entrada en el difusor
COEFICIENTES			
$C_{\text{R}} = 0,008$	Pérdidas por rozamiento (Por defecto 0,008)		
$C_{\text{d}} = 0,9$	Pérdida en el difusor (Por defecto 0,9)		
$C_{\text{dfr}} = 0,005$	Pérdida por fricción del disco (Por defecto 0,005)		
$C_{\text{rec}} = 0,005$	Pérdida por recirculación (Por defecto 0,005)		
$C_{\text{con}} = 0,8$	Pérdida por fugas (Por defecto 0,8)		

2.1.4.3. Resultados

2.1.4.3.1. Gráficas

2.1.4.3.1.1. Curva característica

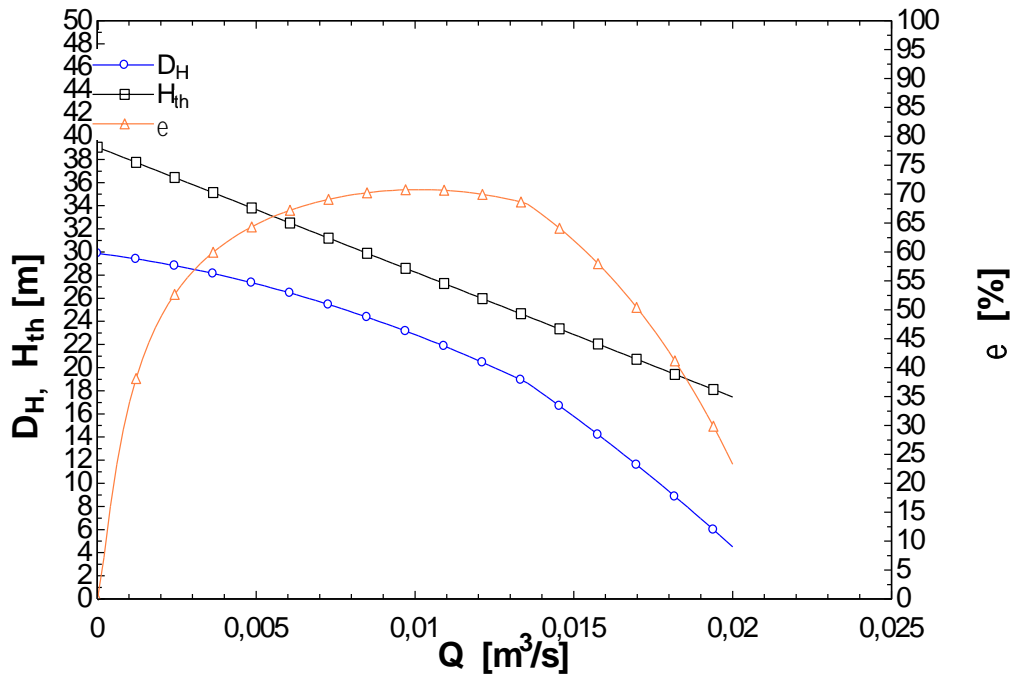


Ilustración 2.2.1.4.3.1.1.1.

2.1.4.3.1.2. Pérdidas entrada al rotor

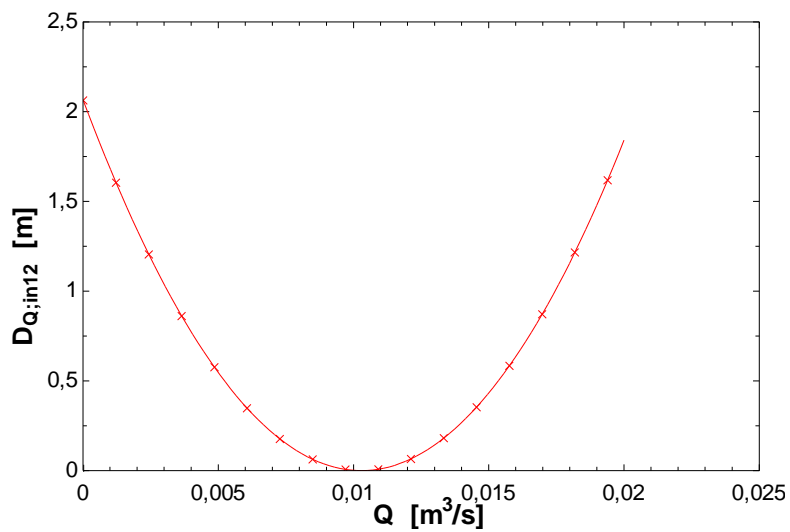


Ilustración 2.2.1.4.3.1.2.1.

2.1.4.3.1.3. Pérdidas entrada a la voluta

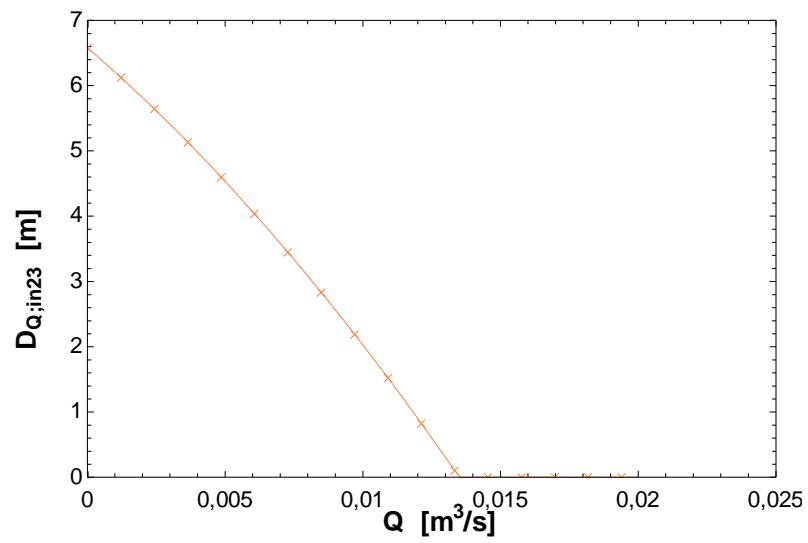


Ilustración 2.2.1.4.3.1.3.1.

2.1.4.3.1.4. Pérdidas por rozamiento

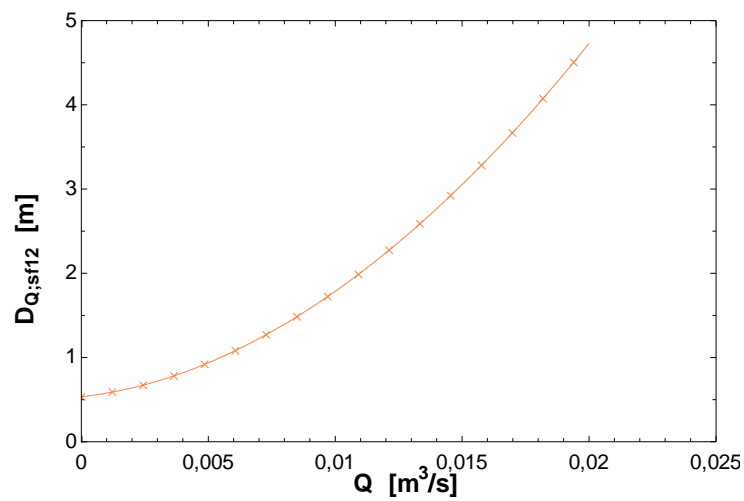


Ilustración 2.2.1.4.3.1.4.1.

2.1.4.3.1.5. Pérdidas difusión

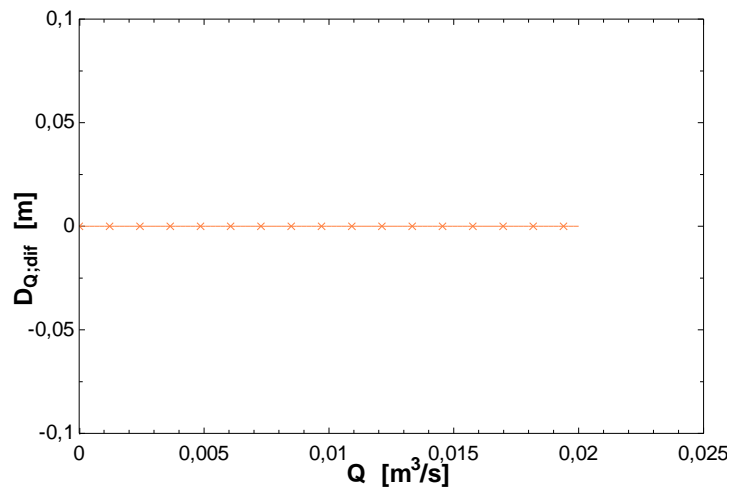


Ilustración 2.2.1.4.3.1.5.1.

2.1.4.3.1.6. Pérdidas difusor

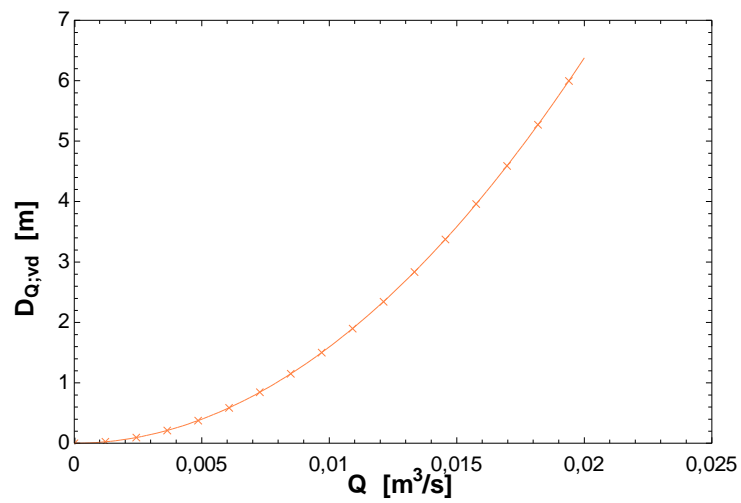


Ilustración 2.2.1.4.3.1.6.1.

2.1.4.3.1.7. Pérdidas por rozamiento del disco

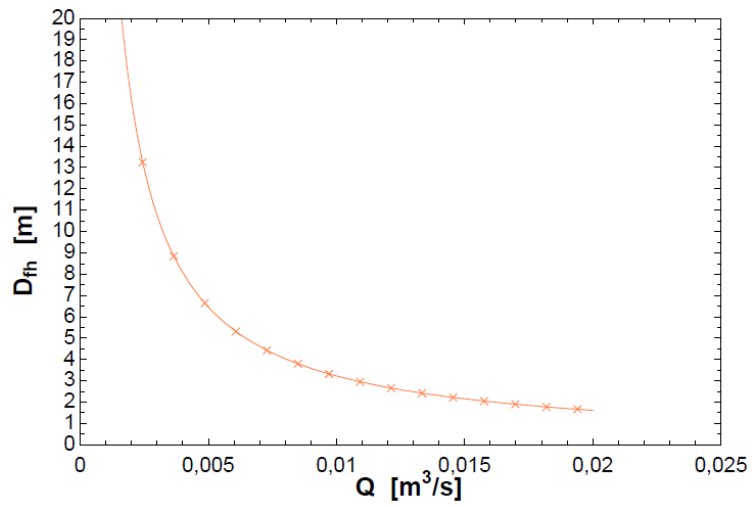


Ilustración 2.2.1.4.3.1.7.1.

2.1.4.3.1.8. Pérdidas por recirculación

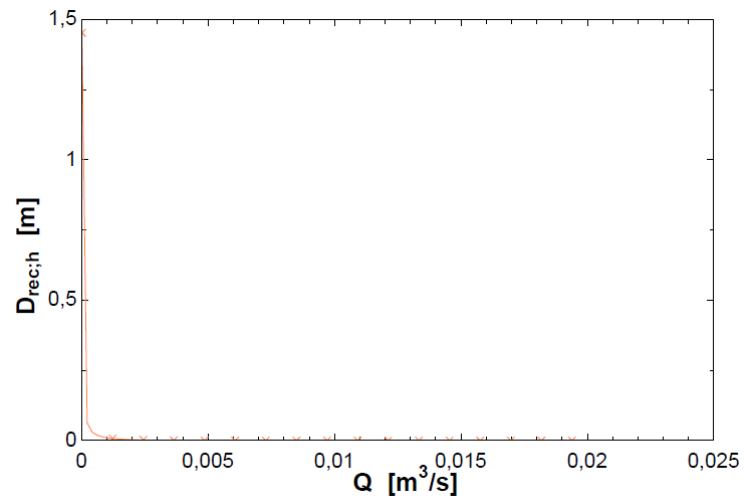


Ilustración 2.2.1.4.3.1.8.1.

2.1.4.3.2. Resultados última iteración

SOLUTION

Unit Settings: SI C kPa J mass deg

(H-Q, Run 100)

ancho = 0,000125 [m]	B = 0,006 [m]	$\beta_1 = 30$ [deg]
$\beta_2 = 50$ [deg]	$\beta_3 = 60$ [deg]	$\beta_{f1} = 16,54$ [deg]
B ₂ = 0,006 [m]	B ₃ = 0,006 [m]	C ₁ = 21,44 [m/s]
C ₂ = 10,52 [m/s]	C ₃ = 5,677 [m/s]	C _{oon} = 0,8
C _{df} = 0,005	C _{fs} = 0,008	C _{Q3} = 11,79 [m/s]
C _{r2} = 7,579 [m/s]	C _{rec} = 0,005	C _{t2} = 7,299 [m/s]
C _{vd} = 0,9	D ₁ = 0,038 [m]	D ₂ = 0,14 [m]
D ₃ = 0,18 [m]	D _{th} = 1,612 [m]	D _H = 4,51 [m]
D _{hyd12} = 0,005531 [m]	D _{Q,dif} = 0 [m]	D _{Q,in12} = 1,841 [m]
D _{Q,in23} = 0 [m]	D _{Q,sf12} = 4,73 [m]	D _{Q,vd} = 6,378 [m]
D _{rec,h} = 0 [m]	D _s = 0,016 [m]	$\varepsilon = 23,3$ [%]
EQ = 0	g = 9,807 [m/s ²]	H _{th} = 17,46 [m]
kl = 0	$\lambda = 0,7269$	M = 1
N = 3200 [rev/min]	O = 1	$\omega = 335,1$ [rad/s]
om ₁ = 22,36 [m/s]	P = 1013 [kPa]	Q = 0,02 [m ³ /s]
Q ₀ = 0,006667 [m ³ /s]	Q _i = 0,000299 [m ³ /s]	RATIO ₁ = 0,96
$\rho = 997,5$ [kg/m ³]	R ₁ = 0,019 [m]	R ₂ = 0,07 [m]
R ₃ = 0,09 [m]	R _s = 0,008 [m]	$\sigma = 0,6962$
T = 25 [C]	TERM ₁ = 0,233	U ₁ = 6,367 [m/s]
U ₂ = 23,46 [m/s]	W ₁ = 22,36 [m/s]	W ₂ = 17,85 [m/s]
W _{r2} = 7,579 [m/s]	W _s = 30,76 [m/s]	W _{t2} = 16,16 [m/s]
X = 0	Y = 100 [%]	Z = 4

No unit problems were detected.

Ilustración 2.2.1.4.3.2.1.

2.1.4.3.3. Tabla paramétrica

La tabla paramétrica se encuentra anexada en el apartado 3.2. del presente documento.

2.2. Instalación

2.2.1. Elementos

2.2.1.1. Tanque

Para el dimensionamiento del tanque se han tenido en cuenta otros Bancos de Pruebas similares ya en funcionamiento, como referencia. De estos Bancos, es

importante el conocer tanto la capacidad del tanque como el caudal máximo de trabajo, para evitar que se descebe la bomba, o trabajar en un régimen inestable.

Los Bancos que se han estudiado son los siguientes de la bibliografía: [32]; [30]; [26]; [27]; [35]; [31].

Banco de pruebas	[32]	[30]	[26]	[27]	[35]	[31]
Capacidad tanque [l]	60	85	60	98,57	120	4000
Caudal máximo [l/min]	80	136	132	64,8	137	1980
Relación Capacidad/Caudal	0,75	0,625	0,4545	1,5211	0,8759	2,0202

Tabla 2.2.2.1.1.1.

Para el presente Proyecto, se toma la relación mayor, que se considera suficiente ya que en el artículo [6] se hace mención al sobredimensionado del tanque para un mejor control de la temperatura tras horas de funcionamiento. Aplicando esta relación al caudal máximo de diseño del Banco, 500 l/min, se obtiene una capacidad de 1.010 l. Asimismo, aun considerándose esta cantidad suficiente, se tiende a sobredimensionar el tanque y así asegurar un mejor control de la temperatura como también el poder reutilizar el tanque para otras pruebas con bombas de capacidades superiores.

2.2.1.2. Diámetro líneas

El material escogido es el PVC, tanto por el precio como por su facilidad de montaje y de trabajo.

Para el cálculo del diámetro se ha tenido en cuenta las velocidades máxima y mínima a través de la tubería con las bombas de 0,5 y 4 cv respectivamente. Para la velocidad máxima se utilizó el caudal máximo teórico de la bomba de 4 cv. Para la velocidad mínima se ha empleado el 10% del caudal máximo teórico de la bomba de 0,5 cv. El 10 % se supone el mínimo siguiente a “cero caudal”

empleado para obtener las curvas características, por lo que se toma de referencia.

Asimismo, se ha tenido en cuenta que el diámetro de tubería se encuentre en un valor intermedio de los diámetros de aspiración y descarga máximos y mínimos de las bombas a probar. Los diámetros son los siguientes:

Potencia (CV)	A	B	C	Aspiración	Descarga
0,5	91	39	63	3/4" BSP	1/2" BSP
1	114	55	90	3/4" BSP	1" BSP
2	114	55	90	1 1/2" BSP	1" BSP
4	119	90	10	Brida DN 50	Brida DN 40

Tabla 2.2.2.1.2.1.

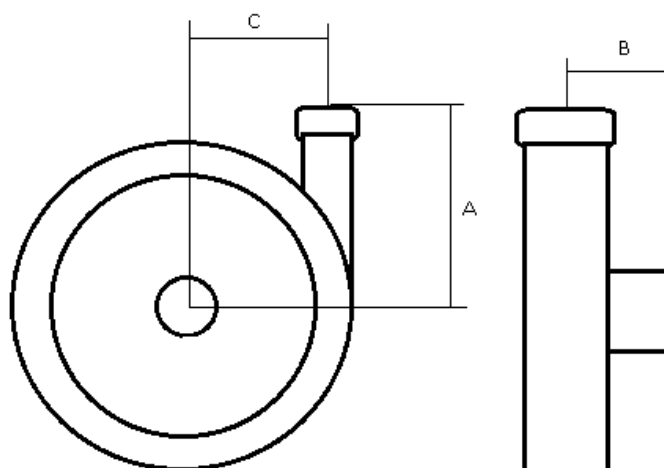


Ilustración 2.2.2.1.2.1.

Por lo cual el diámetro debe estar entre $\frac{3}{4}$ " y 2" en la aspiración y $\frac{1}{2}$ " y 1 $\frac{1}{2}$ " en la descarga. Se hacen cálculos de velocidades para 1", y 1 $\frac{1}{2}$ " ya que para diámetros menores se tendría una velocidad excesiva con caudales elevados.

La fórmula empleada para el cálculo de la velocidad es la siguiente:

$$c_m = \frac{\dot{V}}{A}$$

siendo,

\dot{V} : caudal volumétrico en m^3/s

\dot{V}_{min} : caudal volumétrico mínimo, $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$

\dot{V}_{max} : caudal volumétrico máximo, $30 \text{ m}^3/\text{h}$

A : sección transversal en m^2

c_m : velocidad media en m/s

	1"	1 1/2"
Cmax [m/s]	16,446	7,309
Cmin [m/s]	0,274	0,122

Tabla 2.2.2.1.2.2.

La velocidad máxima en la línea de 1" se considera muy elevada, por lo que se selecciona la línea con un diámetro de 1 1/2".

2.2.2. Dimensionamiento Instalación

En lo relativo a las dimensiones de la instalación es necesario tener presente todo lo expuesto en el Pliego de Condiciones.

Los cálculos que aparecen a continuación, se han empleado en el dimensionado de la instalación (Ver Plano Nº 2)

2.2.2.1. Tanque

Los cálculos en lo respectivo al dimensionado volumétrico del tanque, se llevan a cabo en el apartado 2.2.1.1. del presente documento. Las medidas no requieren de ningún cálculo ni requisito, ya que no existe limitación de espacio ni otro tipo de condicionante.

2.2.2.2. Calentador

El calentador requiere una potencia de 2400 W. Éste cálculo ha sido realizado por un técnico asesor de la empresa Electrifer vía telefónica. El cálculo se realiza mediante un programa que tiene en cuenta:

- El dimensionado del tanque
- Espesor de aislante si lo hubiere
- Temperatura ambiente mínima (10 °C en este caso)
- Temperatura de trabajo (entre 30 y 50 °C)
- Condición de uso (calentamiento o mantenimiento de temperatura) 2º caso

2.2.2.3. Agitador

El agitador no es necesario dimensionarlo, ya que la empresa Rotoplast tiene agitadores que incorpora con sus recipientes en función del volumen, por lo que ya está incluido en el tanque.

2.2.2.4. Tomas de la bomba

En lo relativo a las tomas, no es de importancia el cálculo de las presiones de columna, ya que estas pueden regularse mediante válvulas. El aspecto importante de las tomas, es en cuanto a las medidas de las bombas para encajar las líneas en la aspiración y descarga.

Para los cálculos se tiene en cuenta la Tabla 2.2.2.1.2.1. La altura de colocación no es importante ya que ésta se puede regular variando el largo de los tramos intercambiables en la descarga de las bombas. Lo significativo de la altura es que la altura entre tomas sea suficiente para permitir cumplir las medidas mínimas en la descarga, establecidas en la norma 9906:2012 entre bomba y manómetro y entre manómetro y brida.

Debido a la desviación lateral (C) entre la aspiración y la descarga, se hace una media entre el máximo y el mínimo y esta es considerada la separación lateral entre tomas. Esto no supone un problema debido a que el PVC presenta una cierta flexibilidad, lo que permite desplazar mínimamente la toma.

$$\text{Separación} = \frac{C_{min} + C_{max}}{2} = \frac{100 + 63}{2} = 81,5 \text{ mm}$$

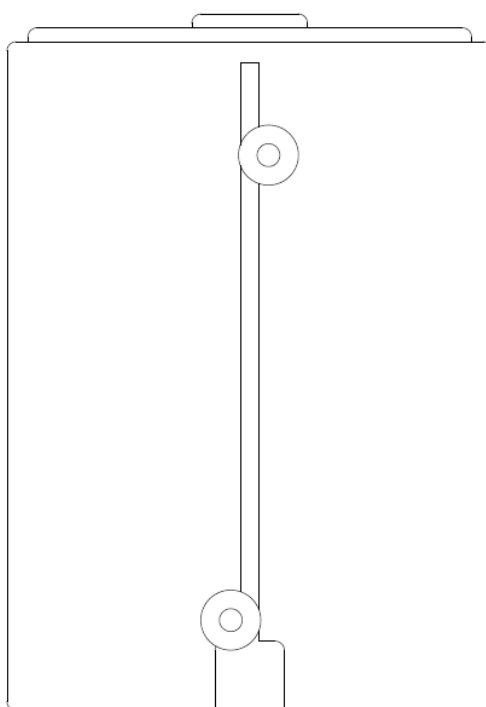


Ilustración 2.2.2.2.4.1.

2.2.2.5. Línea aspiración

En la línea de aspiración el principal condicionante es que entre la variación de diámetro y el manómetro debe existir al menos 12 veces el diámetro de la bomba. Dado que el manómetro se debe situar a 2 veces el diámetro de la entrada de la bomba, entre la bomba y la variación de diámetro debe haber 14 veces el diámetro de la bomba más grande (Ver Tabla 2.2.2.1.2.1.):

$$Dist. \text{mín.} = 14 \times 50 = 700 \text{ mm}$$

Aun así, dado que el espacio no es una limitación se tiende a sobredimensionar.

Por otro lado, dado que el único elemento restante en la línea es la válvula, se situará en un punto aproximadamente intermedio entre la brida del tanque y la variación de diámetro.

2.2.2.6. Línea descarga

En la línea de descarga, existen dos condicionantes: por un lado la altura mínima influenciada por el manómetro; por otro la distancia longitudinal influenciada por el caudalímetro.

Entre el manómetro de descarga y el siguiente elemento que afecte al flujo, debe haber una distancia de al menos 4 veces el diámetro de la tubería y, dado que entre la bomba y el manómetro debe haber 2 veces el diámetro, el mínimo entre la bomba y la brida debe haber 6 veces el diámetro de la bomba de mayor diámetro en la descarga (Ver Tabla 2.2.2.1.2.1.).

$$Dist. \text{mín.} = 6 \times 40 = 240 \text{ mm}$$

Al igual que en el resto de la instalación, se tiende a sobredimensionar.

Entre el codo y el caudalímetro al igual que entre el caudalímetro y la "T", debe existir una distancia de al menos 10 veces el diámetro de la línea por lo que la distancia mínima a ambos elementos ha de ser igual:

$$Dist. \text{mín.} = 10 \times 40 = 400 \text{ mm}$$

2.2.2.7. Tramos intercambiables

En función a las medidas de la instalación fija (Ver Plano N° 2) y los datos recogidos en la Tabla 2.2.2.1.2.1., se realizan los cálculos para los tramos intercambiables.

El tramo de la aspiración, tubería más variación de diámetro, se calculará para cada bomba como:

$$Long. \text{asp.} = 1199,4 - B$$

Mientras que el tramo de descarga será:

$$Long. \text{desc.} = 803 - A$$

2.2.2.7.1. Bomba 0,5 cv

$$Long. \text{asp.} = 1199,4 - 39 = 1160.4 \text{ mm}$$

$$Long. \text{desc.} = 803 - 91 = 712 \text{ mm}$$

2.2.2.7.1. Bomba 1 cv

$$Long. \text{asp.} = 1199,4 - 55 = 1144.4 \text{ mm}$$

$$Long. \text{desc.} = 803 - 114 = 689 \text{ mm}$$

2.2.2.7.1. Bomba 2 cv

$$Long. asp. = 1199,4 - 55 = 1144.4 \text{ mm}$$

$$Long. desc. = 803 - 114 = 689 \text{ mm}$$

2.2.2.7.1. Bomba 4 cv

$$Long. asp. = 1199,4 - 90 = 1109.4 \text{ mm}$$

$$Long. desc. = 803 - 119 = 684 \text{ mm}$$

2.2.3. Cálculos de pérdidas de carga

En el presente Proyecto, no se considera necesario un estudio de las pérdidas, ya que en la instalación se provocan mediante el estrangulamiento de la válvula, por lo que las demás pérdidas se pueden considerar irrelevantes.

En otro tipo de instalaciones de fluidos, sí es muy importante tener en consideración este tipo de pérdidas, pero en esta no por lo arriba mencionado.

2.3. Documento Excel de cálculo

2.3.1. Contenido celdas

2.3.1.1. Hoja 'Reporte y gráfica'

Celda D18:M18 → =Cálculos!H6-Cálculos!H5

Celda D19:M19 → =D17-D16+D18+Cálculos!H7+Cálculos!H8+(Cálculos!\$D10-Cálculos!\$D9)/1000

Celda D20:M20 → =D21*3,6

Celda D24:M24 → =(D20/3600*9,8*D19)/(D22*D23/100)*100

Celda D26:M26 → =SI(D19>0,5;D19*(\$F10/D15)^2;" ")

Celda D27:M27 → =D20*(\$F10/D15)

Celda D28:M28 → =D27/3,6

Celda D29:M29 → =D22*D23/100*(\$F10/D15)^3*\$L10

Celda D30:M30 → =D22*D23/100*(\$F10/D15)^3

Celda D31:M31 → =D24

2.3.1.2. Hoja 'NPSH'

Celda D17:M17 → =(Cálculos!H21^2-Cálculos!H20^2)/(2*9,8)

Celda D18:M18 → =D16-D15+D17+Cálculos!H6+Cálculos!H7+(Cálculos!\$D9-Cálculos!\$D8)/1000

Celda D19:M19 → =D20*3,6

Celda D21:M21 → =(Cálculos!H20^2)/(2*9,8)

Celda D24:M24 → =D15+D21+9,82-D23

Celda D26:M26 → =SI(D18>0,5;D18*(\$F9/D14)^2;" ")

Celda D27:M27 → =D19*(\$F9/D14)

Celda D28:M28 → =D27/3,6

Celda D29:M29 → =D24*(\$F9/D14)^2

2.3.1.3. Hoja 'Cálculos'

Celda D2 → =3,1416*('Reporte y gráfica'!F12/1000)^2/4

Celda D3 → =3,1416*('Reporte y gráfica'!L12/1000)^2/4

Celda D4 → =2*'Reporte y gráfica'!F12

Celda D5 → =2*'Reporte y gráfica'!L12

Celda D7 → =D6/'Reporte y gráfica'!F12

Celda D8 → =D6/'Reporte y gráfica'!L12

Celda H3:Q3 → =('Reporte y gráfica'!D\$20/3600)/Cálculos!\$D2

Celda H4:Q4 → =('Reporte y gráfica'!D\$20/3600)/Cálculos!\$D3

Celda H5:Q5 → =H3^2/(2*9,8)

Celda H6:Q6 → =H4^2/(2*9,8)

Celda H7:Q7 → =SI(H3=0;0;H11*(\$D4/'Reporte y gráfica'!\$F\$12)*H5)

Celda H8:Q8 → =SI(H4=0;0;H12*(\$D5/'Reporte y gráfica'!\$L\$12)*H6)

Celda H9:Q9 → =(H3*'Reporte y gráfica'!\$F12/1000)*'Reporte y gráfica'!\$L10*1000

Celda H10:Q10 → =(H4*'Reporte y gráfica'!\$L12/1000)*'Reporte y gráfica'!\$L10*1000

Celda H11:Q11 → =1/(H13^2)

Celda H12:Q12 → =1/(H15^2)

Celda H13:Q13 → =H14

Celda H14:Q14 → =-2*LOG10(\$D\$7/3,7+2,51/H9*H13)

Celda H15:Q15 → =H16

Celda H16:Q16 → =-2*LOG10(\$D\$8/3,7+2,51/H10*H14)

Celda H20:Q20 → =(NPSH!D\$19/3600)/Cálculos!\$D2

Celda H21:Q21 → =(NPSH!D\$19/3600)/Cálculos!\$D3

Celda T3:T43 → =OneWay_Spline('Reporte y gráfica!\$D\$27:\$M\$27;'Reporte y gráfica!\$D\$26:\$M\$26;S3)

Celda U3:U43 → =OneWay_Spline('Reporte y gráfica!\$D\$27:\$M\$27;'Reporte y gráfica!\$D\$31:\$M\$31;S3)

Celda V3:V43 → =OneWay_Spline('Reporte y gráfica!\$D\$27:\$M\$27;'Reporte y gráfica!\$D\$29:\$M\$29;S3)

Celda Z4 → ='Reporte y gráfica!\$F\$8+0,05*('Reporte y gráfica!\$F\$8)

Celda AA4 → ='Reporte y gráfica!\$F\$8-0,05*('Reporte y gráfica!\$F\$8)

Celda Z5 → ='Reporte y gráfica!\$F\$7+0,08*('Reporte y gráfica!\$F\$7)

Celda AA5 → ='Reporte y gráfica!\$F\$7-0,08*('Reporte y gráfica!\$F\$7)

Celda Z6 → ='Reporte y gráfica!\$L\$8+0,08*('Reporte y gráfica!\$L\$8)

Celda AA6 → ='Reporte y gráfica!\$L\$8

Celda Z7 → ='Reporte y gráfica!\$F\$9

Celda AA7 → ='Reporte y gráfica!\$F\$9-0,05*('Reporte y gráfica!\$F\$9)

2.3.2. Ejemplo de Cálculo

El siguiente cálculo se ha realizado a simulando la toma de datos de un banco de bombas que cumpla con la Norma ISO 9906:2012 [46]. Los datos de medición se toman asimismo de un ejemplo presente en la norma antes citada.

2.3.2.1. Reportes

Los reportes del cálculo se muestran en el apartado 3.3. de presente documento.

2.3.2.2. Gráficas

2.3.2.2.1. Curvas características

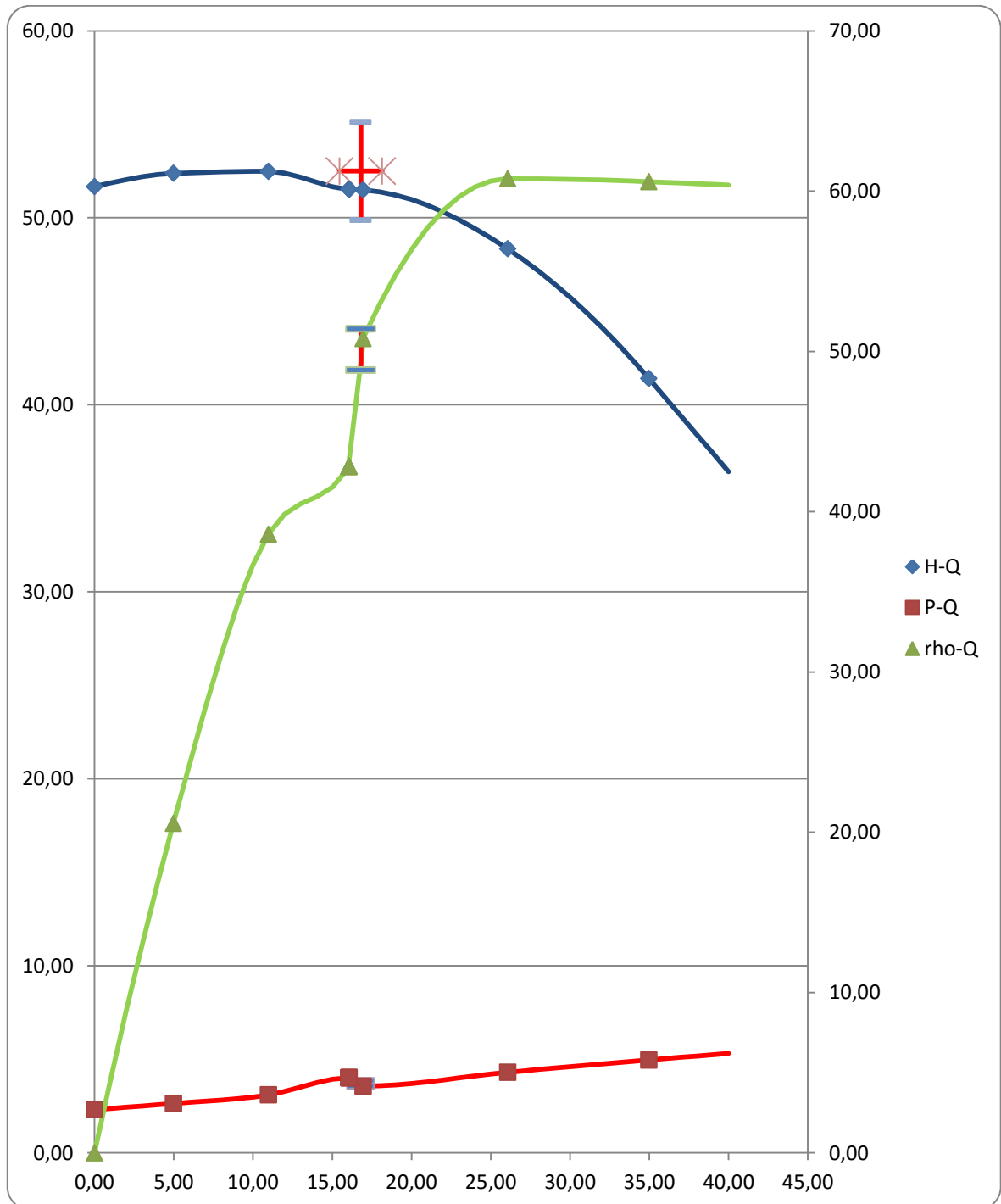


Ilustración 2.2.3.2.2.1.1.

2.3.2.2.2. NPSH

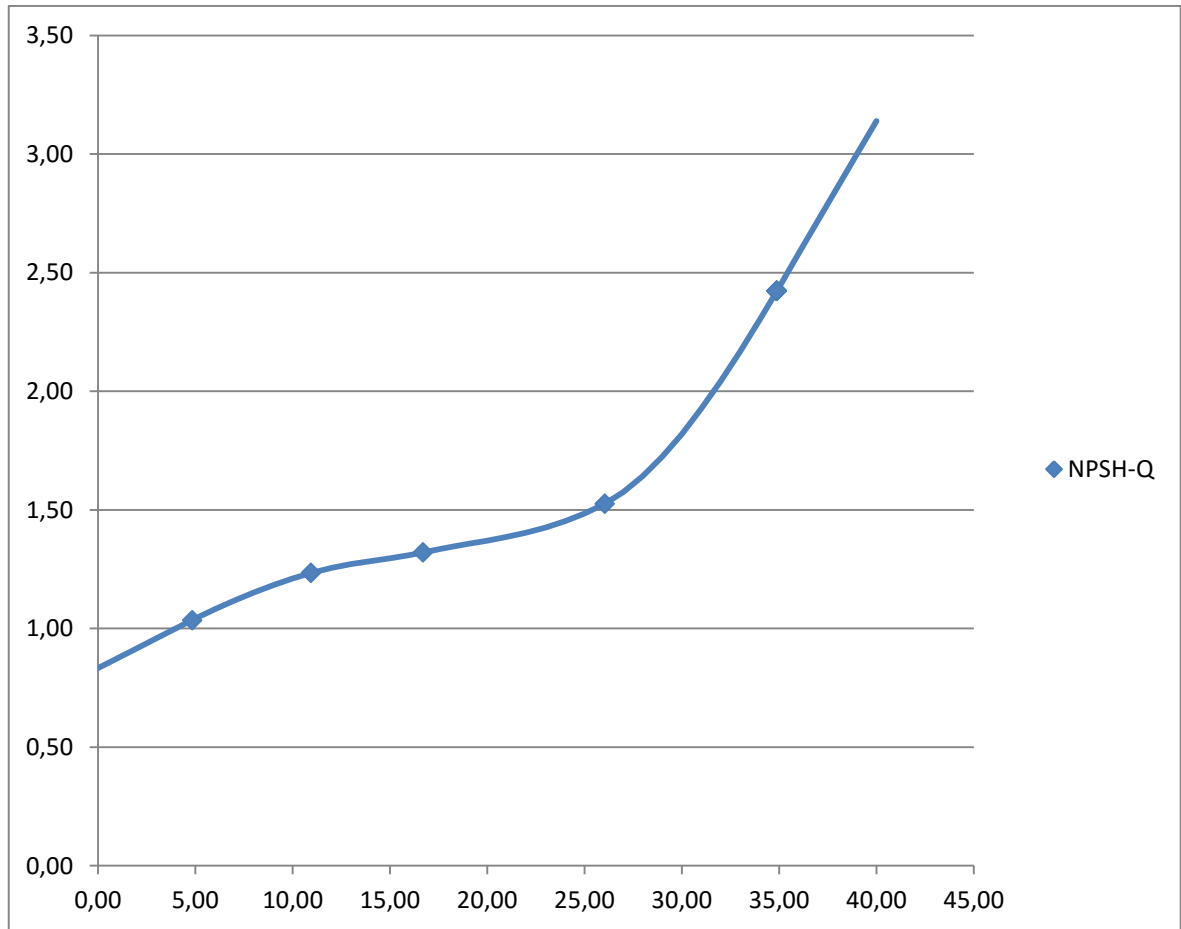


Ilustración 2.2.3.2.2.1.

2.3.2.3. Otros datos de cálculo

Área diámetro aspiración	[m2]	0,003426388
Área diámetro descarga	[m2]	0,00127556
Longitud aspiración	[mm]	132,1
Longitud descarga	[mm]	80,6
Factor de fricción 'k'	[mm]	0,05
k/D aspiración		0,000757002
k/D descarga		0,001240695
Altura manómetro aspiración	[mm]	90

Tabla 2.2.3.2.3.1.

REPORT Y GRAF CALC	Unidades	1	2	3	4	5	6	7
Velocidad media aspiración	[m/s]	1,407	0,911	2,157	2,889	0,414	0,000	1,334
Velocidad media descarga	[m/s]	3,779	2,446	5,794	7,761	1,113	0,000	3,583
Energía cinética aspiración	[m]	0,101	0,042	0,237	0,426	0,009	0,000	0,091
Energía cinética descarga	[m]	0,729	0,305	1,713	3,073	0,063	0,000	0,655
Pérdida rozamiento aspiración	[m]	0,038	0,020	0,071	0,111	0,007	0,000	0,035
Pérdida rozamiento descarga	[m]	0,195	0,101	0,380	0,603	0,031	0,000	0,180
Reynolds aspiración		82,69 4	53,52 8	126,7 86	169,8 48	24,36 2	0,000	78,40 5
Reynolds descarga		135,5 32	87,73 0	207,7 97	278,3 74	39,92 8	0,000	128,5 02
Factor de fricción aspiración		0,188	0,241	0,150	0,130	0,402	#¡DIV/ 0!	0,193
Factor de fricción descarga		0,134	0,165	0,111	0,098	0,249	#¡DIV/ 0!	0,137
Cálculos aspiración 1		2,307	2,038	2,580	2,771	1,577	#¡DIV/ 0!	2,274
Cálculos aspiración 2		2,307	2,038	2,580	2,771	1,577	#¡DIV/ 0!	2,274
Cálculos descarga 1		2,732	2,464	3,003	3,193	2,005	#¡DIV/ 0!	2,699
Cálculos descarga 2		2,732	2,464	3,003	3,193	2,005	#¡DIV/ 0!	2,699

Tabla 2.2.3.2.3.2.

NPSH CÁLC			1	2	3	4	5
Velocidad aspiración	media	[m/s]	1,3834	0,4028	0,9077	2,1539	2,8806
Velocidad descarga	media	[m/s]	3,7160	1,0819	2,4381	5,7857	7,7378

Tabla 2.2.3.2.3.3.

Tolerancias	+	-
H	55,125	49,875
Q	18,144	15,456
P (Opcional)	4,4928	4,16
η (Opcional)	51,4	48,83
QG	16,8	16,8
HG	52,5	52,5

Tabla 2.2.3.2.3.4.

Q	Spline H	Spline η	Spline P	Spline NPSH
0	51,6690	0,0000	2,7019	0,8325
1	51,8627	4,5376	2,7703	0,8743
2	52,0417	8,8708	2,8416	0,9161
3	52,1944	12,9996	2,9159	0,9579
4	52,3091	16,9239	2,9932	0,9997
5	52,3741	20,6439	3,0734	1,0414
6	52,4086	24,2665	3,1486	1,0813
7	52,4367	27,8049	3,2176	1,1181
8	52,4586	31,1357	3,2899	1,1520
9	52,4741	34,1354	3,3747	1,1828
10	52,4834	36,6804	3,4812	1,2107
11	52,4862	38,6470	3,6188	1,2356
12	52,3926	39,8568	3,8291	1,2557
13	52,1742	40,4856	4,1018	1,2711

14	51,9063	40,9162	4,3756	1,2837
15	51,6640	41,5315	4,5896	1,2957
16	51,5225	42,7144	4,6826	1,3091
17	51,4882	50,9228	4,1611	1,3255
18	51,3874	52,9754	4,1832	1,3413
19	51,2140	54,7884	4,2402	1,3559
20	50,9727	56,3618	4,3249	1,3703
21	50,6686	57,6957	4,4303	1,3859
22	50,3065	58,7900	4,5492	1,4039
23	49,8914	59,6447	4,6744	1,4254
24	49,4282	60,2598	4,7990	1,4518
25	48,9218	60,6354	4,9157	1,4841
26	48,3771	60,7714	5,0174	1,5236
27	47,7919	60,7699	5,1074	1,5751
28	47,1587	60,7632	5,1964	1,6425
29	46,4776	60,7518	5,2845	1,7244
30	45,7485	60,7356	5,3717	1,8194
31	44,9714	60,7148	5,4579	1,9259
32	44,1464	60,6893	5,5433	2,0426
33	43,2734	60,6591	5,6277	2,1680
34	42,3523	60,6241	5,7112	2,3005
35	41,3834	60,5845	5,7937	2,4388
36	40,3918	60,5427	5,8759	2,5790
37	39,4002	60,5008	5,9580	2,7192
38	38,4087	60,4590	6,0402	2,8593
39	37,4171	60,4171	6,1223	2,9995
40	36,4255	60,3753	6,2044	3,1397

Tabla 2.2.3.2.3.5.

3. DOCUMENTOS

3.1. Reportes Hoja de cálculo

Reporte de prueba											
Datos de la prueba	Prueba No.:					Bomba:					
	Fecha:					Tipo:					
Punto de Garantía	Tipo de prueba: ISO 9906 Grado 2B					Puntos de medición:					
	Q	[m ³ /h]	16,8			Q	[l/s]	4,67			
	H	[m]	52,5			P _N	[kW]	4,16			
	η	[%]	51,4			P _{mot}	[kW]	6,3			
	N _n	[1/min]	3500			ρ	[kg/dm ³]	0,89			
	NPSH _R	[m]				η _{mot}	[%]	90			
Sección	Diámetro aspiración [mm]:		66,05			Diámetro descarga [mm]:		40,3			
Valores de la prueba											
Medida	Unidades	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n	[1/min]	3584	3584	3572	3567	3595	3595	3584			
H _{in}	[m]	8,49	8,51	8,23	8,47	8,55	9	8,5			
H _{out}	[m]	61,61	63,15	56,64	48,11	63,70	63,50	61,73			
U2/2g	[m]	0,628	0,263	1,475	2,647	0,054	0	0,564	0	0	0
H	[m]	53,99	55,04	50,35	43,01	55,25	54,51	54,02	0,01	0,01	0,01
Q	[m ³ /h]	17,35	11,23	26,60	35,64	5,11	0,00	16,45			
Q	[l/s]	4,82	3,12	7,39	9,9	1,42	0	4,57			
P _{mot}	[kW]	5,96	5,25	7,02	8	4,595	4,12	6,71			
η _{mot}	[%]	84,23	83,05	85,47	86,10	81,39	79,85	84,20	0,00	0,00	0,00
η	[%]	50,80	38,60	60,77	60,59	20,56	0,00	42,82	42,82	42,82	42,82
Valores a la Velocidad de Garantía [1/min]:											
H	[m]	51,49	52,49	48,34	41,41	52,37	51,67	51,52	51,52	51,52	51,52
Q	[m ³ /h]	16,95	10,97	26,07	34,97	4,98	0,00	16,07	16,07	16,07	16,07
Q	[l/s]	4,707	3,047	7,241	9,714	1,382	0	4,463	4,463	4,463	4,463
P _{bba} (ρ)	[kW]	4,16	3,61	5,02	5,79	3,07	2,70	4,68	4,68	4,68	4,68
P _{bba}	[kW]	4,68	4,06	5,64	6,51	3,45	3,04	5,26	5,26	5,26	5,26
η	[%]	50,80	38,60	60,77	60,59	20,56	0,00	42,82	42,82	42,82	42,82
Comentarios:											

Tabla 2.3.1.1.

Reporte de prueba											
Datos de la prueba	Prueba No.:						Bomba:				
	Fecha:						Tipo:				
Punto de Garantía	Tipo de prueba: ISO 9906 Grado 2B						Puntos de medición:				
	Q	[m ³ /h]	16,8				Q	[l/s]	4,67		
	H	[m]	52,5				P _N	[kW]	4,16		
	η	[%]	51,4				P _{mot}	[kW]	6,3		
	N _n	[1/min]	3500				ρ	[kg/dm ³]	0,89		
	NP SH R	[m]	1,4				η _{mot}	[%]	90		
Sección	Diámetro aspiración [mm]:		66,05			Diámetro descarga [mm]:		40,3			
Valores de la prueba											
Medida	Unidades	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n	[1/min]	3575	3589	3581	3569	3565					
H _{in}	[m]	-8,12	-8,32	-8,15	-8,05	-7,31					
H _{out}	[m]	44,4	46,2	46,1	39,3	31,9					
U2/2g	[m]	0,60	0,05	0,26	1,47	2,63	0	0	0	0	0
		6888	1441	1260	1177	1398					

		66	13	12	47	65					
H	[m]	54,0	55,0	56,4	52,1	42,0	0,09	0,78	0,09	0,09	0,09
		2	3	4	3	7					
Q	[m ³ / h]	17,0	4,97	11,2	26,5	35,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		6		0	7	3					
Q	[l/s]	4,74	1,38	3,11	7,38	9,87					
U2/ 2g	[m]	0,09	0,00	0,04	0,23	0,42	0	0	0	0	0
		7639	8276	2033	6692	3355					
		95	16	12		45					
Te mp	[°C]	29,2	29,2	29,2	29,3	29,3					
		8	7	7	2	8					
H _t	[m]	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42					
NP SH	[m]	1,38	1,09	1,29	1,59	2,51	9,82	9,82	9,82	9,82	9,82
Valores a la Velocidad de Garantía [1/min]:											
H	[m]	51,7	52,3	53,9	50,1	40,5	40,5	40,5	40,5	40,5	40,5
		8	3	1	3	5	5	5	5	5	5
Q	[m ³ / h]	16,7	4,84	10,9	26,0	34,8	34,8	34,8	34,8	34,8	34,8
		1		4	5	8	8	8	8	8	8
Q	[l/s]	4,64	1,34	3,03	7,23	9,69	9,69	9,69	9,69	9,69	9,69
		0559	5778	9653	7321	0042	0042	0042	0042	0042	0042
		44	77	73	38	08	08	08	08	08	08
NP SH	[m]	1,32	1,03	1,23	1,53	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42
Comentarios:											

Tabla 2.3.1.2.

Test report											
Ordered data	Order No.					Order-Pos					
	Type					Item No.					
Guarantee/ data of order	Acceptance test class: ISO 9906 Grade 2					Measured points: 7					
	Q	[m ³ /h]	16,80			Q	[l/s]	4,67			
	H	[m]	52,50			P_N	[kW]	4,16			
	η	[%]	51,40			P_{mot}	[kW]	6,30			
	n_N	[1/min]	3 500			ρ	[kg/dm ³]	0,89			
Impeller data	Impeller diameter [mm] 163					Remaching type A15					
Test conditions	Test bed type: closed					Test medium: cold water					
	Suction side measuring point (ss) [mm] 66,05					Discharge side measuring point (ds) [mm] 40,30					
Motor data	Test motor No. 22C/60										
Test speed values											
	Meas. pt./ No.	Dimension	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	n	[1/min]	3 584	3 584	3 572	3 567	3 595	3 595	3 584		
	H_n	[m]	8,49	8,51	8,23	8,47	8,55	9,00	8,50		
	H_{out}	[m]	61,61	63,15	58,64	48,11	63,70	63,50	61,73		
	$v^2/2g$	[m]	0,63	0,26	1,47	2,64	0,05	0,00	0,56		
	H	[m]	53,78	54,90	49,88	42,28	55,20	54,50	53,79		
	Q	[m ³ /h]	17,36	11,25	26,60	35,63	5,12	0,00	16,46		
	Q	[l/s]	4,82	3,12	7,39	9,90	1,42	0,00	4,57		
	P_{mot}	[kW]	5,96	5,25	7,02	8,00	4,59	4,12	6,71		
	P_p	[kW]	5,02	4,36	6,00	6,89	3,74	3,29	5,65		
	η	[%]	50,67	38,64	60,29	59,57	20,62	0,00	50,60		
Values at guaranteed speed											
3 500 min ⁻¹	H	[m]	51,26	52,36	47,89	40,71	52,32	51,66	51,29		
	Q	[m ³ /h]	16,96	10,98	26,07	34,96	4,99	0,00	16,07		
	Q	[l/s]	4,71	3,05	7,24	9,71	1,39	0,00	4,46		
	p ($\rho = 0,89$)	[kW]	4,16	3,61	5,02	5,79	3,07	2,70	4,68		
	P_p	[kW]	4,68	4,06	5,64	6,51	3,45	3,04	5,26		
	η	[%]	50,67	38,64	60,29	59,57	20,62	0,00	50,60		
Remarks:	Test record No.:										
	Tested:					Customer:					

Ilustración 2.3.1.1.

Test report											
Ordered data	Order No.					Order-Pos					
	Type					Item No.					
Guarantee/ data of order	Acceptance test class: ISO 9906					Measured points: 5					
	Q	[m ³ /h]	16,80	Q	[l/s]	4,67					
	H	[m]	52,50	P_N	[kW]	4,16					
	η	[%]	51,40	P_{mot}	[kW]	6,30					
	n_N	[1/min]	3 500	ρ	[kg/dm ³]	0,89					
NPSHR	[m]	1,40									
Impeller data	Impeller diameter [mm] 163					Remaching type A15					
Test conditions	Test bed type: closed					Test medium: cold water					
	Suction side measuring point (ss) [mm] 66,05					Discharge side measuring point (ds) [mm] 40,30					
Motor data	Test motor No. 22C/60										
Test speed values	NPSH test					Barometric pressure [hPa] 962,59; [m] 9,82					
	Meas. pt./ No.	Dimension	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	n	[1/min]	3 575	3 589	3 581	3 569	3 565				
	H_{in}	[m]	-8,12	-8,32	-8,15	-8,05	-7,31				
	H_{out}	[m]	44,44	46,24	46,15	39,33	31,97				
	$v^2/2g$	[m]	0,61	0,05	0,26	1,47	2,63				
	H	[m]	53,16	54,62	54,56	48,86	41,90				
	Q	[m ³ /h]	17,06	4,98	11,20	26,59	35,52				
	Q	[l/s]	4,74	1,38	3,11	7,38	9,87				
	$v^2/2g$	[m]	0,10	0,01	0,04	0,24	0,42				
	θ_w	[°C]	29,28	29,27	29,27	29,32	29,38				
	H_t	[m]	0,42	0,42	0,42	0,42	0,43				
	NPSH	[m]	1,37	1,08	1,28	1,58	2,50				
Values at guaranteed speed											
3 500 min ⁻¹	H	[m]	50,96	51,94	52,12	46,99	40,39				
	Q	[m ³ /h]	16,70	4,86	10,95	26,07	34,87				
	Q	[l/s]	4,64	1,35	3,04	7,24	9,69				
	NPSH	[m]	1,31	1,02	1,22	1,52	2,41				
Remarks:			Test record No.:								
			Tested:					Customer:			

Ilustración 2.3.1.2.

Parametric Table: H-Q

	Q	D _H	H _{th}	D _{Q;in12}	D _{Q;in23}	D _{Q;sf12}	D _{Q;dif}	D _{Q;vd}	D _{th}
	[m ³ /s]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
Run 1	0,00001	29,88	39,05	2,063	6,577	0,5331	0	0,000001594	3225
Run 2	0,0002119	29,81	38,83	1,983	6,503	0,5406	0	0,0007161	152,2
Run 3	0,0004138	29,73	38,62	1,904	6,428	0,5489	0	0,002731	77,92
Run 4	0,0006158	29,65	38,4	1,827	6,353	0,5579	0	0,006045	52,37
Run 5	0,0008177	29,57	38,18	1,751	6,277	0,5677	0	0,01066	39,44
Run 6	0,00102	29,49	37,96	1,678	6,2	0,5781	0	0,01658	31,63
Run 7	0,001222	29,4	37,74	1,605	6,122	0,5893	0	0,02379	26,4
Run 8	0,001423	29,31	37,53	1,535	6,044	0,6012	0	0,03231	22,65
Run 9	0,001625	29,22	37,31	1,465	5,965	0,6139	0	0,04212	19,84
Run 10	0,001827	29,13	37,09	1,398	5,885	0,6273	0	0,05324	17,65
Run 11	0,002029	29,03	36,87	1,332	5,805	0,6415	0	0,06565	15,89
Run 12	0,002231	28,93	36,65	1,268	5,723	0,6565	0	0,07937	14,45
Run 13	0,002433	28,82	36,43	1,205	5,641	0,6722	0	0,09438	13,25
Run 14	0,002635	28,72	36,22	1,144	5,558	0,6886	0	0,1107	12,24
Run 15	0,002837	28,61	36	1,084	5,475	0,7058	0	0,1283	11,37
Run 16	0,003039	28,49	35,78	1,026	5,39	0,7238	0	0,1472	10,61
Run 17	0,003241	28,38	35,56	0,97	5,305	0,7425	0	0,1675	9,95
Run 18	0,003443	28,26	35,34	0,9152	5,219	0,7619	0	0,189	9,367
Run 19	0,003645	28,14	35,13	0,862	5,133	0,7821	0	0,2118	8,848
Run 20	0,003846	28,01	34,91	0,8104	5,045	0,8031	0	0,2359	8,383
Run 21	0,004048	27,89	34,69	0,7604	4,957	0,8248	0	0,2613	7,965
Run 22	0,00425	27,76	34,47	0,712	4,869	0,8472	0	0,288	7,587
Run 23	0,004452	27,62	34,25	0,6652	4,779	0,8704	0	0,3161	7,243
Run 24	0,004654	27,49	34,04	0,62	4,689	0,8943	0	0,3454	6,928
Run 25	0,004856	27,35	33,82	0,5763	4,598	0,919	0	0,376	6,64
Run 26	0,005058	27,21	33,6	0,5343	4,506	0,9444	0	0,4079	6,375
Run 27	0,00526	27,06	33,38	0,4939	4,413	0,9705	0	0,4411	6,131
Run 28	0,005462	26,92	33,16	0,455	4,32	0,9973	0	0,4756	5,904
Run 29	0,005664	26,76	32,95	0,4177	4,226	1,025	0	0,5115	5,693
Run 30	0,005866	26,61	32,73	0,3821	4,131	1,053	0	0,5486	5,497
Run 31	0,006068	26,46	32,51	0,348	4,036	1,082	0	0,587	5,314
Run 32	0,006269	26,3	32,29	0,3155	3,94	1,112	0	0,6267	5,143
Run 33	0,006471	26,14	32,07	0,2846	3,843	1,142	0	0,6677	4,983
Run 34	0,006673	25,97	31,85	0,2553	3,745	1,173	0	0,7101	4,832
Run 35	0,006875	25,8	31,64	0,2276	3,646	1,205	0	0,7537	4,69
Run 36	0,007077	25,63	31,42	0,2015	3,547	1,238	0	0,7986	4,556
Run 37	0,007279	25,46	31,2	0,1769	3,447	1,271	0	0,8448	4,43
Run 38	0,007481	25,28	30,98	0,154	3,346	1,305	0	0,8923	4,31
Run 39	0,007683	25,11	30,76	0,1326	3,245	1,34	0	0,9412	4,197
Run 40	0,007885	24,92	30,55	0,1129	3,143	1,375	0	0,9913	4,09
Run 41	0,008087	24,74	30,33	0,09473	3,04	1,411	0	1,043	3,988
Run 42	0,008289	24,55	30,11	0,07816	2,936	1,448	0	1,095	3,89
Run 43	0,008491	24,36	29,89	0,06318	2,832	1,485	0	1,149	3,798
Run 44	0,008693	24,17	29,67	0,04979	2,726	1,523	0	1,205	3,71
Run 45	0,008894	23,97	29,46	0,038	2,62	1,562	0	1,261	3,625
Run 46	0,009096	23,77	29,24	0,0278	2,514	1,601	0	1,319	3,545
Run 47	0,009298	23,57	29,02	0,01918	2,406	1,642	0	1,379	3,468
Run 48	0,0095	23,37	28,8	0,01217	2,298	1,682	0	1,439	3,394
Run 49	0,009702	23,16	28,58	0,006738	2,189	1,724	0	1,501	3,324
Run 50	0,009904	22,95	28,36	0,002902	2,079	1,766	0	1,564	3,256
Run 51	0,01011	22,74	28,15	0,0006585	1,969	1,809	0	1,628	3,191
Run 52	0,01031	22,52	27,93	0,00006508	1,858	1,853	0	1,694	3,128
Run 53	0,01051	22,31	27,71	0,0009464	1,746	1,897	0	1,761	3,068
Run 54	0,01071	22,08	27,49	0,003478	1,633	1,942	0	1,829	3,01
Run 55	0,01091	21,86	27,27	0,007602	1,52	1,987	0	1,899	2,955
Run 56	0,01112	21,63	27,06	0,01332	1,406	2,034	0	1,97	2,901

Parametric Table: H-Q

	Q [m ³ /s]	D _H [m]	H _{th} [m]	D _{Q;in12} [m]	D _{Q;in23} [m]	D _{Q;sf12} [m]	D _{Q;dif} [m]	D _{Q;vd} [m]	D _{th} [m]
Run 57	0,01132	21,4	26,84	0,02062	1,291	2,081	0	2,042	2,849
Run 58	0,01152	21,17	26,62	0,02952	1,175	2,128	0	2,116	2,799
Run 59	0,01172	20,94	26,4	0,04001	1,059	2,176	0	2,191	2,751
Run 60	0,01192	20,7	26,18	0,0521	0,9417	2,225	0	2,267	2,704
Run 61	0,01213	20,46	25,97	0,06577	0,8238	2,275	0	2,344	2,659
Run 62	0,01233	20,21	25,75	0,08104	0,7052	2,325	0	2,423	2,616
Run 63	0,01253	19,97	25,53	0,0979	0,5858	2,376	0	2,503	2,574
Run 64	0,01273	19,72	25,31	0,1163	0,4657	2,428	0	2,584	2,533
Run 65	0,01293	19,46	25,09	0,1364	0,3449	2,48	0	2,667	2,493
Run 66	0,01313	19,21	24,87	0,158	0,2233	2,533	0	2,751	2,455
Run 67	0,01334	18,95	24,66	0,1812	0,1009	2,587	0	2,836	2,418
Run 68	0,01354	18,67	24,44	0,2061	0	2,641	0	2,922	2,382
Run 69	0,01374	18,28	24,22	0,2325	0	2,696	0	3,01	2,347
Run 70	0,01394	17,89	24	0,2605	0	2,752	0	3,099	2,313
Run 71	0,01414	17,5	23,78	0,2901	0	2,808	0	3,19	2,28
Run 72	0,01435	17,1	23,57	0,3213	0	2,865	0	3,282	2,248
Run 73	0,01455	16,7	23,35	0,354	0	2,923	0	3,375	2,217
Run 74	0,01475	16,29	23,13	0,3884	0	2,981	0	3,469	2,186
Run 75	0,01495	15,88	22,91	0,4244	0	3,04	0	3,565	2,157
Run 76	0,01515	15,47	22,69	0,4619	0	3,1	0	3,661	2,128
Run 77	0,01536	15,05	22,48	0,5011	0	3,16	0	3,76	2,1
Run 78	0,01556	14,64	22,26	0,5418	0	3,221	0	3,859	2,073
Run 79	0,01576	14,21	22,04	0,5841	0	3,283	0	3,96	2,046
Run 80	0,01596	13,79	21,82	0,628	0	3,345	0	4,062	2,02
Run 81	0,01616	13,36	21,6	0,6736	0	3,408	0	4,166	1,995
Run 82	0,01637	12,92	21,38	0,7207	0	3,472	0	4,27	1,97
Run 83	0,01657	12,49	21,17	0,7694	0	3,536	0	4,376	1,946
Run 84	0,01677	12,04	20,95	0,8196	0	3,601	0	4,484	1,923
Run 85	0,01697	11,6	20,73	0,8715	0	3,666	0	4,592	1,9
Run 86	0,01717	11,15	20,51	0,925	0	3,733	0	4,702	1,878
Run 87	0,01738	10,7	20,29	0,9801	0	3,8	0	4,813	1,856
Run 88	0,01758	10,25	20,08	1,037	0	3,867	0	4,926	1,835
Run 89	0,01778	9,788	19,86	1,095	0	3,936	0	5,04	1,814
Run 90	0,01798	9,326	19,64	1,155	0	4,004	0	5,155	1,793
Run 91	0,01818	8,86	19,42	1,216	0	4,074	0	5,271	1,773
Run 92	0,01838	8,391	19,2	1,279	0	4,144	0	5,389	1,754
Run 93	0,01859	7,918	18,99	1,344	0	4,215	0	5,508	1,735
Run 94	0,01879	7,442	18,77	1,41	0	4,287	0	5,628	1,716
Run 95	0,01899	6,962	18,55	1,478	0	4,359	0	5,75	1,698
Run 96	0,01919	6,479	18,33	1,547	0	4,432	0	5,873	1,68
Run 97	0,01939	5,992	18,11	1,618	0	4,506	0	5,997	1,663
Run 98	0,0196	5,501	17,89	1,691	0	4,58	0	6,123	1,646
Run 99	0,0198	5,007	17,68	1,765	0	4,655	0	6,25	1,629
Run 100	0,02	4,51	17,46	1,841	0	4,73	0	6,378	1,612

Parametric Table: H-Q

	D _{rec;h} [m]	Q _l [m ³ /s]	ε [%]
Run 1	1,453	0,0002492	0,03531
Run 2	0,06348	0,0002488	7,176
Run 3	0,03002	0,0002485	15,94
Run 4	0,01859	0,0002482	23,28
Run 5	0,01286	0,0002478	29,23
Run 6	0,009445	0,0002476	34,09
Run 7	0,007198	0,0002473	38,12

Parametric Table: H-Q

	$D_{rec;h}$ [m]	Q_f [m ³ /s]	ε [%]
Run 8	0,00562	0,000247	41,5
Run 9	0,004462	0,0002468	44,39
Run 10	0,003583	0,0002466	46,88
Run 11	0,002901	0,0002464	49,06
Run 12	0,00236	0,0002462	50,97
Run 13	0,001926	0,0002461	52,68
Run 14	0,001574	0,0002459	54,2
Run 15	0,001286	0,0002458	55,58
Run 16	0,001048	0,0002457	56,82
Run 17	0,000852	0,0002456	57,96
Run 18	0,000689	0,0002456	58,99
Run 19	0,0005537	0,0002455	59,95
Run 20	0,0004414	0,0002455	60,83
Run 21	0,0003483	0,0002455	61,64
Run 22	0,0002714	0,0002455	62,39
Run 23	0,0002083	0,0002455	63,09
Run 24	0,0001569	0,0002456	63,74
Run 25	0,0001155	0,0002456	64,34
Run 26	0,0000825	0,0002457	64,91
Run 27	0,00005674	0,0002458	65,43
Run 28	0,0000371	0,000246	65,93
Run 29	0,00002262	0,0002461	66,39
Run 30	0,00001245	0,0002463	66,81
Run 31	0,000005826	0,0002465	67,22
Run 32	0,000002019	0,0002467	67,59
Run 33	3,322E-07	0,0002469	67,94
Run 34	0	0,0002471	68,26
Run 35	0	0,0002474	68,57
Run 36	0	0,0002476	68,84
Run 37	0	0,0002479	69,1
Run 38	0	0,0002482	69,34
Run 39	0	0,0002486	69,56
Run 40	0	0,0002489	69,76
Run 41	0	0,0002493	69,94
Run 42	0	0,0002497	70,1
Run 43	0	0,0002501	70,25
Run 44	0	0,0002505	70,37
Run 45	0	0,0002509	70,48
Run 46	0	0,0002514	70,57
Run 47	0	0,0002519	70,65
Run 48	0	0,0002524	70,71
Run 49	0	0,0002529	70,75
Run 50	0	0,0002534	70,78
Run 51	0	0,000254	70,78
Run 52	0	0,0002545	70,78
Run 53	0	0,0002551	70,75
Run 54	0	0,0002557	70,71
Run 55	0	0,0002563	70,66
Run 56	0	0,0002569	70,58
Run 57	0	0,0002576	70,49
Run 58	0	0,0002582	70,39
Run 59	0	0,0002589	70,26
Run 60	0	0,0002596	70,12
Run 61	0	0,0002603	69,96
Run 62	0	0,000261	69,79
Run 63	0	0,0002618	69,59

Parametric Table: H-Q

	$D_{rec,h}$ [m]	Q_1 [m ³ /s]	ε [%]
Run 64	0	0,0002625	69,38
Run 65	0	0,0002633	69,15
Run 66	0	0,0002641	68,9
Run 67	0	0,0002649	68,63
Run 68	0	0,0002657	68,27
Run 69	0	0,0002666	67,5
Run 70	0	0,0002674	66,71
Run 71	0	0,0002683	65,88
Run 72	0	0,0002691	65,02
Run 73	0	0,00027	64,12
Run 74	0	0,0002709	63,19
Run 75	0	0,0002719	62,23
Run 76	0	0,0002728	61,22
Run 77	0	0,0002737	60,19
Run 78	0	0,0002747	59,11
Run 79	0	0,0002757	57,99
Run 80	0	0,0002767	56,84
Run 81	0	0,0002777	55,64
Run 82	0	0,0002787	54,4
Run 83	0	0,0002797	53,12
Run 84	0	0,0002808	51,79
Run 85	0	0,0002818	50,42
Run 86	0	0,0002829	49
Run 87	0	0,000284	47,53
Run 88	0	0,000285	46,02
Run 89	0	0,0002861	44,45
Run 90	0	0,0002873	42,83
Run 91	0	0,0002884	41,15
Run 92	0	0,0002895	39,42
Run 93	0	0,0002907	37,63
Run 94	0	0,0002918	35,78
Run 95	0	0,000293	33,86
Run 96	0	0,0002942	31,89
Run 97	0	0,0002954	29,85
Run 98	0	0,0002966	27,73
Run 99	0	0,0002978	25,55
Run 100	0	0,000299	23,3

DATOS

$$g = 9,8066 \text{ [m/s}^2\text{]} \text{ Gravedad}$$

$$\rho = \rho[\text{water}; T = T; P = P] \text{ Densidad del agua}$$

$$T = 25 \text{ [C]} \text{ Temperatura del agua}$$

$$P = 1013 \text{ [kPa]} \text{ Presión ambiente}$$

$$R_1 = \frac{D_1}{2} \text{ Radio entrada del impulsor}$$

$$R_2 = \frac{D_2}{2} \text{ Radio exterior del impulsor}$$

$$R_3 = \frac{D_3}{2} \text{ Radio voluta}$$

$$R_s = \frac{D_s}{2} \text{ Radio del eje}$$

$$\omega = N \cdot \left| 0,1047 \cdot \frac{\text{rad/s}}{\text{rev/min}} \right| \text{ Velocidad angular}$$

CÁLCULO ALTURA TEÓRICA BOMBA

$$H_{th} = \frac{U_2 \cdot C_{t2}}{g} \text{ Altura teórica de la bomba}$$

$$\sigma = 1 - \frac{\sin^{1/2} [90 \text{ [deg]} - \beta_2]}{Z^{0,7}} \text{ Factor de resbalamiento}$$

$$U_2 = \omega \cdot R_2 \text{ Velocidad tangencial de salida}$$

$$W_2 = [W_{r2}^2 + W_{t2}^2]^{1/2} \text{ Velocidad relativa de salida}$$

$$W_{r2} = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot R_2 \cdot B_2}$$

Velocidad relativa radial de salida

$$W_{t2} = W_{r2} \cdot \tan [\beta_2] + [1 - \sigma] \cdot U_2$$

Velocidad relativa tangencial de salida

$$C_2 = [C_{r2}^2 + C_{t2}^2]^{1/2} \text{ Velocidad absoluta de salida}$$

$$C_{r2} = W_{r2}$$

Velocidad absoluta radial de salida

$$C_{t2} = U_2 \cdot \sigma - W_{r2} \cdot \tan [\beta_2]$$

Velocidad absoluta tangencial de salida**PÉRDIDAS****Pérdidas de incidencia**

$$D_{Q;in12} = \frac{\omega_1^2}{2 \cdot g} \cdot \left[\frac{1}{\lambda} \right]^2 \cdot \left[1 - \frac{\lambda \cdot \cos(\beta_{f1})}{\cos(\beta_1)} \right]^2$$

Relación velocidades lambda

$$\lambda = \frac{\omega_1}{W_s}$$

$$\lambda = \text{RATIO}_1 - \text{TERM}_1$$

$$\text{RATIO}_1 = \frac{\cos[\beta_{f1}]}{\cos[2 \cdot \beta_{f1} - \beta_1]}$$

$$\text{TERM}_1 = O \cdot \left[\frac{\cos^2(\beta_{f1}) - \cos(\beta_1) \cdot \cos(2 \cdot \beta_{f1} - \beta_1)}{\cos^2(2 \cdot \beta_{f1} - \beta_1)} \right]^{0.5}$$

$$O = \text{If}[\text{RATIO}_1; 0; -1; 1; 1]$$

Función para tener valor absoluto

$$M = \text{IFW1}[W_1]$$

Función para obtener valor absoluto

$$\omega_1 = M \cdot W_1 \quad \text{Valor absoluto } W$$

$$U_1 = \omega \cdot R_1 \quad \text{Cálculo } U_1$$

$$C_1 = \frac{Q}{\frac{\pi \cdot [D_1^2 - D_s^2]}{4}} \quad \text{Cálculo } C_1$$

$$\tan[\beta_{f1}] = \frac{U_1}{C_1} \quad \text{Cálculo } \beta_{f1}$$

$$\cos[\beta_{f1}] = \frac{C_1}{W_1} \quad \text{Cálculo } W_1$$

Diámetro hidráulico

$$D_{hyd12} = B \cdot \left[\frac{\frac{\pi \cdot D_2}{Z} \cdot \cos(\beta_2)}{B + \frac{\pi \cdot D_2}{Z} \cdot \cos(\beta_2)} \right]$$

Pérdidas de rozamiento superficial

$$D_{Q;sf12} = C_{fs} \cdot \left[\frac{D_2 - D_1}{2 \cdot \cos(\beta_2)} \right] \cdot \frac{1}{D_{hyd12}} \cdot \frac{[W_2 + \omega_1]^2}{4 \cdot g}$$

$$D_{Q;dif} = X \cdot \frac{0,25 \cdot \omega_1^2}{2 \cdot g} \quad \text{Pérdidas de difusión}$$

$$X = \text{If} \left[\frac{\omega_1}{W_2}; 1,4; 0; 0; 1 \right]$$

Función para cálculo a partir de relación 1,4

$$D_{Q;in23} = kl \cdot 0,8 \cdot \left[\frac{C_3^2 - C_{Q3}^2}{2 \cdot g} \right] \quad \text{Pérdida de presión en la voluta}$$

$$C_3 = C_{t2} \cdot \frac{D_2}{D_3} \quad \text{Velocidad teórica en la voluta}$$

$$C_{Q3} = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot R_3 \cdot B_3 \cdot \cos[\beta_3]} \quad \text{Velocidad en la voluta}$$

$$kl = \text{If} [C_3^2 - C_{Q3}^2; 0; 0; 1; 1] \quad \text{Función valor positivo}$$

$$D_{Q;vd} = C_{vd} \cdot \frac{C_{Q3}^2}{2 \cdot g} \quad \text{Pérdidas en el difusor}$$

$$D_{fh} = \frac{C_{df} \cdot \omega^3 \cdot \left[\frac{D_2}{2} \right]^5}{Q \cdot g} \quad \text{Pérdidas por fricción en el disco}$$

Pérdidas por recirculación

$$D_{rec;h} = C_{rec} \cdot \frac{\omega^3}{2} \cdot \frac{1}{g \cdot Q} \cdot [R_1^2 - R_s^2]^{2,5} \cdot EQ^{2,5}$$

$$EQ = \text{IFTest} [Q; Q_0]$$

Función para limitar la pérdida a Q₀

Caudal de fugas

$$Q_l = C_{con} \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_1 \cdot \text{ancho} \cdot \left[2 \cdot g \cdot \left(H_{th} - \frac{C_2^2}{2 \cdot g} + \frac{C_1^2}{2 \cdot g} - \frac{1/8 \cdot \omega^2 \cdot [R_2^2 - R_1^2]}{2 \cdot g} \right) \right]^{0,5}$$

$$\text{ancho} = 0,000125 \quad [\text{m}]$$

Ancho del espacio entre disco y carcasa

ALTURA TOTAL

$$D_H = H_{th} - [D_{Q;in12} + D_{Q;in23} + D_{Q;sf12} + D_{Q;dif} + D_{Q;vd}]$$

EFICIENCIA

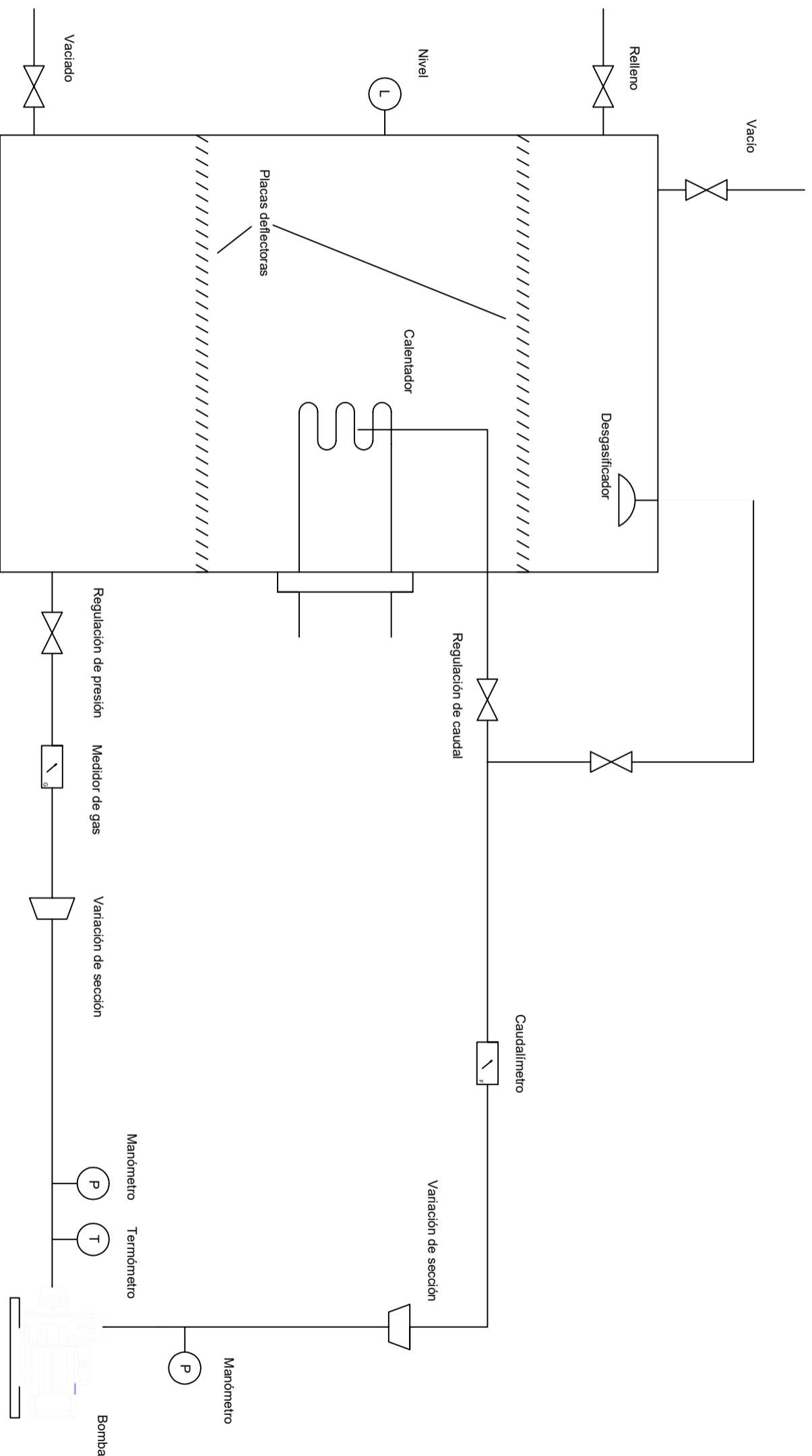
$$\varepsilon = Y \cdot \left[\frac{D_H}{H_{th} + D_{fh} + D_{rec;h}} \right] \cdot \left[\frac{Q}{Q + Q_l} \right] \quad \text{Eficiencia}$$

$$Y = 100 \quad [\%]$$

“PROYECTO DE BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS CENTRÍFUGAS”

PLANOS

- 1 PROPUESTA INICIAL BANCO DE PRUEBAS
- 2 ESQUEMA BANCO DE BOMBAS
- 3 DISPOSICIÓN BRIDAS TANQUE
- 4 TRAMOS BOMBA 0,5 CV
- 5 TRAMOS BOMBA 1 CV
- 6 TRAMOS BOMBA 2 CV
- 7 TRAMOS BOMBA 4 CV
- 8 BOMBA 0,5 CV [39]
- 9 BOMBA 1 CV [39]
- 10 BOMBA 2 CV [39]
- 11 BOMBA 4 CV [39]
- 12 TANQUE GT 1200 AS [42]



SÍMBOLOS	SIGNIFICADO
	Válvula
	Indicador de nivel
	Indicador de temperatura
	Indicador de presión
	Indicador de concentración de gas
	Indicador de caudal
	Enanchar/Estrechamiento


**GRADO EN TECNOLOGÍAS MARINAS
ENERGÍA Y PROPULSIÓN
E.T.S.N.M**

TÍTULO DEL PROYECTO:

BANCO DE PRuebas PARA BOMBAS CENTRIFUGAS

TÍTULO DEL PLANO:

PROPUESTA INICIAL BANCO DE PRuebas

AUTOR:

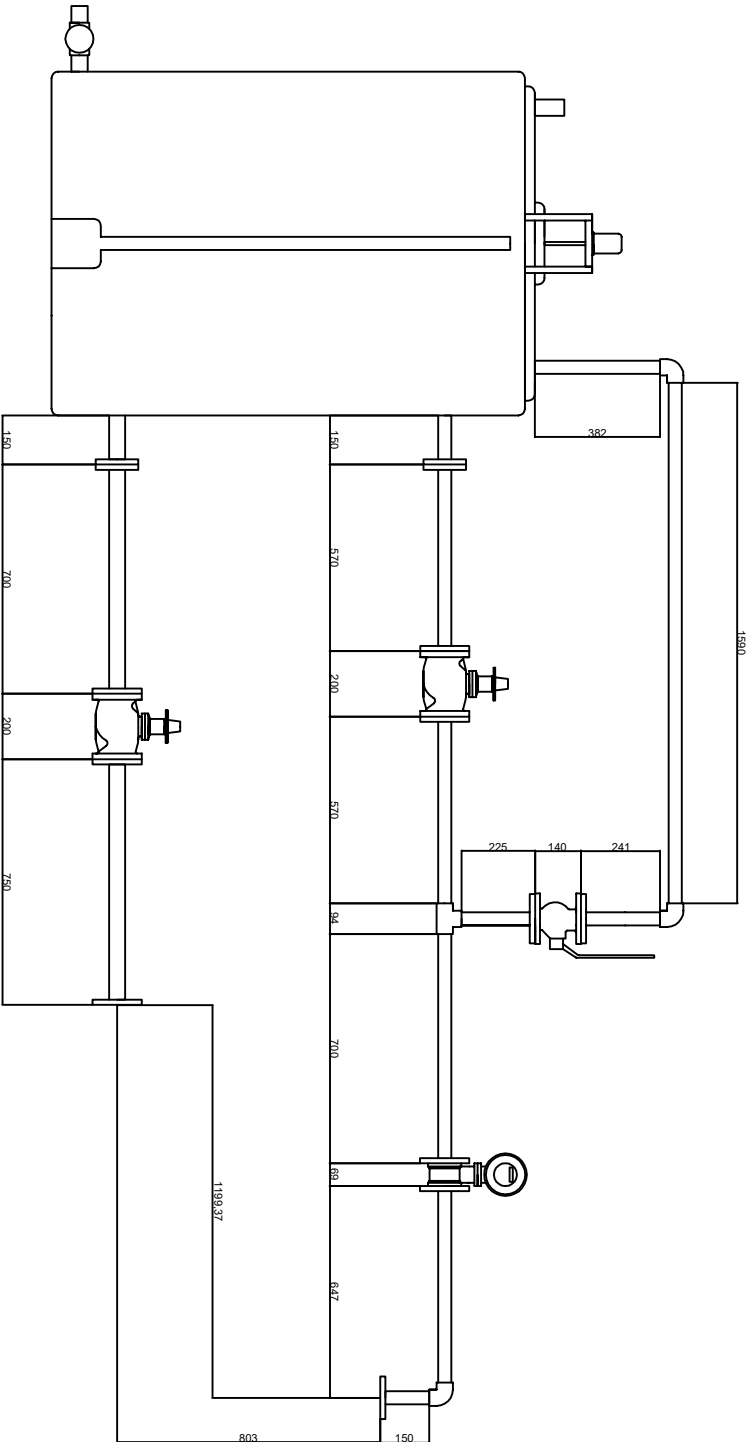
ALEXANDRE CORREA HAZ

FIRMA:

FECHA:
SEP 2016

ESCALA:
N/A

PLANO N.º:
1



GRADO EN TECNOLOGÍAS MARINAS
ENERGÍA Y PROPULSION
E.T.S.N.I.M

PROYECTO FIN DE GRADO
NÚMERO: TFG/GTM/E-10-1

TÍTULO DEL PROYECTO:

BANCO DE PROBAS PARA BOMBAS CENTRIFUGAS

TÍTULO DEL PLANO:

ESQUEMA BANCO DE BOMBAS

FECHA:

SEP 2016

ESCALA:

N/A

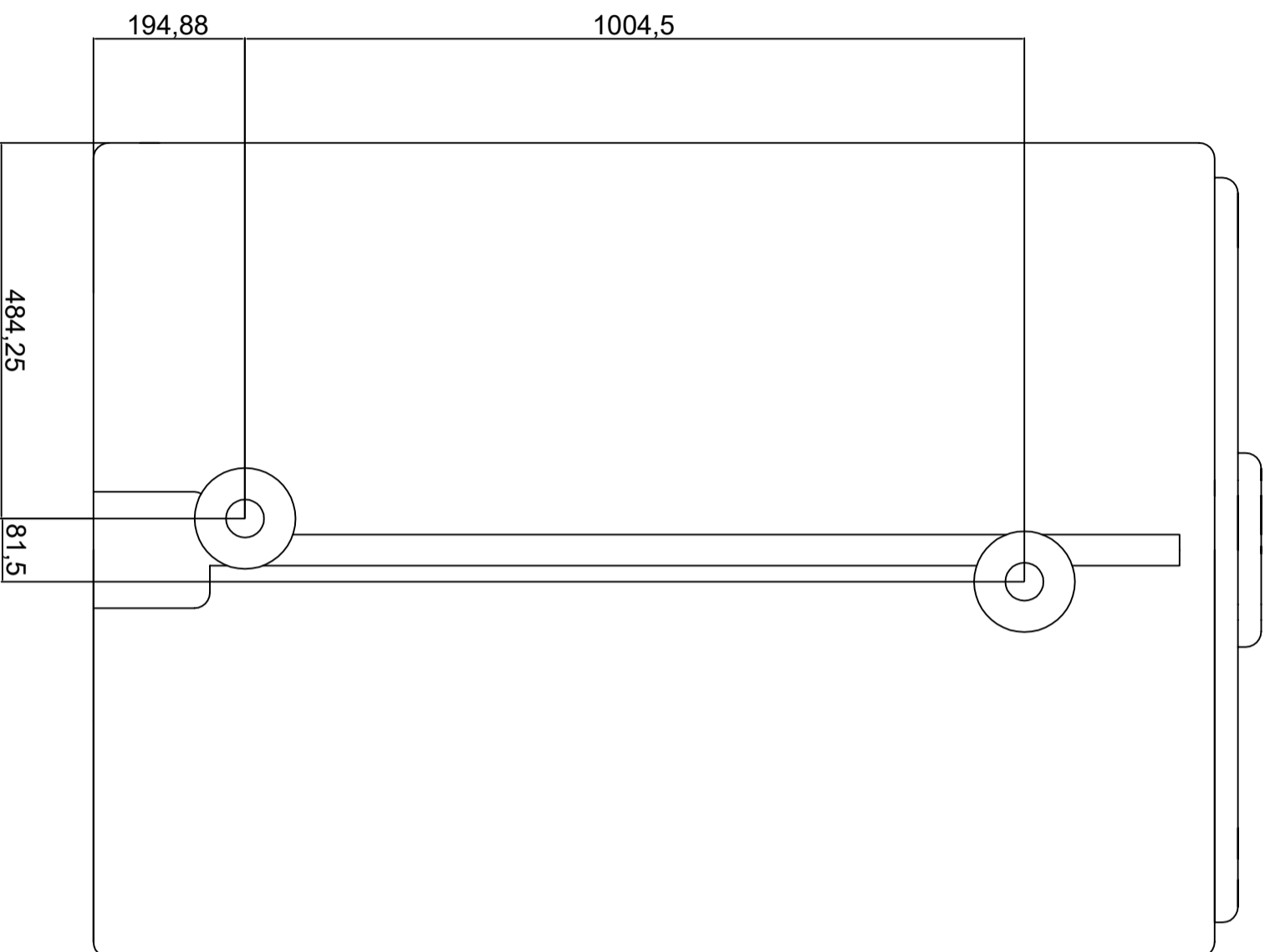
AUTOR:

ALEXANDRE CORREA HAZ

FIRMA:

PLANO N.º:

2



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

GRADO EN TECNOLOGÍAS MARINAS
ENERGÍA Y PROPULSIÓN
E.T.S.N.M

PROYECTO FIN DE GRADO
NÚMERO: TFG/GTME-10-16

TÍTULO DEL PROYECTO:

BANCO DE PRuebas PARA BOMBAS CENTRIFUGAS

TÍTULO DEL PLANO:

DISPOSICIÓN BRIDAS TANQUE

AUTOR:

ALEXANDRE CORREA HAZ

FIRMA:

FECHA:

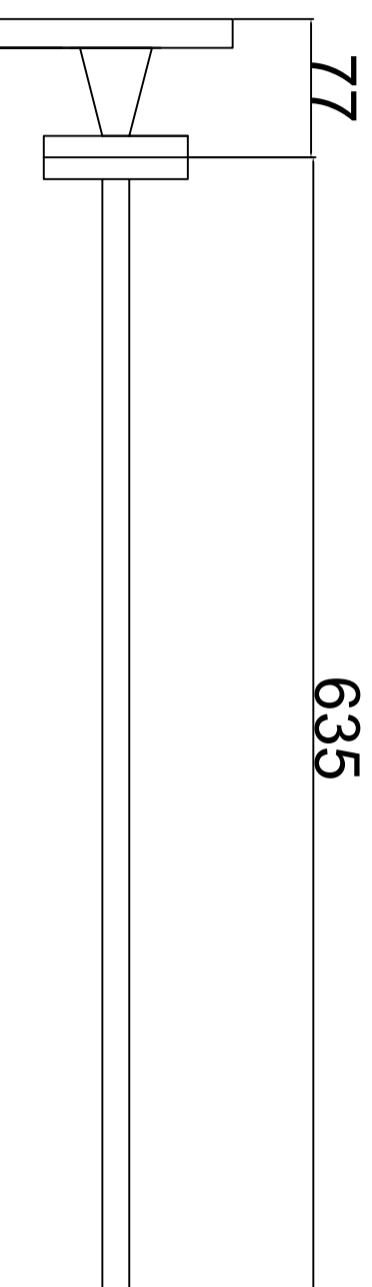
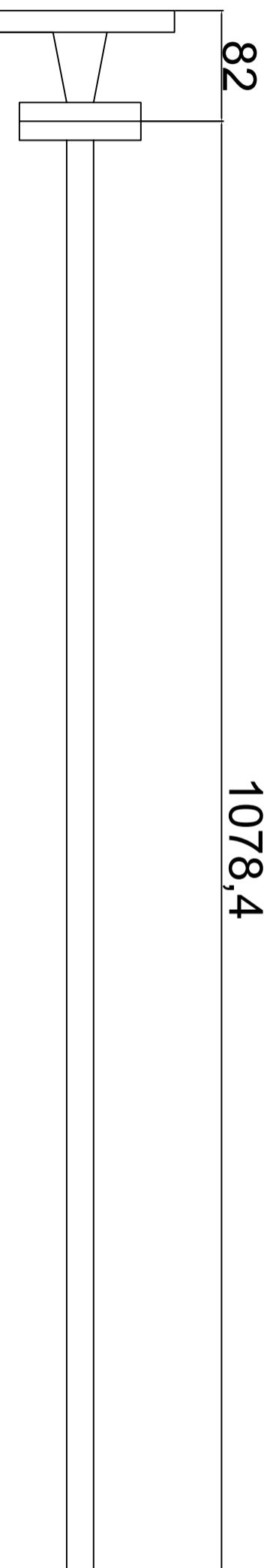
SEP 2016

ESCALA:

N/A

PLANO Nº:

3



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

GRADO EN TECNOLOGÍAS MARINAS
ENERGÍA Y PROPULSIÓN
E.T.S.N.M

PROYECTO FIN DE GRADO
NÚMERO: TFG/GTME-10-16

TÍTULO DEL PROYECTO:

BANCO DE PRuebas PARA BOMBAS CENTRIFUGAS

TÍTULO DEL PLANO:

TRAMOS BOMBA 0,5 CV

FECHA:
SEP 2016

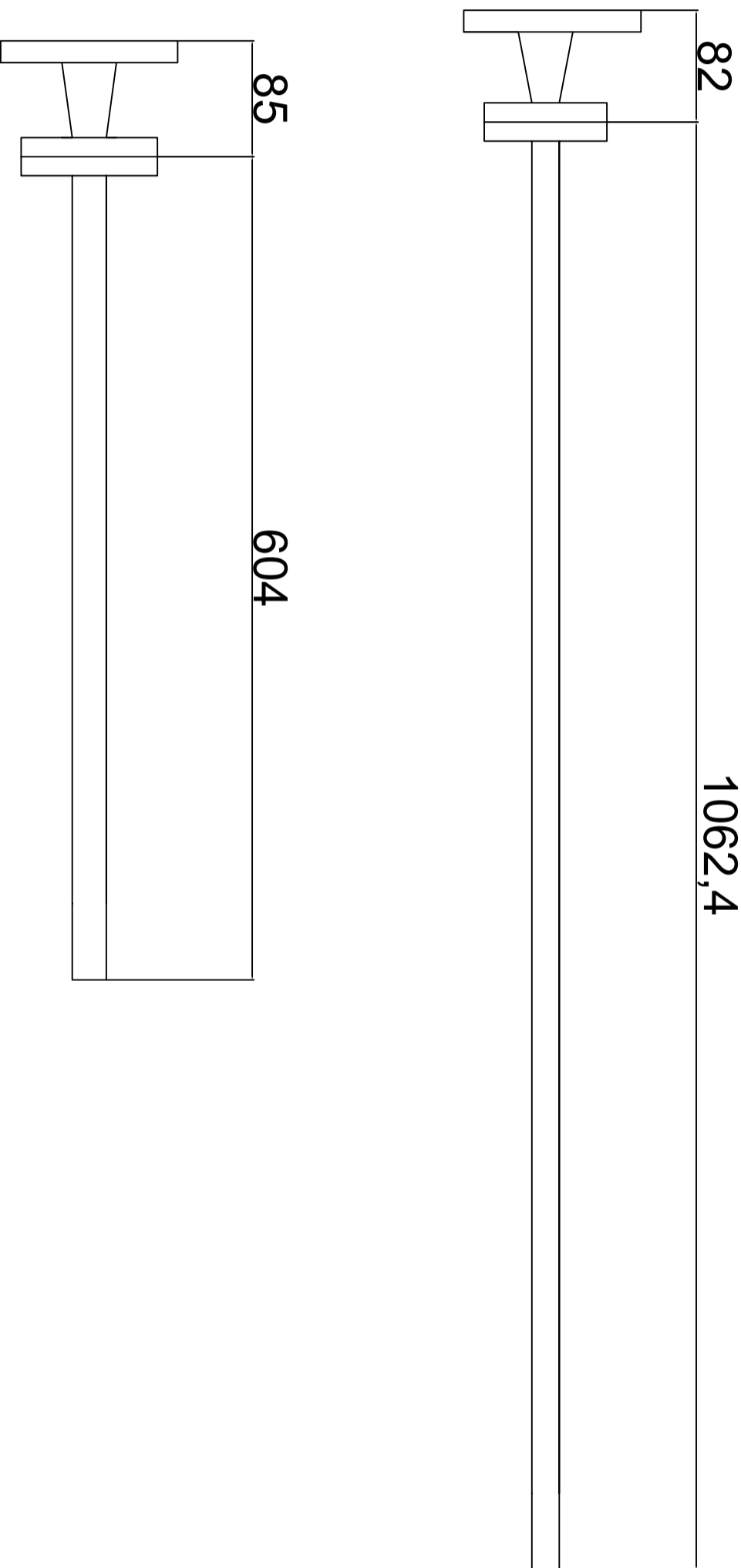
ESCALA:
N/A

AUTOR:

ALEXANDRE CORREA HAZ

FIRMA:

PLANO Nº:
4



 UNIVERSIDADE DA CORUÑA	GRADO EN TECNOLOGÍAS MARINAS ENERGÍA Y PROPULSIÓN E.T.S.N.M	PROYECTO FIN DE GRADO NÚMERO: TFG/GTME-10-16
---	---	---

TÍTULO DEL PROYECTO:
BANCO DE PRuebas PARA BOMBAS CENTRIFUGAS

TÍTULO DEL PLANO:
TRAMOS BOMBA 1 CV

FECHA:
SEP 2016

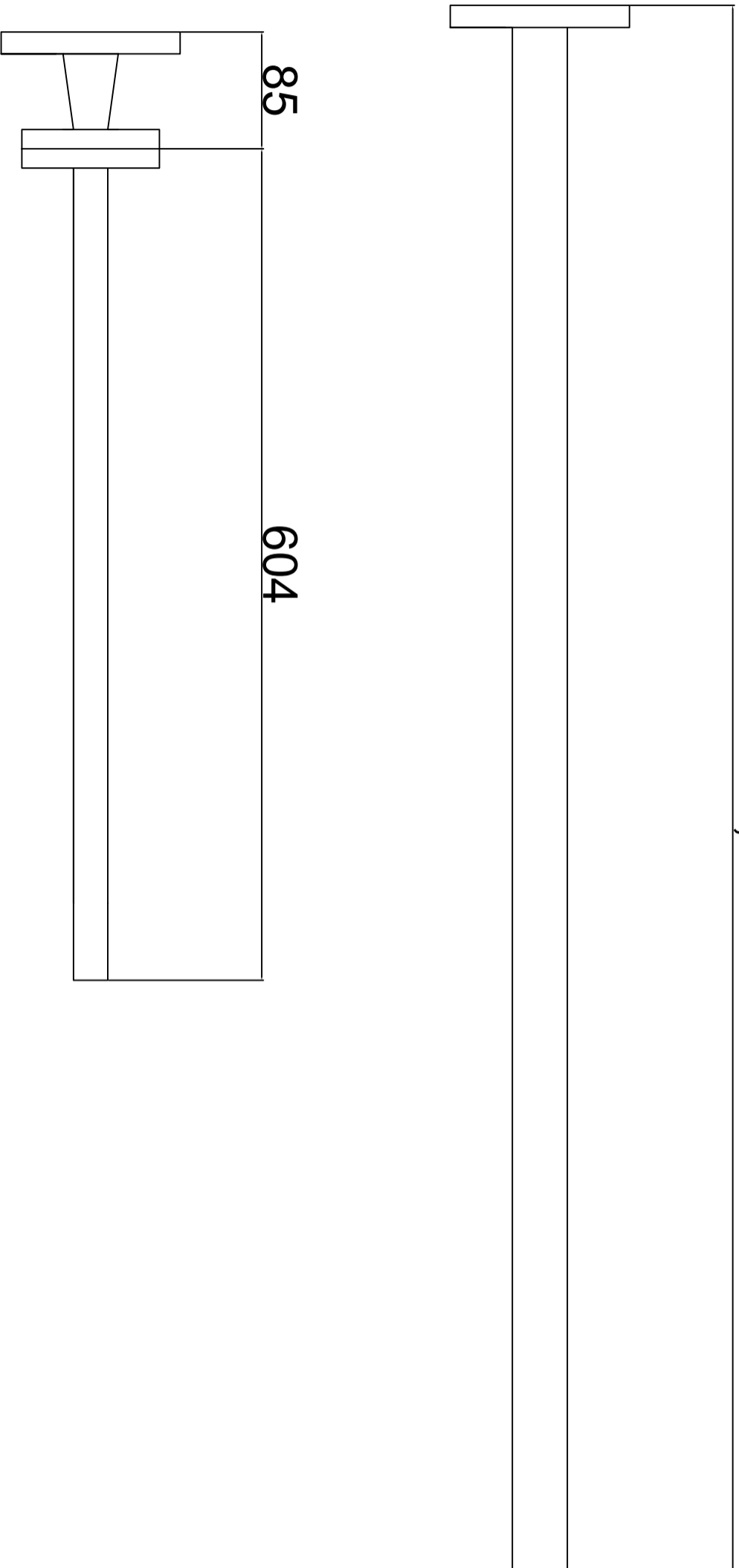
AUTOR:
ALEXANDRE CORREA HAZ

FIRMA:

ESCALA:
N/A

PLANO N.º:
5

1144,4



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

GRADO EN TECNOLOGÍAS MARINAS
ENERGÍA Y PROPULSIÓN
E.T.S.N.M

PROYECTO FIN DE GRADO
NÚMERO: TFG/GTM/E-10-16

TÍTULO DEL PROYECTO:

BANCO DE PROBAS PARA BOMBAS CENTRIFUGAS

TÍTULO DEL PLANO:

TRAMOS BOMBA 2 CV

FECHA:
SEP 2016

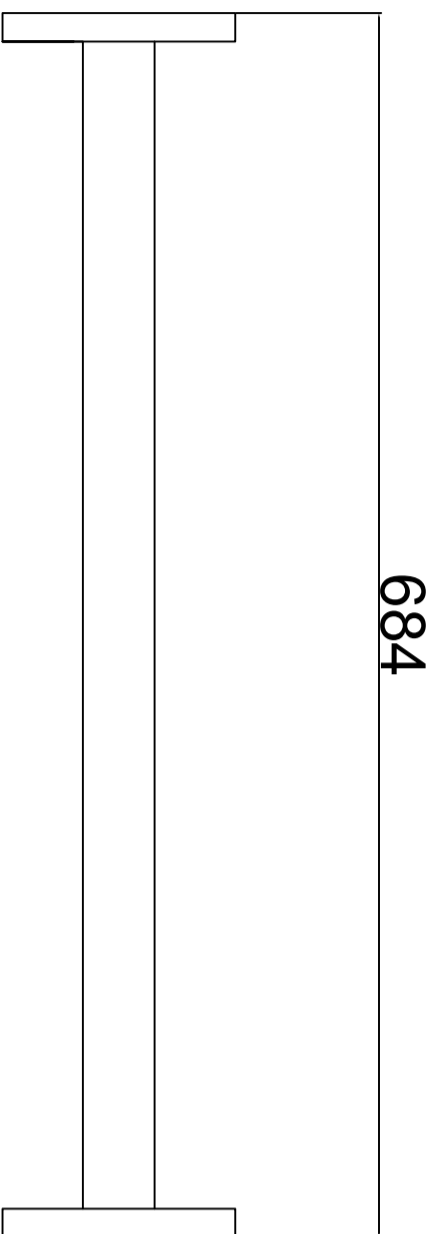
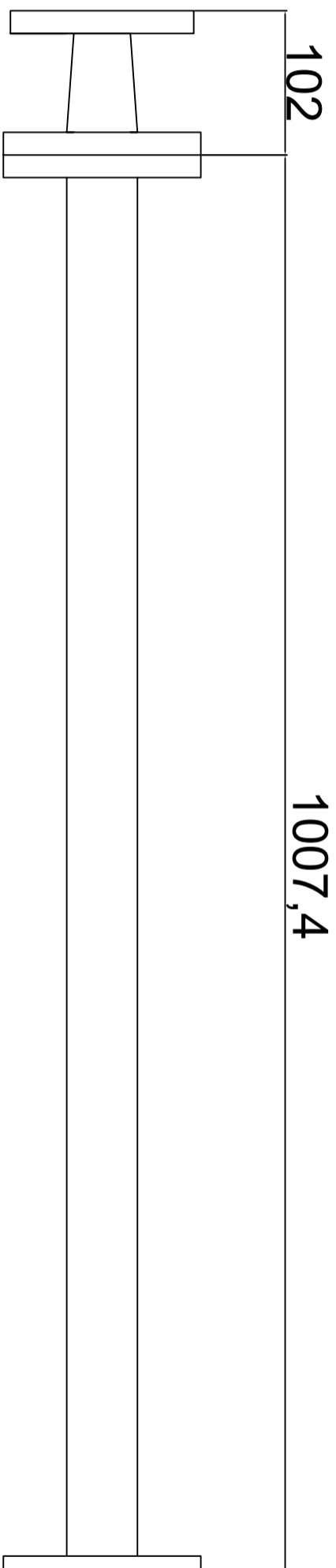
ESCALA:
N/A

AUTOR:

ALEXANDRE CORREA HAZ

FIRMA:

PLANO Nº:
6



GRADO EN TECNOLOGÍAS MARINAS
ENERGÍA Y PROPULSIÓN
E.T.S.N.M

PROYECTO FIN DE GRADO
NÚMERO: TFG/GTME-10-16

TÍTULO DEL PROYECTO:

BANCO DE PROBAS PARA BOMBAS CENTRIFUGAS

TÍTULO DEL PLANO:

TRAMOS BOMBA 4 CV

FECHA:
SEP 2016

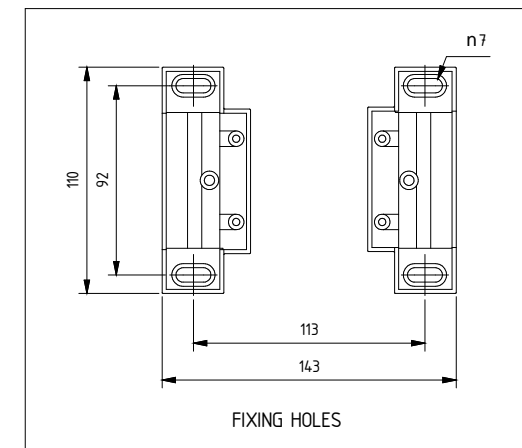
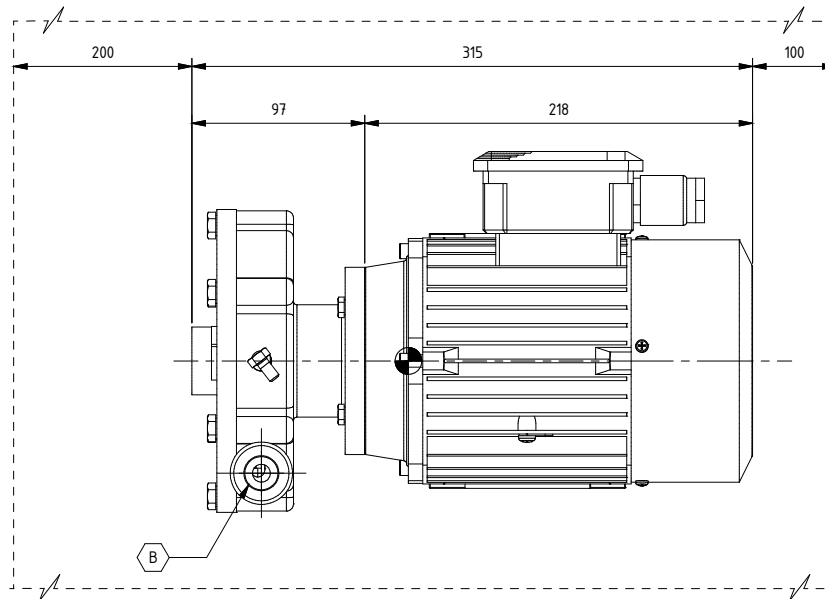
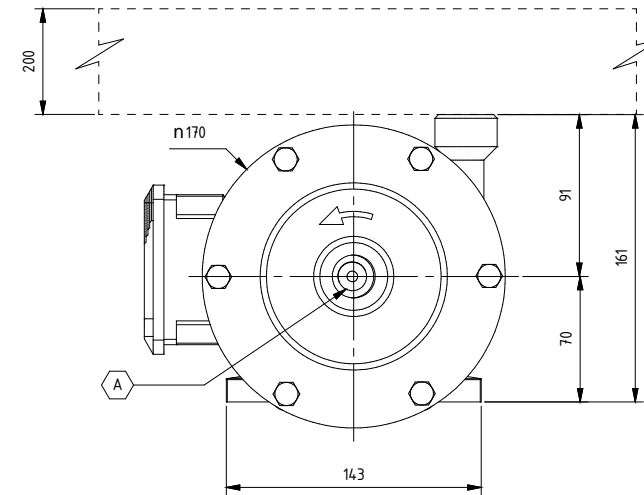
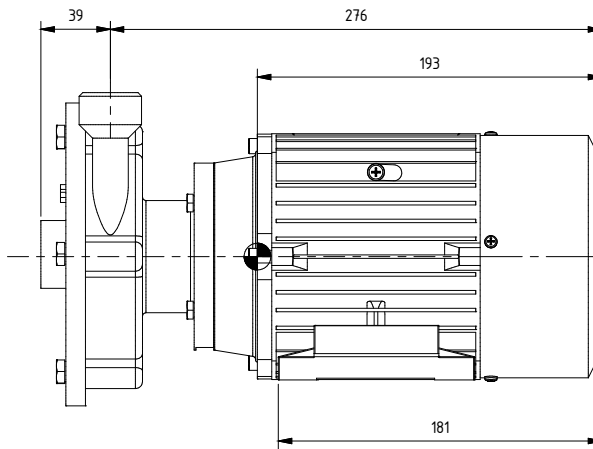
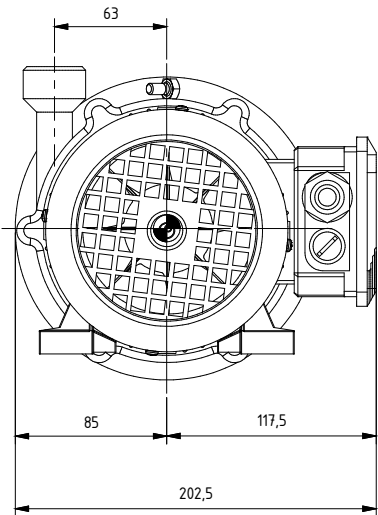
ESCALA:
N/A

AUTOR:

ALEXANDRE CORREA HAZ

FIRMA:

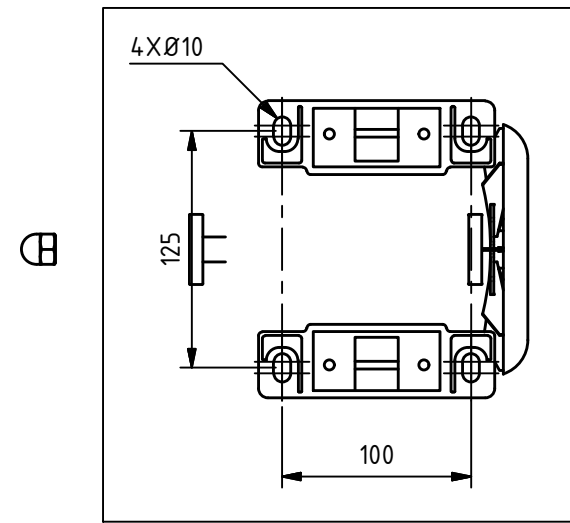
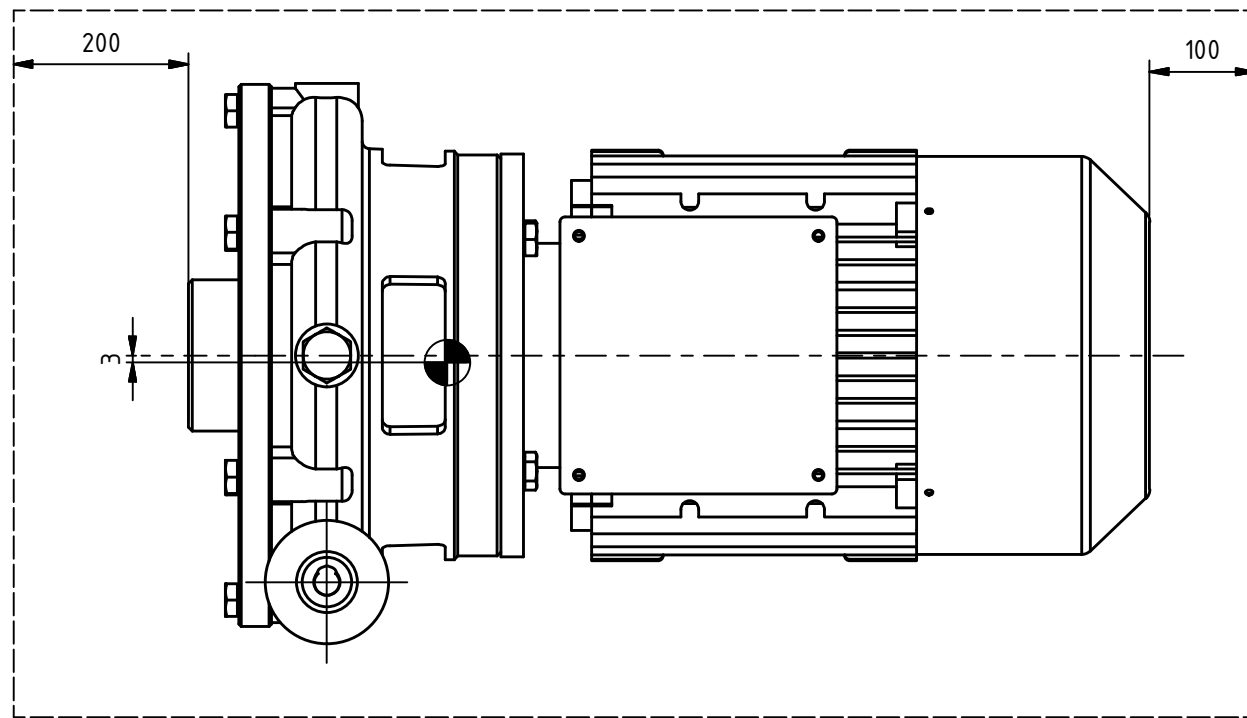
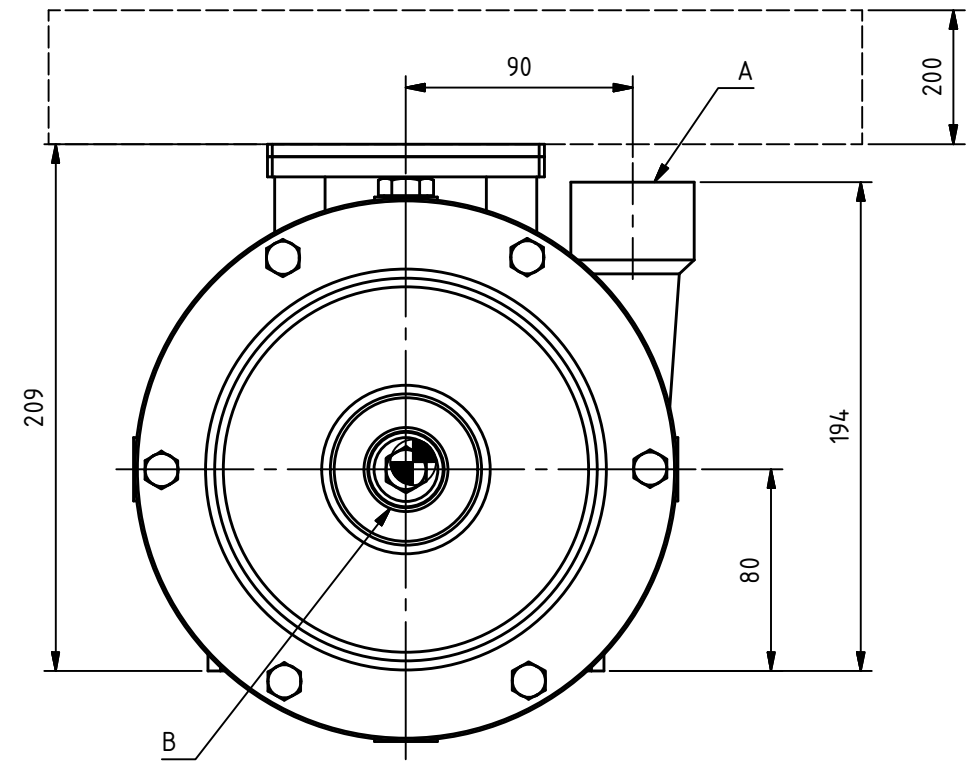
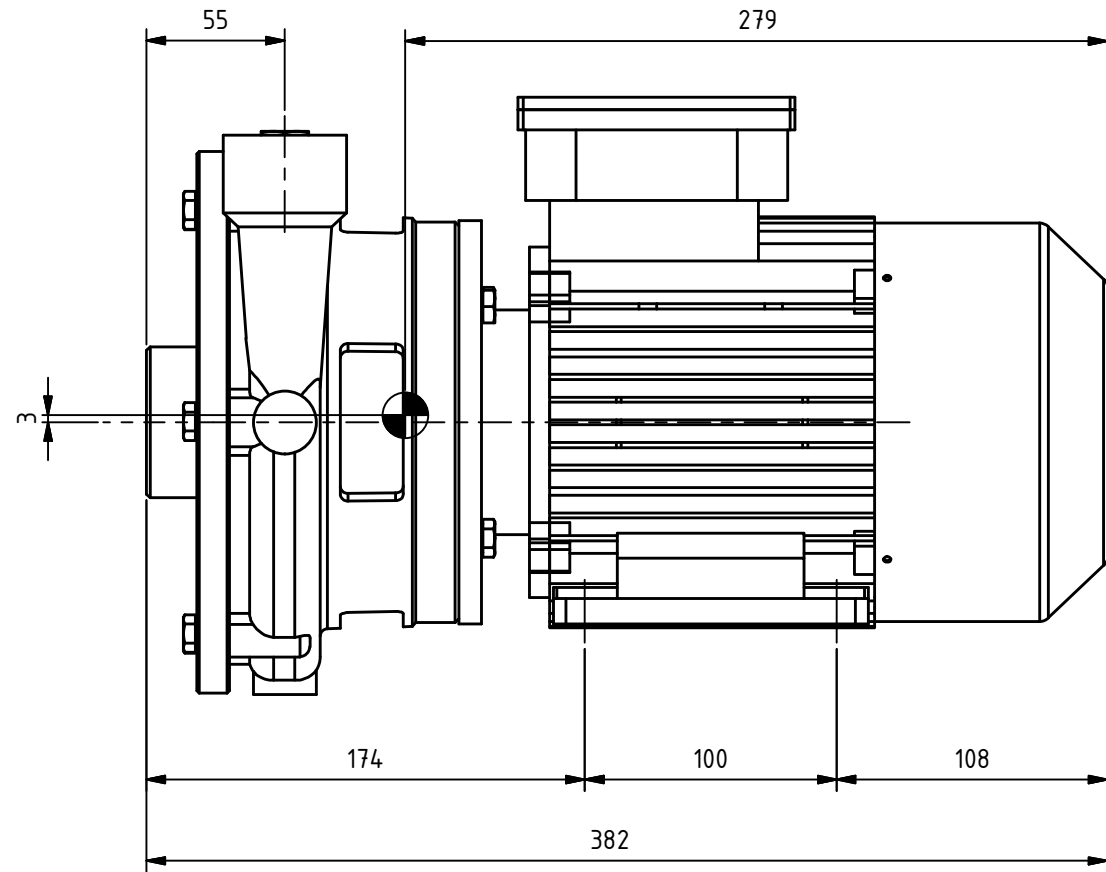
PLANO Nº:
7



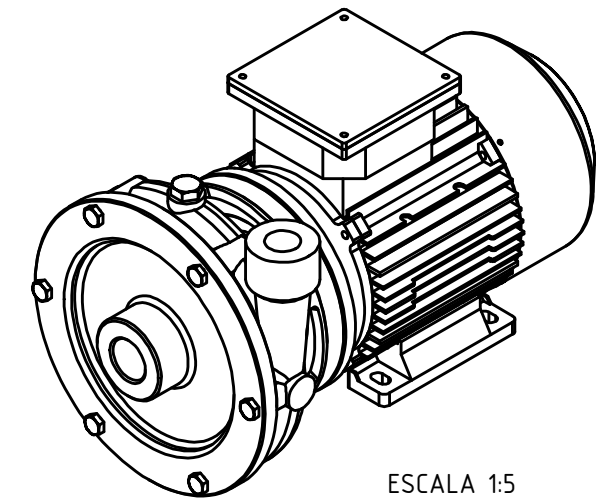
CENTER OF GRAVITY	
EMPTY WEIGHT	8 kg
OPERATIONAL WEIGHT	9.5 kg
MAINTENANCE SPACES	
SERVICING SPACES	

ITEM	DESCRIPTION	SIZE
A	WATER INLET	3/4"(F) BSP
B	WATER OUTLET	1/2"(F) BSP


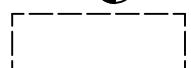
01	DEFINICIÓN ESPACIO DE MANTENIMIENTO	13/02/15				
REV	DESCRIPTION	DATE	APPROVED			
REVISION TABLE						
MADE BY MMR	DATE 11/12/2014		NORM/STANDARDS UNE-EN 22768-C			
CHECKED BY JPL	DATE 11/12/2014		REFERENCE Nº 12895			
APPROVED BY AFL	DATE 11/12/2014		UNITS: mm			
Pol. O Acevedo - CERCEDA A. CORUÑA - 15185 Tfn: +34-981250111 Fax: +34-981258439 E-mail: gefico@gefico.com		DESCRIPTION GENERAL ARRANGEMENT BOMBA GF 0.5 CV				
		1:3	12-0013-01	01	1 / 1	A3
SCALE		DRAWING Nº		REV.	SHEET Nº	FORMAT
<small>NOTICE:</small> THIS DRAWING HAS NOT BEEN PUBLISHED AND IS THE SOLE PROPERTY OF GEFICO ENTERPRISE AND IS LENT TO THE BORROWER FOR HIS CONFIDENTIAL USE ONLY AND IN CONSIDERATION OF THE LOAN OF THIS DRAWING, THE BORROWER PROMISES AND AGREES TO RETURN IT UPON REQUEST AND AGREES THAT IT SHALL NOT BE REPRODUCED, COPIED, LENT OR OTHERWISE DISPOSED OF DIRECTLY OR INDIRECTLY, NOT USED IN ANY WAY DETRIMENTAL TO THE INTEREST OF THIS COMPANY.						



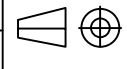

FIXING HOLES
ESCALA 1:4



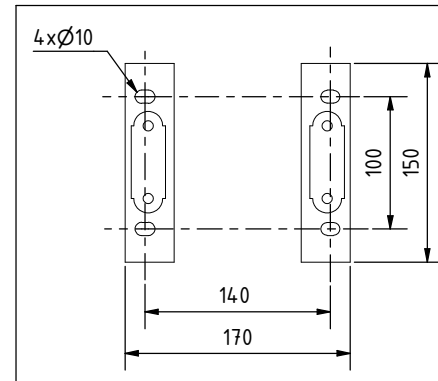
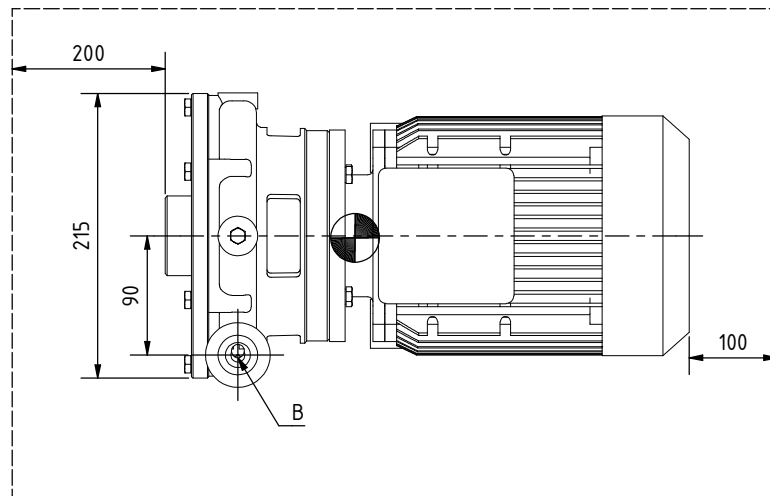
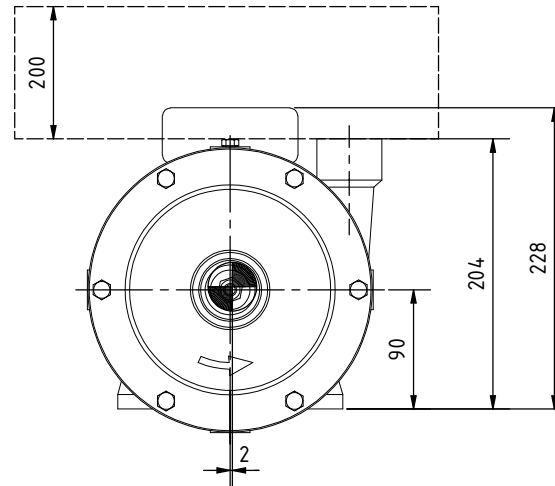
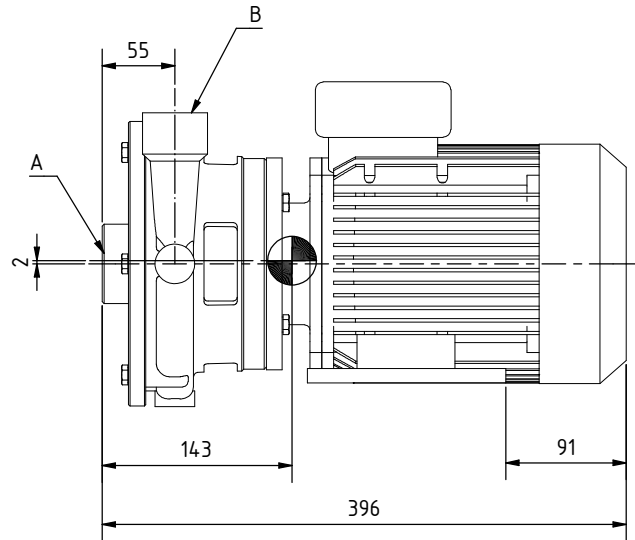
ESCALA 1:5

EMPTY WEIGHT: 25Kg
 OPERATIONAL WEIGHT: 30 Kg
 CENTER OF GRAVITY: 
 MAINTENANCE SPACES: 

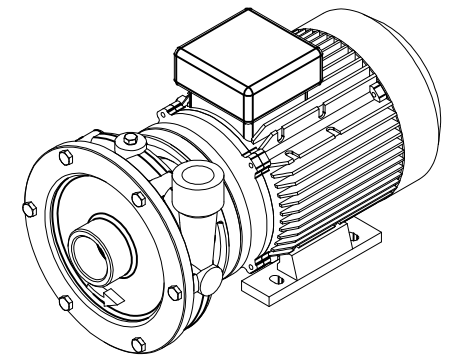
A	DESCARGA DISCHARGE	3/4" BSP(F)
B	ASPIRACION SUCTION	1" BSP(F)

REVISION HISTORY						
REV	DESCRIPTION	DATE	APPROVED			
1	ADD MAINTENANCE SPACES	07/05/2015	MH			
MADE BY JPL	DATE 06/08/2012	 NORM/STANDARS UNE-EN 22768-C REFERENCE Nº 10 719 UNITS: mm	DESCRIPTION GENERAL ARRANGEMENT 1HP PUMP			
CHECKED BY JLM	DATE 07/08/2012					
APPROVED BY AFL	DATE 07/08/2012					
 Pol. O Acevedo - CERCEDA A CORUÑA - 15185 Tfno: +34-981250111 Fax: +34-981258439 E.mail: gefico@gefico.com		SCALE 1:3	DRAWING Nº 12-0008-01	REV. 1	SHEET Nº 1 / 1	FORMAT A3

NOTICE:
 THIS DRAWING HAS NOT BEEN PUBLISHED AND IS THE SOLE PROPERTY OF GEFICO ENTERPRISE AND IS LENT TO THE BORROWER FOR HIS CONFIDENTIAL USE ONLY AND IN CONSIDERATION OF THE LOAN OF THIS DRAWING, THE BORROWER PROMISES AND AGREES TO RETURN IT UPON REQUEST AND AGREES THAT IT SHALL NOT BE REPRODUCED, COPIED, LENT OR OTHERWISE DISPOSED OF DIRECTLY OR INDIRECTLY, NOT USED IN ANY WAY DETRIMENTAL TO THE INTEREST OF THIS COMPANY.

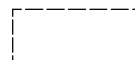


FIXING HOLES DETAIL



MADE BY VFF	DATE 18/05/2015		NORM/STANDARS UNE-EN 22768-C		
CHECKED BY VFF	DATE 19/05/2015		REFERENCE Nº 12905		
APPROVED BY MH	DATE 19/05/2015	UNITS: mm	DESCRIPTION 2HP 400V 50Hz PUMP GENERAL ARRANGEMENT		
 <small>Pol. O Acevedo - CEREDA A. CORUÑA - 15185 Tfno: +34-981250111 Fax: +34-981258439 Email: gefico@gefico.com</small>			S/E 12-0021-01	1 / 1	A3
			SCALE	DRAWING Nº	REV.
<small>NOTICE: THIS DRAWING HAS NOT BEEN PUBLISHED AND IS THE SOLE PROPERTY OF GEFICO ENTERPRISE AND IS LENT TO THE BORROWER FOR HIS CONFIDENTIAL USE ONLY AND IN CONSIDERATION OF THE LOAN OF THIS DRAWING, THE BORROWER PROMISES AND AGREES TO RETURN IT UPON REQUEST AND AGREES THAT IT SHALL NOT BE REPRODUCED, COPIED, LENT OR OTHERWISE DISPOSED OF DIRECTLY OR INDIRECTLY, NOT USED IN ANY WAY DETRIMENTAL TO THE INTEREST OF THIS COMPANY.</small>					

MAINTENANCE SPACE
SERVICING SPACE

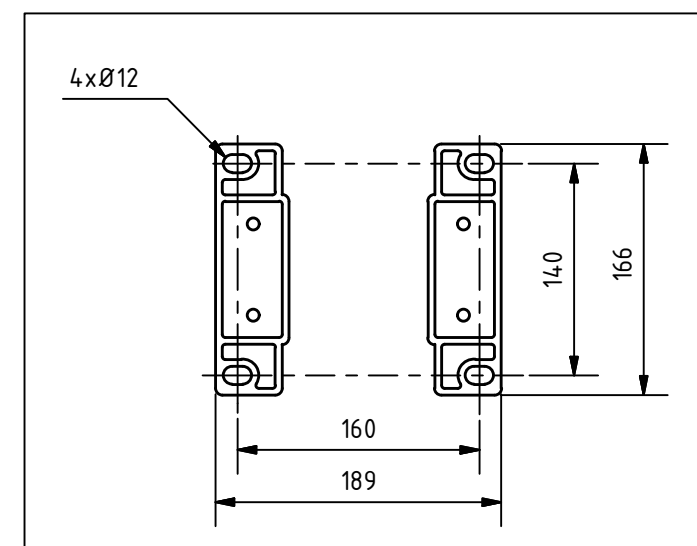
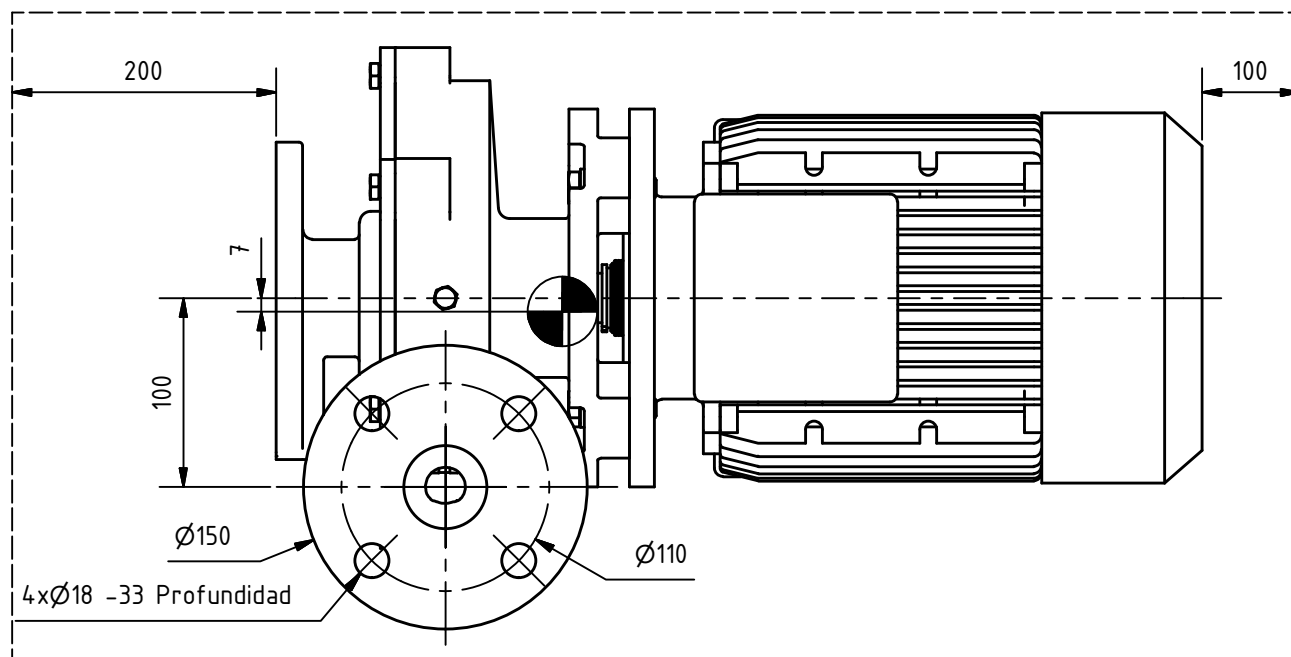
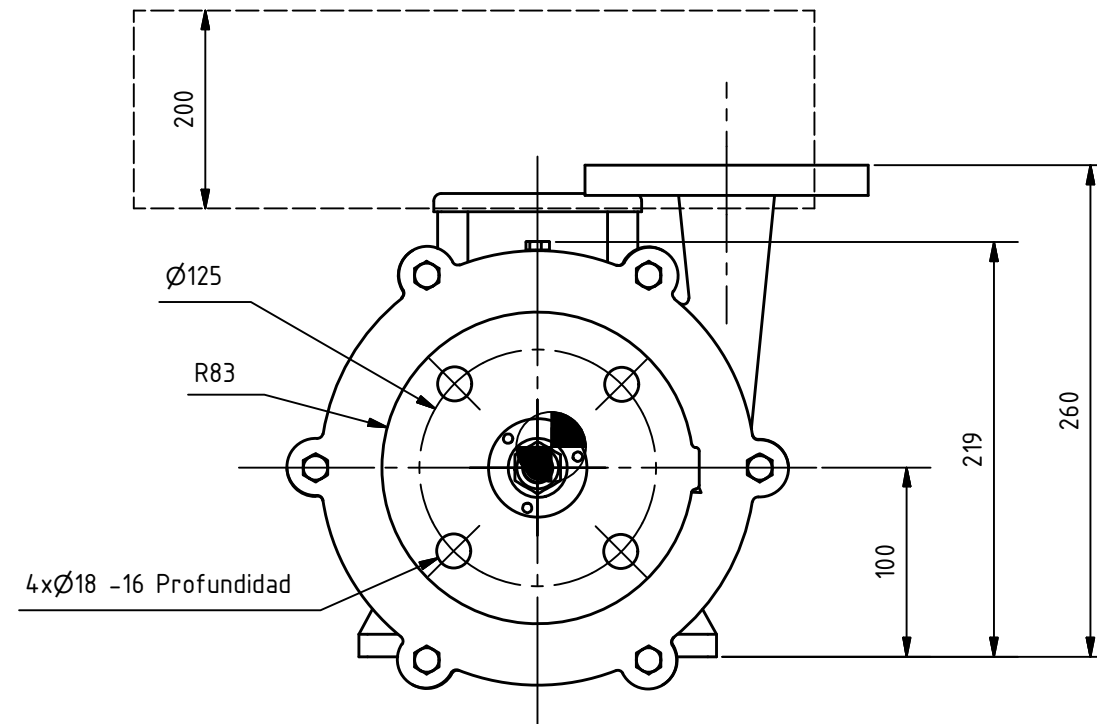
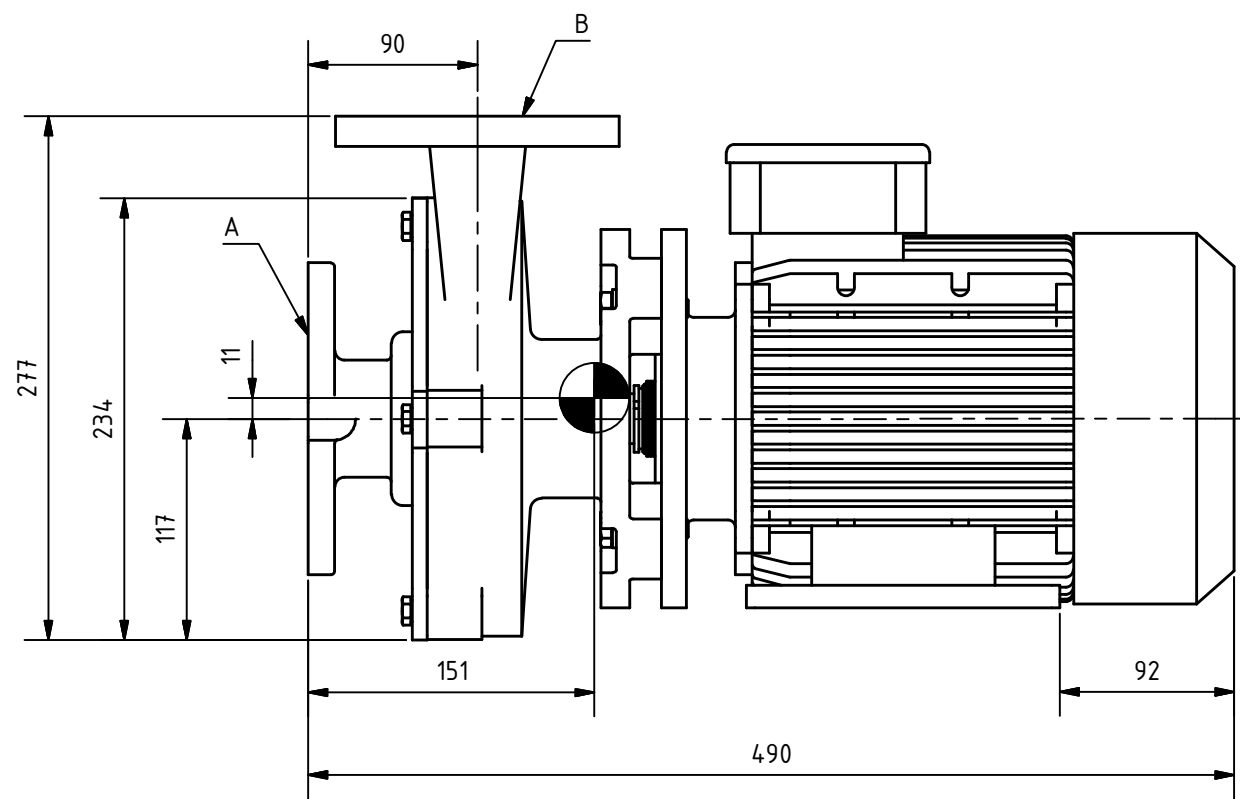


CENTRO DE GRAVEDAD:

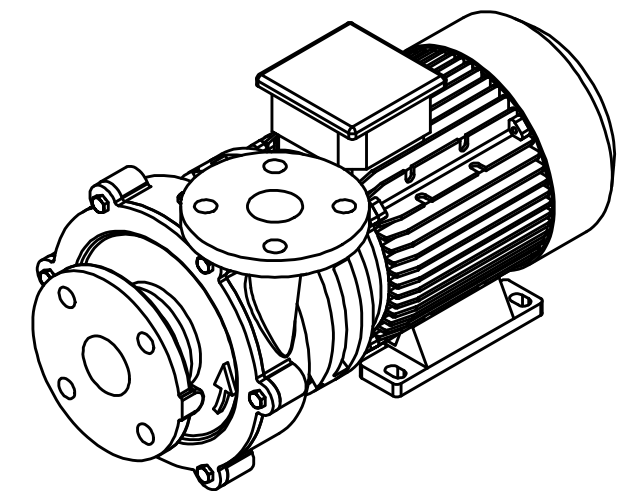
EMPTY WEIGHT 28 kg

OPERATIONAL WEIGHT 33 kg

ITEM	DESCRIPTION	SIZE
A	INLET	1 1/2" (F) BSP
B	OUTLET	1" (F) BSP





FIXING HOLES DETAIL
E: 1/5



ITEM	DESCRIPTION	SIZE
A	INLET	BRIDA DN 50
B	OUTLET	BRIDA DN 40

MAINTENANCE SPACE
SERVICING SPACE

CENTRO DE GRAVEDAD:  48 kg
EMPTY WEIGHT
OPERATIONAL WEIGHT 55 kg

MADE BY VFF	DATE 03/06/2015	
CHECKED BY VFF	DATE 03/06/2015	
APPROVED BY MHI	DATE 03/06/2015	

NORM/STANDARS
UNE-EN 22768-C
REFERENCE Nº
12914
UNITS: mm

Gefico

Pol. O Acevedo - CERCEDA
A CORUÑA - 15185
Tfno: +34-981250111
Fax: +34-981258439
E.mail: gefico@gefico.com

DESCRIPTION
4HP 400V 50Hz GENERAL ARRANGEMENT

S/E	12-0034-01	1 / 1	A3
SCALE	DRAWING Nº	REV.	SHEET Nº

NOTICE:
THIS DRAWING HAS NOT BEEN PUBLISHED AND IS THE SOLE PROPERTY OF GEFICO ENTERPRISE AND IS LENT TO THE BORROWER FOR HIS CONFIDENTIAL USE ONLY AND IN CONSIDERATION OF THE LOAN OF THIS DRAWING, THE BORROWER PROMISES AND AGREES TO RETURN IT UPON REQUEST AND AGREES THAT IT SHALL NOT BE REPRODUCED, COPIED, LENT OR OTHERWISE DISPOSED OF DIRECTLY OR INDIRECTLY, NOT USED IN ANY WAY DETRIMENTAL TO THE INTEREST OF THIS COMPANY.

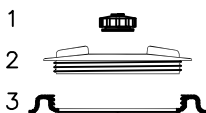
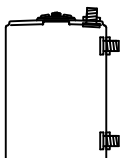
GRAN TANK

GT 1200 AS

Litros 1.200

Rotomoldeado monobloc (sin costuras ni rincones) de POLIETILENO lineal • Color blanco natural (translúcido), gris granito (opaco) o negro (absoluto) • Apto para intemperies (tratado anti UV), para alimentos y para químicos • Resiste temperaturas de -40° a +60° (o más, en PP).

Carga y Vaciado

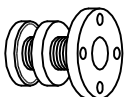


- 1: Aireador laberinto 2"
- 2: Tapa Ø 300
- 3: Boca Ø 285

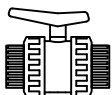
Rácords



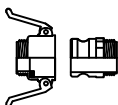
..con Brida



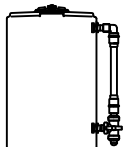
Válvulas



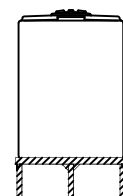
Empalmes



Niveles

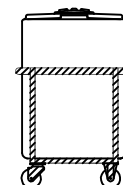


Plataforma

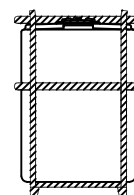


H = 500

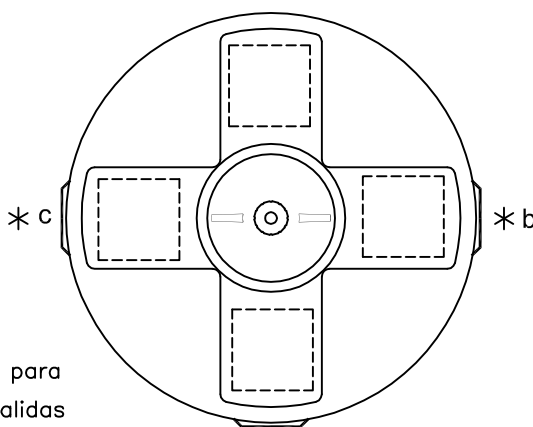
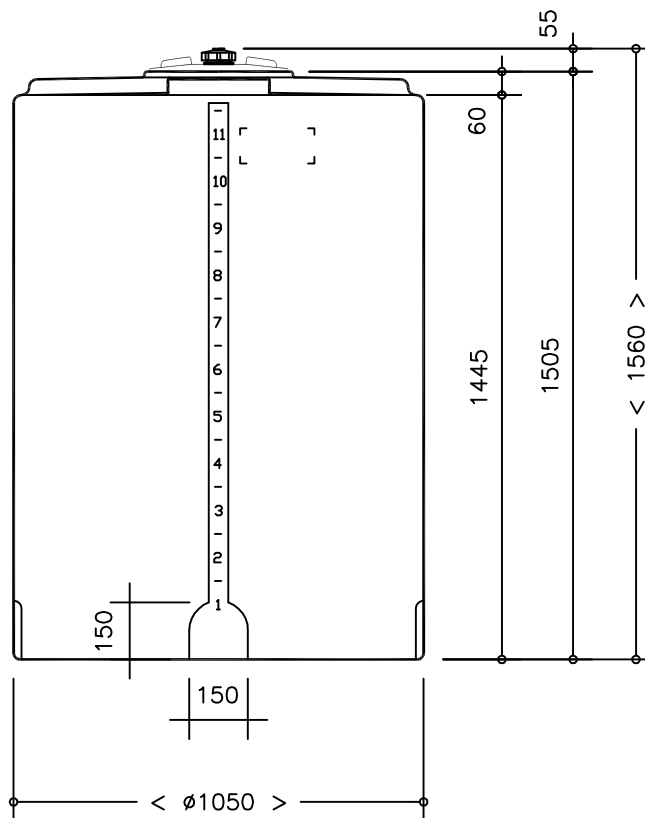
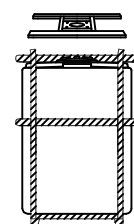
Carrito



Apilable



Porta-agitador



* 3 planos para montar salidas a-b-c

250x230

4 planos arriba para accesorios

* a
▲
Nivel Grabado

“PROYECTO DE BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS CENTRÍFUGAS”

PLIEGO DE CONDICIONES



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS

FECHA: SEPTIEMBRE 2016

AUTOR: El alumno

Fdo.: Alexandre Correa Haz

1 PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES . 133

1.1. Descripción del Proyecto . 133

1.1.1. Programa de análisis teórico de Bombas Centrífugas

1.1.1.1. Tipo de programa

1.1.1.2. Interfaz

1.1.1.3. Resultados

1.1.2. Instalación Banco de Pruebas de Bombas Centrífugas

2 PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS . 135

2.1. Introducción . 135

2.2. Especificaciones de dimensiones . 135

2.2.1. Aspiración bomba

2.2.2. Descarga bomba

2.2.3. Tomas de presión

2.2.4. Medición de temperatura

2.3. Especificaciones de ejecución . 137

2.3.1. Incerteza en las mediciones

2.3.1.1. Introducción

2.3.1.2. Fluctuaciones

2.3.1.3. Incerteza de los instrumentos de medición

2.3.1.4. Incerteza del conjunto

2.3.1.5. Eficiencia del conjunto

2.3.2. Tolerancias

2.3.3. Procedimiento de las pruebas

2.3.3.1. Introducción

2.3.3.2. Fecha de las pruebas

2.3.3.3. Programación de las pruebas

2.3.3.4. Instrumentación

2.3.3.5. Toma de datos e informes

2.3.3.6. Condiciones de las pruebas

2.3.4. Intervalos de calibración de los instrumentos de medición

2.4. Especificaciones de la Hoja de Cálculo . 143

2.5. Normativa . 143

- 3 ESTADO DE MEDICIONES . 144
 - 3.1. Tanque . 144
 - 3.1.1. Recipiente
 - 3.1.2. Calentador
 - 3.2. Instrumentos de medición . 146
 - 3.2.1. Manómetro aspiración
 - 3.2.2. Manómetro descarga
 - 3.2.3. Termómetro
 - 3.2.4. Caudalímetro
 - 3.2.5. Vatímetro
 - 3.2.6. Tacómetro
 - 3.3. Válvulas . 153
 - 3.3.1. De globo
 - 3.3.2. De bola
 - 3.4. Líneas . 154
 - 3.4.1. Tuberías
 - 3.4.1.1. Tuberías plástico transparente
 - 3.4.1.2. Tubería PVC
 - 3.4.2. Bidas
 - 3.4.3. Otros elementos
 - 3.4.3.1. Cods
 - 3.4.3.2. Desgasificador

1. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES

1.1. Descripción del Proyecto

1.1.1. Programa de análisis teórico de Bombas Centrífugas

1.1.1.1. Tipo de programa

Se trata de un programa realizado con el software EES, en formato modificable “.EES”, que se exporta a formato “.EXE” haciéndolo un documento ejecutable, mediante el que se ejecuta el programa de análisis teórico de bombas centrífugas.

1.1.1.2. Interfaz

La interfaz del programa ejecutable, en forma de Diagram Window, es la siguiente:

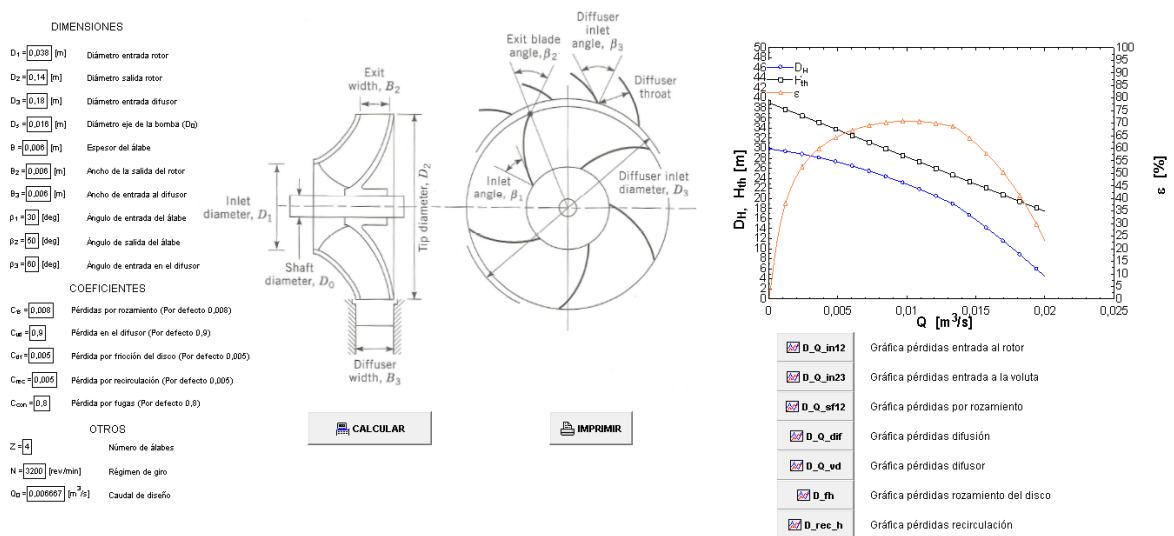


Ilustración 4.1.1.1.2.1.

En la anterior Ilustración se observa la interfaz del programa. Está compuesta por:

- Casillas de introducción de datos, en la zona izquierda

- Imagen de las magnitudes de una bomba
- Botones de Calcular e Imprimir
- Gráfica Curvas Características
- Botones para abrir gráficas de pérdidas

1.1.1.3. Resultados

Los resultados de los cálculos se muestran en forma de gráficas. La gráfica principal es la de las Curvas Características de la Bomba, que aparece en la interfaz principal. También se muestran las gráficas de las diferentes pérdidas teóricas que se producen en la bomba. Estas gráficas se despliegan al pulsar los respectivos botones de la interfaz principal. Todo ello permite un análisis del funcionamiento de la bomba, así como ciertos aspectos del diseño.

1.1.2. Instalación Banco de Pruebas de Bombas Centrífugas

El Banco de Pruebas, está definido por los Planos N° 1 a 7. Todas las medidas principales están recogidas en ellos.

Las líneas fijas son de PVC gris. Las bridas empleadas en la parte fija son DN 40 PN 6, excepto las de las válvulas que son DN 40 PN 10. Las bridas de los tramos intercambiables son todas PN 6, únicamente varía el Diámetro Nominal en función del diámetro de aspiración de la bomba.

Otro aspecto de la instalación que no se menciona, son los soportes de las líneas para que no caigan por su propio peso, o el soporte para las bombas. Esto, al igual que la parte eléctrica no se estudia en el presente Proyecto, ya que la empresa dispone de éstos como de otro material variado de reducido coste económico que no se tiene en cuenta.

Igualmente, las líneas de los acoples roscados, solo se dimensionan hasta la entrada de la bomba, por lo que es necesario unos milímetros más de rosca.

2. PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS

2.1. Introducción

En los siguientes apartados, se exponen las condiciones técnicas que son de obligado cumplimiento, tanto en el desarrollo del montaje del Banco de Bombas, así como en las futuras pruebas a las bombas.

2.2. Especificaciones de dimensiones

2.2.1. Aspiración bomba

La longitud mínima entre la sección de medición en la línea de aspiración y el variador de diámetro debe de ser de al menos 12 veces el diámetro de la aspiración de la bomba a probar, para conseguir una correcta distribución de la velocidad del flujo.

La sección de medición de la aspiración debe situarse a una longitud de dos diámetros aguas arriba desde la brida de aspiración de la bomba.

La sección de medición de la aspiración debe ser del mismo diámetro que la brida de aspiración de la bomba.

2.2.2. Descarga bomba

La sección de medición de la descarga debe situarse a una longitud de dos diámetros aguas abajo desde la brida de descarga de la bomba.

La sección de medición de la descarga debe ser del mismo diámetro que la brida de descarga de la bomba.

El agujero de medición de presión de descarga, debe encontrarse perpendicular al plano de la voluta o de cualquier codo existente en la carcasa de la bomba, como se muestra en la Ilustración 4.2.2.1. :

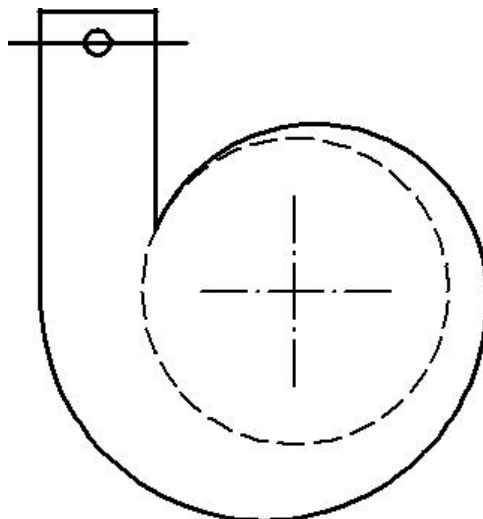


Ilustración 4.2.2.2.1.

2.2.3. Tomas de presión

Es necesario una toma de presión en la aspiración y una en la descarga de la bomba. La colocación de estas tomas, se muestra en la Ilustración 4.2.2.3.1. :

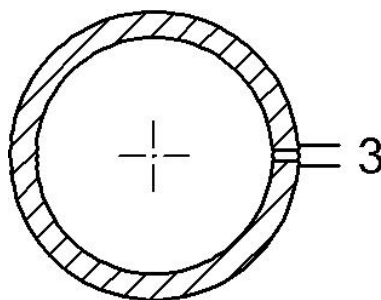


Ilustración 4.2.2.3.1.

La conexión de estas tomas, depende del diámetro y espesor de la tubería. En todos los caso se deben cumplir que:

- El diámetro de la toma (d), debe encontrarse entre 3 y 6 mm o bien $1/10$ del diámetro de la tubería.

- La longitud de la toma (l), debe ser mayor o igual a dos veces y medio el diámetro de la toma (d).
- El radio de curvatura (l) entre la toma y el interior de la tubería, debe ser igual o menor a la décima parte del diámetro de la toma (d).

El interior de la tubería de la toma de presiones, debe estar limpio, intacto y debe ser liso, así como resistente a la corrosión química del agua.

2.2.4. Medición de Temperatura

El elemento de medición de la temperatura no puede ser menor de 1/8 del diámetro de la tubería de aspiración.

El elemento de medición de la temperatura no puede situarse en la parte superior de la tubería.

El elemento de medición se debe aislar del entorno para evitar transferencias de calor con el mismo y errores en la lectura.

2.3. Especificaciones de ejecución

2.3.1. Incertidumbre en las mediciones

2.3.1.1. Introducción

Dado que es imposible que no exista incertidumbre de los resultados en las mediciones, es preciso seguir los métodos, instrumentos y tolerancias especificadas en la norma ISO 9906:2012 siguiendo el Estándar Internacional.

2.3.1.2. Fluctuaciones

Para la medición de valores, se establecen unos porcentajes máximos de fluctuación como porcentaje del valor medio medido. En la tabla 4.2.3.1.2.1. se

observan las fluctuaciones máximas permitidas para el Grado 2, que el Grado establecido en el presente proyecto.

Measured quantity	Permissible amplitude of fluctuations		
	Grade 1 %	Grade 2 %	Grade 3 %
Rate of flow	±2	±3	±6
Differential head	±3	±4	±10
Outlet head	±2	±3	±6
Inlet head	±2	±3	±6
Input power	±2	±3	±6
Speed of rotation	±0,5	±1	±2
Torque	±2	±3	±6
Temperature	0,3 °C	0,3 °C	0,3 °C

Tabla 4.2.3.1.2.1.

2.3.1.3. Incertidumbre de los instrumentos de medición

Los instrumentos de medición, presentan unos valores de incertidumbre que no se pueden reducir una vez calibrados, ajustados y realizando mediciones cuidadosas. Para esta incertidumbre se establecen unos porcentajes máximos recogidos en la siguiente tabla:

Measured quantity	Maximum permissible systematic uncertainty (at guarantee point)	
	Grade 1	Grades 2 and 3
	%	%
Rate of flow	±1,5	±2,5
Differential head	±1,0	±2,5
Outlet head	±1,0	±2,5
Inlet head	±1,0	±2,5
Suction head for NPSH testing	±0,5 ^a	±1,0
Driver power input	±1,0	±2,0
Speed of rotation	±0,35	±1,4
Torque	±0,9	±2,0
^a See Annex J for explanation.		

Tabla 4.2.3.1.3.1.

2.3.1.4. Incertidumbre del conjunto

La incertidumbre del conjunto, viene explicada su forma de cálculo en el apartado 10.4.2.2. de la Memoria del presente Proyecto. Esta incerteza también tiene unos valores máximos permisibles recogidos en la Tabla 4.2.3.1.4.1. :

Quantity	Symbol	Grade 1 %	Grades 2, 3 %
Flow rate	e_Q	±2,0	±3,5
Speed of rotation	e_n	±0,5	±2,0
Torque	e_T	±1,4	±3,0
Pump total head	e_H	±1,5	±3,5
Driver power input	e_{Pgr}	±1,5	±3,5
Pump power input (computed from torque and speed of rotation)	e_P	±1,5	±3,5
Pump power input (computed from driver power and motor efficiency)	e_P	±2,0	±4,0

Tabla 4.2.3.1.4.1.

2.3.1.5. Eficiencia del conjunto

Para determinar la eficiencia del conjunto, también se establecen unos valores máximos de incerteza. Estos valores se calculan según lo explicado en la Memoria en el apartado 10.4.2.3. y deben estar dentro de los rangos de la siguiente tabla:

Quantity	Symbol	Grade 1	Grades 2 and 3
		%	%
Overall efficiency (computed from Q, H, P_{gr})	e_{ngr}	$\pm 2,9$	$\pm 6,1$
Pump efficiency (computed from Q, H, M, n)	e_{η}	$\pm 2,9$	$\pm 6,1$
Pump efficiency (computed from Q, H, P_{gr}, η_{mot})	e_{η}	$\pm 3,2$	$\pm 6,4$

Tabla 4.2.3.1.5.1.

2.3.2. Tolerancias

La siguiente Tabla muestra las tolerancias máximas permitidas para el punto de garantía. Las bombas ensayadas en el Banco, deben cumplir el grado 2B de tolerancia.

Grade	1			2		3	Guarantee requirement
T_Q	10 %			16 %		18 %	
T_H	6 %			10 %		14 %	
Acceptance grade	1U	1E	1B	2B	2U	3B	Mandatory
T_Q	+10 %	± 5 %		± 8 %	+16 %	± 9 %	
T_H	+6 %	± 3 %		± 5 %	+10 %	± 7 %	
T_P	+10 %	+4 %		+8 %	+16 %	+9 %	
T_{η}	≥ 0 %		-3 %	-5 %		-7 %	Optional
NOTE	$T_x(x = Q, H, P, \eta)$ stands for the tolerance of the indicated quantity.						

Tabla 4.2.3.2.1.

2.3.3. Procedimiento de las pruebas

2.3.3.1. Introducción

Según la norma ISO 9906:2012, se regula el procedimiento para la realización de pruebas a las bombas centrífugas. Sin embargo, puede existir alguna desviación natural que no permita el completo cumplimiento de la normativa. Esta desviación debe quedar recogida.

2.3.3.2. Fecha de las pruebas

No es necesaria una fecha concreta para las pruebas, a no ser que se trate de una prueba acordada entre el comprador y el fabricante, en la que el comprador esté presente. En este caso, se debe acordar la fecha entre ambas partes.

2.3.3.3. Programación de las pruebas

El programa, en caso de acuerdo entre comprador y fabricante, debe ser presentado por el fabricante al comprador.

2.3.3.4. Instrumentación

Todo lo relativo a la instrumentación empleada, queda recogido en el apartado 2 del presente Pliego de Condiciones.

2.3.3.5. Toma de datos e informes

Es obligado que la toma de datos e informes se guarden archivados, ya sea por escrito o electrónicamente, durante un tiempo mínimo de 5 años.

En el caso de pruebas acordadas entre comprador y fabricante, se debe crear una copia de los datos e informes para cada una de las partes.

2.3.3.6. Condiciones de las pruebas

La duración de las pruebas debe ser suficiente para obtener resultados repetidos.

Todas las mediciones deben tomarse bajo condiciones estables, dentro de los márgenes de fluctuaciones de la Tabla 4.2.3.1.2.1. Además, excepto para pruebas de NPSH, las mediciones se deben tomar en condiciones en las cuales no exista cavitación.

Para las pruebas de rendimiento, se deben tomar los datos para un mínimo de 5 cinco puntos, con uno de los puntos situándose entre -5 % y 0 % del punto de caudal garantizado, y otro entre el 0 % y el 5 %. Los otros tres puntos deben encontrarse espaciados entre sí en el rango de operación de la bomba, con puntos situados cerca de las regiones de máxima carga y caudal.

La velocidad de rotación de la bomba debe situarse dentro del rango de 50 % a 120 % de la velocidad especificada para el cálculo del Caudal, Carga Total y Potencia de entrada de la bomba. En el caso de la eficiencia, debe situarse dentro del rango de 80 % a 120 %. En el caso de las pruebas del NPSH, la velocidad debe encontrarse en el rango de 80 % a 120 % de la velocidad específica de rotación, para un Caudal dentro del 50 % a 120 % del caudal correspondiente al punto de máxima eficiencia para esa velocidad de rotación. Los datos tomados deben trasladarse a la velocidad específica según lo explicado en el apartado 10.4.3. de la Memoria.

2.3.4. Intervalos de calibración de los instrumentos de medición

Los instrumentos de medición deben ser calibrados cada cierto tiempo. Estos intervalos de calibración deben ser cumplidos, y solo pueden ser superiores a los especificados a continuación, en caso de que los propios instrumentos lo especifiquen y el comprador de las bombas esté de acuerdo. Los intervalos de calibración de los instrumentos son los siguientes:

- Caudalímetro: 1 año

- Tacómetro: 3 años
- Vatímetro: 1 año
- Manómetro: No requiere calibración
- Termómetro: 2 años

2.4. Especificaciones de la Hoja de Cálculo

Se establecen una serie de requisitos para el funcionamiento de la hoja de Cálculo de Excel:

Por un lado, se debe habilitar el cálculo iterativo para la resolución de la ecuación de Colebrook en el cálculo de las pérdidas por fricción. Esto se habilita en la versión Excel 2010, en la pestaña Archivo > Opciones > Fórmulas; se debe marcar la casilla “Habilitar cálculo iterativo”.

Por otro lado, es necesario instalar el paquete para Excel de descarga gratuita en la página web [40]. Este paquete se emplea en las funciones Spline para realizar la gráfica, ya que es mucho más preciso que las líneas de tendencia.

2.5. Normativa

Se consideran indispensables para la aplicación de la norma ISO 9906 [46], las siguientes normas:

ISO 17769-1, *Liquid pumps and installation - General terms, definitions, quantities, letter symbols and units - Part 1: Liquid pumps*

ISO 17769-2, *Liquid pumps and installation - General terms, definitions, quantities, letter symbols and units - Part 2: Pumping system*

3. ESTADO DE MEDICIONES

Los elementos a continuación listados, se han seleccionado teniendo en cuenta los Planos y las condiciones del presente documento.

Los elementos que aparecen a continuación, han sido seleccionados por sus características teniendo en cuenta las especificaciones que figuran en los apartados anteriores del presente documento. También se han tenido en cuenta los cálculos realizados del documento Anexos, así como el asesoramiento técnico de las empresas que suministran la instrumentación.

Hay elementos secundarios, que no ha sido necesario referenciar, ya que la empresa dispone de ellos y no suponen un coste relativo elevado, tales como acoples de los equipos de medición o soportes.

El presente apartado, sirve de referencia en la elaboración del proyecto.

3.1. Tanque

3.1.1. Recipiente

1 x GT1200B11AS

Rotomoldeado monobloc de Polietileno

Color blanco natural (translúcido)

Temperatura: De -40 a 60 °C

Volúmen: 1200 l

Diámetro: 1050 mm

Altura: 1560 mm

Presión: Atmosférica

Densidad: < 1,4 kg/dm³

Equipamiento:

- 1 x Llenado: Tubo sonda interno, rosca GAS 2"
- 1 x Vaciado: Rácord + válvula a rosca GAS 2"
- 2 x Rácord 1 ½" terminal brida DN 40
- 2 x Deflectores rompe-corrientes
- 1 x Porta-agitador de 2 apoyos instalado sobre cúpula
- 1 x Agitador de fluido

3.1.2. Calentador

1 x Resistencia ED 003C

Longitud: 170 mm

Rosca tapón: 2" GAS

Potencia: 2400 W

W/cm²: 7

Material: Cobre

Tensión normalizada: 3~230 V triángulo // 3~400 V estrella



Ilustración 4.3.1.2.1

3.2. Instrumentos de medición

3.2.1. Manómetro aspiración

1 x Manómetro WIKA 213.53-9022465

Clase de precisión: 1.0

Rango de indicación: De -1 a 0 bar

Temperatura máxima: 60 °C

Temperatura de almacenamiento: De -20 a 60 °C

DN: DN 100

Carga máxima:

- Estática: Valor final de escala
- Dinámica: 0,9 valor final de escala
- Carga puntual: 1,3 valor final de escala

<http://www.automation24.es/sensores-de-proceso/manometro-wika-21353-9022465-i58-1757-0.htm>



Ilustración 4.3.2.1.1.

1 x Manómetro WIKA 111.10 - 9032606

Clase de precisión: 2.5

Rango de indicación: De 0 a 4 bar

Temperatura máxima: 60 °C

Temperatura de almacenamiento: De -40 a 60 °C

DN: DN 100

Carga máxima:

- Estática: $\frac{3}{4}$ valor final de escala
- Dinámica: $\frac{2}{3}$ valor final de escala
- Carga puntual: Valor final de escala



Ilustración 4.3.2.1.2.

3.2.2. Manómetro descarga

1 x Manómetro WIKA 111.10-9012575

Clase de precisión: 2.5

Rango de indicación: De 0 a 10 bar

Temperatura máxima: 60 °C

Temperatura de almacenamiento: De -40 a 60 °C

DN: DN 100

- Carga máxima:
- Estática: $\frac{3}{4}$ valor final de escala
 - Dinámica: $\frac{2}{3}$ valor final de escala
 - Carga puntual: Valor final de escala



Ilustración 4.3.2.2.1.

3.2.3. Termómetro

1 x WIKA A52.100-3906868

DN 100

Precisión: Clase 1

Rango medida: De 10 a 50 °C



Ilustración 4.3.2.3.1.

3.2.4. Caudalímetro

1 x Caudalímetro electromagnético Proline Promag 10D - DN40

Campo de medida: De 0,01 a 10 m/s

Temperatura del medio: De 0 a 60 °C

Temperatura de almacenamiento: De -20 a 60 °C

Error medido máximo: +/- 0,5 % de la lectura



Ilustración 4.3.2.4.1.

3.2.5. Vatímetro

1 x Vatímetro TYP-360

Temperatura: De 0 a 50 °C

Humedad relativa: < 70 %

Peso: 750 g

Precisión Potencia Activa: +/- 0,1 %



Ilustración 4.3.2.5.1.

3.2.6. Tacómetro

1 x Tacómetro óptico PCE-DT 63

Rango de medición: De 50 a 99999 rev/min

Resolución: - 50 - 99,99 rpm - 0,01 rpm

- 100 - 9999,9 rpm - 0,1 rpm

- 10000 - 99999 - 1 rpm

Precisión: +/- 0,03 % +/- 2 dígitos

Distancia de medición: De 50 a 250 mm (con batería cargada)

Temperatura: De 0 a 40 °C

Humedad relativa: < 80 %

Peso 120 g



Ilustración 4.3.2.6.1.

3.3. Válvulas

3.3.1. De globo

2 x BOA-H, PN 16, JL 1040

Presión Nominal: 16 bar

Temperatura máxima permitida: 300 °C

DN: 40

Peso 7,7 kg



Ilustración 4.3.3.1.1.

3.3.2. De bola

1 x Válvula de bola hierro/INOX con bridas DN 40

Presión Nominal:16 bar

Cuerpo: Hierro

Bola: Inox

Anillos cierre: Teflón

Temperatura máxima: 180 °C

Presión máxima: 16 bar

Aplicaciones: Agua y fluidos no agresivos



Ilustración 4.3.3.2.1.

3.4. Líneas

3.4.1. Tuberías

3.4.1.1. Tubería plástico transparente

1/2" → 640 mm

3/4" → 2200 mm

1" → 1240 mm

1 1/2" → 1260 mm

2" → 1050 mm

3.4.1.2. Tubería PVC

1 1/2" → 8000 mm

3.4.2. Bridas

15 x DN 40 PN 6

6 x DN 40 PN 10

4 x DN 20 PN 6

3 x DN 50 PN 6

2 x DN 15 PN 6

4 x DN 25 PN 6

3.4.3. Otros elementos

3.4.3.1. Codos

3 x 90° DN 40 - DN 40

1 x "T" PVC DN 40

3.4.3.2. Desgasificador

1 x Desgasificador

“PROYECTO DE BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS CENTRÍFUGAS”

PRESUPUESTO



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS

FECHA: SEPTIEMBRE 2016

AUTOR: El alumno

Fdo.: Alexandre Correa Haz

1	PRESUPUESTO TANQUE GT 1200 AS	158
2	PRESUPUESTO DESCOMPUESTO	159
3	PRESUPUESTO TOTAL	163

Petición de Presupuesto - Formulario Web

1 mensaje

2 de septiembre de 2016, 13:26

Valores introducidos en formulario :

IP Address : 84.232.111.130

Enviar : Enviar Formulario

Nombre Apellidos : Alexandre Correa

Empresa : Gefico

Actividad : Industria marina

Email : xandrech@gmail.com

Teléfono :

Movil : 717711933

Fax :

Es Líquido : SI

Es Agua : SI

Producto :

DENS 1,0 : Hasta 1,0

DENS Otra :

Sensible A La Luz : NO

Capacidad : 1000-1500

Limitacion De Espacio? : NO

Límite Ancho :

Límite Largo :

Límite Alto :

Almacenar : Si

Interior : Si

Mezclar : SI

Aislar Caliente : SI

Otras Operaciones :

Modelo : Contiplast

Normativa : No

Homologado/Certificado : No

Accesorios/Comentarios : Necesito que el tanque tenga válvulas de llenado-vaciado, así como un nivel(en caso de ser translúcido, no sería necesario). Además dos acoples para líneas de 1 1/2". También busco la posibilidad de instalar una resistencia eléctrica como calentador en su interior así como la instalación de placas deflectoras en su interior para la mezcla del líquido.

En respuesta a su solicitud y según conversaciones mantenidas pasamos presupuesto...

GT1200B11AS = 400 €

Llenado > Tubo sonda interno, rosca GAS 2" = 69 €

Vaciado > Rácord + Válvula a bola rosca GAS 2" = 125 €

Rácord 1+1/2" terminal brida DN40 (acoples) = 95 € x 2

Deflectores rompe-corrientes (x2) = 135 €

Porta-agitador de 2 apoyos instalado sobre cúpula = 136 €

Precios netos. PORTES e IVA, no incluidos.

Plazo de Entrega > 15-20 días hábiles

Pagos > 50% anticipado con el pedido. Resto, 30 días FF.

		Pág.: 1
	MEDICIONES Y PRESUPUESTO	Ref.: promyp2
	TANQUE	Fec.:

Nº Orden	Descripción de las unidades de obra	Uds.	Longitud	Latitud	Altura	Subtotal	Medición	Precio	Importe
01	TANQUE								
01.01	Tanque								
1.1									
1.1.1	Tanque GT1200B11AS						1,000	400,00	400,00
1.1.2	Tubo sonda interno						1,000	69,00	69,00
1.1.3	Rácord + válvula a bola						1,000	125,00	125,00
1.1.4	Rácord 1 1/2" terminal brida DN40						2,000	95,00	190,00
1.1.5	Deflector rompe-corrientes						2,000	135,00	270,00
1.1.6	Porta-agitador						1,000	136,00	136,00
1.1.7	Agitador fluido						1,000	255,00	255,00
	Clase: Material								1.445,00
	Total partida 01.01						1,00	1.445,00	1.445,00
01.02	Calentador								
1.2									
1.2.1	Calentador ED-003						1,000	175,00	175,00
	Clase: Material								175,00
	Total partida 01.02						1,00	175,00	175,00
	Total capítulo 01								1.620,00

		Pág.: 2
	MEDICIONES Y PRESUPUESTO	Ref.: promyp2
	INSTRUMENTOS MEDICIÓN	Fec.:

Nº Orden	Descripción de las unidades de obra	Uds.	Longitud	Latitud	Altura	Subtotal	Medición	Precio	Importe
02	INSTRUMENTOS MEDICIÓN								
02.01	Manómetro WIKA 213.53								
2.1									
2.1.1	WIKA 213.53						1,000	62,50	62,50
	Clase: Material								62,50
	Total partida 02.01						1,00	62,50	62,50
02.02	Manómetro WIKA 111.10								
2.2									
2.2.1	WIKA 111.10						1,000	17,60	17,60
2.2.3	Envío						1,000	5,03	5,03
2.2.2	WIKA 111.10-9032606						1,000	17,60	17,60
	Clase: Material								35,20
	Total partida 02.02						1,00	40,23	40,23
02.03	Termómetro								
2.3									
2.3.1	WIKA a52.100						1,000	20,30	20,30
	Clase: Material								20,30
	Total partida 02.03						1,00	20,30	20,30
02.04	Caudalímetro								
2.4									
2.4.1	Proline Promag 10D						1,000	725,55	725,55
2.4.2	Envío						1,000	34,55	34,55
	Clase: Material								725,55
	Total partida 02.04						1,00	760,10	760,10
02.05	Vatímetro								
2.5									
2.5.1	TYP-360						1,000	567,00	567,00
	Clase: Material								567,00
	Total partida 02.05						1,00	567,00	567,00
02.06	Tacómetro								
2.6									
2.6.1	PCE-DT 63						1,000	39,00	39,00
2.6.2	Envío						1,000	8,00	8,00
	Clase: Material								39,00
	Total partida 02.06						1,00	47,00	47,00
	Total capítulo 02								1.497,13

		Pág.: 3
	MEDICIONES Y PRESUPUESTO	Ref.: promyp2
	VÁLVULAS	Fec.:

Nº Orden	Descripción de las unidades de obra	Uds.	Longitud	Latitud	Altura	Subtotal	Medición	Precio	Importe
03	VÁLVULAS								
03.01	BOA-H								
3.1									
3.1.1	BOA-H						1,000	203,28	203,28
	Clase: Material								203,28
	Total partida 03.01						2,00	203,28	406,56
03.02	BOLA PVC								
3.2									
3.2.1	BOLA PVC						1,000	25,45	25,45
	Clase: Material								25,45
	Total partida 03.02						1,00	25,45	25,45
	Total capítulo 03								432,01

		Pág.: 4	
		Ref.: promyp2	
		Fec.:	

Nº Orden	Descripción de las unidades de obra	Uds.	Longitud	Latitud	Altura	Subtotal	Medición	Precio	Importe
04	LÍNEAS								
04.01	Tuberías								
4.1									
4.1.1	Tubería plástico transparente						1,000	36,48	36,48
4.1.2	Tubería PVC						1,000	28,24	28,24
	Total partida 04.01						1,00	64,72	64,72
04.02	Bridas								
4.2									
4.2.1	DN 40 PN 6						15,000	2,29	34,35
4.2.2	DN 50 PN 6						3,000	2,75	8,25
4.2.3	DN 40 PN 10						6,000	3,10	18,60
4.2.4	DN 20 PN 6						4,000	1,98	7,92
4.2.5	DN 15 PN 6						2,000	1,73	3,46
4.2.6	DN 25 PN 6						4,000	2,08	8,32
	Clase: Material								80,90
	Total partida 04.02						1,00	80,90	80,90
04.03	Otros elementos								
4.3									
4.3.1	Codos						1,000	3,39	3,39
4.3.2	Desgasificador						1,000	11,75	11,75
	Total partida 04.03						1,00	15,14	15,14
	Total capítulo 04								160,76
	Total presupuesto								3.709,90

		Pág.: 1
	RESUMEN DE CAPÍTULOS	Ref.: prores1
		Fec.:

Nº Orden	Código	Descripción de los capítulos	Importe
01	1.	TANQUE	1.620,00
02	2.	INSTRUMENTOS MEDICIÓN	1.497,13
03	3.	VÁLVULAS	432,01
04	4.	LÍNEAS	160,76

TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL 3.709,90

15 % Gastos Generales 556,49

6 % Beneficio Industrial 222,59

TOTAL EJECUCIÓN POR CONTRATA 4.488,98

21 % I.V.A. 942,69

TOTAL PRESUPUESTO C/IVA 5.431,67

Asciende el presupuesto proyectado, a la expresada cantidad de:

CINCO MIL CUATROCIENTOS TREINTA Y UN EUROS CON SESENTA Y SIETE CÉNTIMOS

6 de Septiembre de 2016

LA PROPIEDAD

LA DIRECCIÓN TÉCNICA

LA CONSTRUCTORA

Fdo.:

Fdo.:

Fdo.:

“PROYECTO DE BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS CENTRÍFUGAS”

DOCUMENTACIÓN TÉCNICA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS

FECHA: SEPTIEMBRE 2016

AUTOR: El alumno

Fdo.: Alexandre Correa Haz

1	Hoja Técnica Calentador	166
2	Hoja Técnica Manómetro WIKA 111.10	170
3	Hoja Técnica Manómetro WIKA 213.53	172
4	Hoja Técnica Termómetro	174
5	Hoja Técnica Caudalímetro Proline Promag 10D	176
6	Hoja Técnica Vatímetro TYP-360	179
7	Hoja Técnica Tacómetro PCE DT-63	181
8	Hoja Técnica Válvula de Globo BOA-H	182
9	Hoja Técnica Válvula de Bola con Bridas	185



RESISTENCIAS CALEFACTORAS PARA CALDERAS ELÉCTRICAS

DP/ED/ET “con tapón de acoplamiento”



CARACTERÍSTICAS GENERALES:

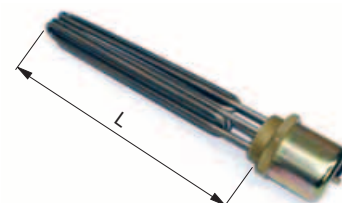
- Elementos tubulares en cobre niquelado o acero inoxidable AISI 321 de Ø8 mm.
- Cabezales roscados en latón estampado.
- Caperuzas de protección de poliéster con fibra de vidrio o de acero bicromatizado, con grado de protección contra la humedad IP-40.
- Opcionalmente, todos los modelos con tapón roscado de 1-1/2", 2" y 2-1/2" pueden suministrarse con caja de conexiones de aluminio IP-66.
- Soldadas con aleación de plata para tubo inox. y con aleación de cobre para tubo de cobre.
- Tensión normalizada 3Ø230 V Δ, 3~400 V λ
- Bajo pedido pueden fabricarse resistencias a medida según sus especificaciones:
 - Elementos tubulares en: AISI 316L, Incoloy[®]-800 e Incoloy[®]-825 y Titanio.
 - Cabezales en acero inoxidable o Titanio.

APLICACIONES:

- Calentamiento de líquidos en general.
- Calderas de vapor.
- Baños María.
- Recalentamiento de fuel.
- Termos.
- Cámaras de aceite.
- Destilación.
- Limpieza.
- Tintes.
- Radiadores de calor por convección líquida.
- Secadores de toallas.
- Desengrase.
- Calefacción por circulación de líquidos.
- Piscifactorías.
- Hervidores.
- Cocederos.
- Instalaciones industriales de calor.
- Industrias químicas.
- Electromedicina.

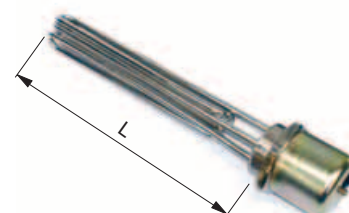
CALEFACTOR CON TAPÓN DE ACOPLAMIENTO EN LATÓN, FORMA "3U" CON DOBLE VUELTA:

Modelo	L en mm	Rosca tapón pulg. GAS	Wattios	W/cm ²	Material tubo
ED001	140	2"	1800	7,1	Inox
ED002	140	2-1/2"	1800	7,1	Inox
ED002C	140	2-1/2"	1800	7,1	Cu
ED003	170	2"	2400	7	Inox
ED003C	170	2"	2400	7	Cu
ED004C	170	2-1/2"	2400	7	Cu
ED105	235	2"	1200	2,2	Inox
ED005	235	2"	3600	6,7	Inox
ED005C	235	2"	3600	6,7	Cu
ED107	345	2"	2700	3,1	Inox
ED007	345	2"	5400	6,3	Inox
ED007C	345	2"	5400	6,3	Cu
ED008	345	2-1/2"	5400	6,3	Inox
ED008C	345	2-1/2"	5400	6,3	Cu
ED009	445	2"	7200	6,2	Inox
ED009C	445	2"	7200	6,2	Cu
ED109	445	2-1/2"	7200	6,2	Inox
ED109C	445	2-1/2"	7200	6,2	Cu
ED110	505	2"	3000	2,2	Inox
ED111	505	2-1/2"	3000	2,2	Inox
ED210	505	2"	4500	3,4	Inox
ED211	505	2-1/2"	4500	3,4	Inox
ED010	505	2"	9000	6,7	Inox
ED010C	505	2"	9000	6,7	Cu
ED011	505	2-1/2"	9000	6,7	Inox
ED011C	505	2-1/2"	9000	6,7	Cu
ED012C	680	2"	12000	6,6	Cu
ED013C	680	2-1/2"	12000	6,6	Cu
ED014C	835	2"	15000	6,6	Cu
ED015C	835	2-1/2"	15000	6,6	Cu
ED016C	990	2"	18000	6,5	Cu
ED017C	990	2-1/2"	18000	6,5	Cu



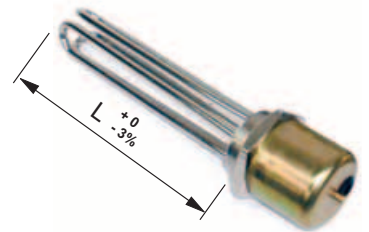
CALEFACTOR CON TAPÓN DE ACOPLAMIENTO EN LATÓN, FORMA "3U" CON TRIPLE VUELTA:

Modelo	L en mm	Rosca tapón pulg. GAS	Wattios	W/cm ²	Material tubo
ET401C	355	2-1/2"	9000	6,7	Cu
ET402C	465	2-1/2"	12000	6,6	Cu
ET403C	570	2-1/2"	15000	6,6	Cu

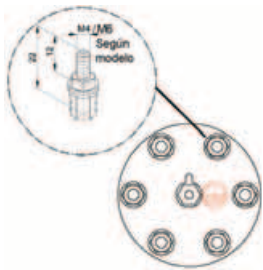


CALEFACTOR CON TAPÓN DE ACOPLAMIENTO EN LATÓN, FORMA "3U":

Modelo	L en mm	Rosca tapón pulg. GAS	Wattios	W/cm ²	Material tubo
DP001	180	2"	1500	8,3	Inox
DP001C	180	2"	1500	8,3	Cu
DP002C	180	2-1/2"	1500	8,3	Cu
DP003	260	2"	2250	7,5	Inox
DP003C	260	2"	2250	7,5	Cu
DP004C	260	2-1/2"	2250	7,5	Cu
DP005	350	2"	3000	7	Inox
DP005C	350	2"	3000	7	Cu
DP007	520	2"	4500	6,6	Inox
DP007C	520	2"	4500	6,6	Cu
DP009	680	2"	6000	6,5	Inox
DP009C	680	2"	6000	6,5	Cu



CONEXIÓN ELÉCTRICA:



Conexión trifásica en λ



Conexión trifásica en Δ



Conex. monofásica en paralelo



Marcado del elemento	ESQUEMA ELÉCTRICO Nº 1 <i>Tensión de alimentación</i>	ESQUEMA ELÉCTRICO Nº 2 <i>Tensión de alimentación</i>	ESQUEMA ELÉCTRICO Nº 3 <i>Tensión de alimentación</i>
220/380V	3 ~ 380V	3 ~ 220V	2 ~ 220V
230/400V	3 ~ 400V	3 ~ 230V	2 ~ 230V
240/415V	3 ~ 415V	3 ~ 240V	2 ~ 240V
254/440V	3 ~ 440V	3 ~ 254V	2 ~ 254V
127/220V	3 ~ 220V	3 ~ 127V	2 ~ 127V

AGUA:

Además del efecto químico del agua hay que tener en cuenta las condiciones particulares de cada instalación, tales como **materiales del depósito y tuberías**, que podrían crear pares electroquímicos; la **velocidad del agua** a través de la resistencia, que puede provocar erosión o evitar sedimentos; **su temperatura**; posibles zonas de **agua inmóvil** que pueda provocar erosión intersticial, tal como depósitos de cal; que la resistencia toque al fondo o a una vaina de termostato, etc. En cualquier caso, la determinación final del material de funda del calefactor es siempre responsabilidad del usuario.

Especialmente indicada para trabajar en agua. No obstante debe tenerse en cuenta las limitaciones propias del inoxidable 321.

Las aguas duras provocan sedimentación de cal alrededor de la funda de la resistencia. Esto hace que la disipación de calor no sea correcta y la resistencia acabe derivando. Para reducir la sedimentación de cal es conveniente asegurar un cierto movimiento de agua alrededor de la resistencia o bien utilizar descalcificadores.

En resistencias con densidad de carga superiores a 6 W/cm² y en modelos con los tubos muy juntos es necesario el movimiento forzado del agua.

No utilizar para la elaboración de vapor. Se recomienda utilizar resistencias con clase térmica T-602-S.

Estas resistencias no pueden trabajar sin estar sumergidas en agua salvo con cargas muy bajas, por lo que es conveniente tomar precauciones para evitar el deterioro de las mismas en tales circunstancias, tales como termostatos o niveles que desconecten la resistencia en caso de peligro de trabajar en seco.

ACEITE:

Esta clase de resistencias está perfectamente preparada para calentar aceite, pero debe tenerse en cuenta que para cargas excesivas y para aceites de baja resistencia térmica, puede deteriorarse el aceite, creandose una capa de carbón que aísla la resistencia y acaba fundiéndola.

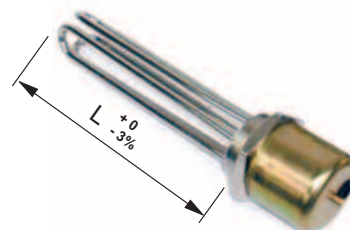
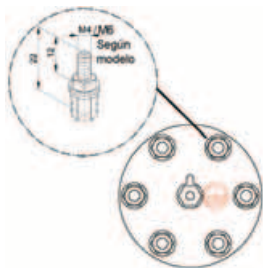
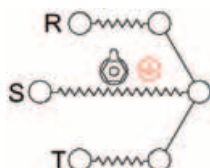
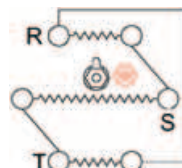
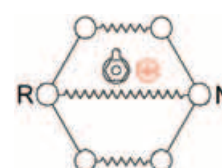
Las cargas máximas recomendadas para aceite térmico de calidad son:

Para temperatura del aceite de 300°C	4 W/cm ²
Para temperatura del aceite de 250°C	8 W/cm ²
Para temperatura del aceite de 200°C	14 W/cm ²
Para aceite térmico normal a 200°C	8 W/cm ²
Para aceites vegetales a 150°C	5 W/cm ²
Para aceites minerales a 130°C	4 W/cm ²

Para aplicaciones sobre aceite es necesario comprobar que la temperatura del sellado no supera los 150°C puesto que de hacerlo podrían aparecer fugas de corriente superiores a las permitidas por la norma.

CALEFACTOR CON TAPÓN DE ACOPLAMIENTO EN LATÓN, FORMA "3U":

Modelo	L en mm	Rosca tapón pulg. GAS	Wattios	W/cm ²	Material tubo
DP025	180	2-1/2"	1500	8,3	Inox
DP025C	180	1-1/2"	1500	9,5	Cu
DP030C	180	1-1/2"	2000	7,5	Cu
DP026C	260	1-1/2"	2250	7,5	Cu
DP027C	350	1-1/2"	3000	7	Cu
DP031C	290	1-1/2"	3000	8,4	Cu
DP028C	520	1-1/2"	4500	6,6	Cu
DP029C	680	1-1/2"	6000	6,5	Cu
DP032C	315	1-1/2"	6000	14,5	Cu
DP021	415	1-1/2"	1200	2,2	Inox
DP022	635	1-1/2"	2700	3,1	Inox
DP023	956	1-1/2"	3000	2,2	Inox


CONEXIÓN ELÉCTRICA:

Conexión trifásica en λ

Conexión trifásica en Δ

Conexión monofásica en paralelo


Marcado del elemento	ESQUEMA ELÉCTRICO Nº 1	ESQUEMA ELÉCTRICO Nº 2	ESQUEMA ELÉCTRICO Nº 3
	Tensión de alimentación	Tensión de alimentación	Tensión de alimentación
220/380V	3 ~ 380V	3 ~ 220V	2 ~ 220V
230/400V	3 ~ 400V	3 ~ 230V	2 ~ 230V
240/415V	3 ~ 415V	3 ~ 240V	2 ~ 240V
254/440V	3 ~ 440V	3 ~ 254V	2 ~ 254V
127/220V	3 ~ 220V	3 ~ 127V	2 ~ 127V

AGUA:

Además del efecto químico del agua hay que tener en cuenta las condiciones particulares de cada instalación, tales como **materiales del depósito y tuberías**, que podrían crear pares electroquímicos; la **velocidad del agua** a través de la resistencia, que puede provocar erosión o evitar sedimentos; **su temperatura**; posibles zonas de **agua inmóvil** que pueda provocar corrosión intersticial, tal como depósitos de cal; que la resistencia toque al fondo o a una vaina de termostato, etc. En cualquier caso, la determinación final del material de funda del calefactor es siempre responsabilidad del usuario.

Especialmente indicada para trabajar en agua. No obstante debe tenerse en cuenta las limitaciones propias del cobre.

Las aguas duras provocan sedimentación de cal alrededor de la funda de la resistencia. Esto hace que la disipación de calor no sea correcta y la resistencia acabe derivando. Para reducir la sedimentación de cal es conveniente asegurar un cierto movimiento de agua alrededor de la resistencia o bien utilizar descalcificadores.

En resistencias con densidad de carga superiores a 6 W/cm² y en modelos con los tubos muy juntos es necesario el movimiento forzado del agua.

No utilizar para la elaboración de vapor. Se recomienda utilizar resistencias con clase térmica T-602-S.

Estas resistencias no pueden trabajar sin estar sumergidas en agua, por lo que es conveniente tomar precauciones para evitar el deterioro de las mismas en tales circunstancias, tales como termostatos o niveles que desconecten la resistencia en caso de peligro de trabajar en seco.

ACEITE:

No deben utilizarse resistencias de esta clase térmica para trabajar sumergidas en aceite ya que es corrosivo para el cobre, llegando a perforar la funda y haciendo que la resistencia acabe derivando.

Manómetro con muelle tubular Modelo 111.10, Conexión radial inferior Versión estándar

Hoja técnica WIKA PM 01.01

Aplicaciones

- Para medios gaseosos, líquidos, no viscosos y no cristalizantes, compatibles con aleaciones de cobre
- Neumática
- Técnica del clima y calefacción
- Técnica sanitaria

Características

- Fiable y económico
- Ejecución según EN 837-1
- Diámetro nominal 40, 50, 63, 80, 100 y 160
- Rangos de indicación hasta 0 ... 400 bar

Descripción

Versión
EN 837-1

Diámetro nominal en mm
40, 50, 63, 80, 100 y 160

Clase de precisión
2,5

Rangos de indicación
0 ... 0,6 hasta 0 ... 400 bar (DN 160: max. 40 bar)
así como todos los rangos correspondientes para presión negativa y sobrepresión negativa y positiva

Carga máx.
Carga estática: $3/4$ x valor final de escala
Carga dinámica: $2/3$ x valor final de escala
Carga puntual: Valor final de escala

Temperatura admisible
Ambiente: -40 ... +60 °C
Medio: +60 °C máxima

Influencia de temperatura
 $\pm 0,4\%/10$ K del span con desviación de la temperatura de referencia (+20 °C)



Manómetro de muelle tubular 111.10

Versión estándar

Conexión a proceso

Aleación de cobre, conexión inferior (radial)
DN 40: Rosca hembra G 1/8 B, llave 14
DN 50, 63: Rosca hembra G 1/4 B, llave 14
DN 80, 100, 160: Rosca hembra G 1/2 B, llave 14

Elemento de medición

Aleación de cobre,
 ≤ 60 bar: forma circular
> 60 bar: forma helicoidal

Mecanismo

Aleación de cobre

Esfera

DN 40, 50, 63: plástico, blanco, con tope
DN 80, 100, 160: Aluminio, blanco, con tope
Subdivisión negra, aguja de marcaje roja en ejecuciones de rangos 0 ... 0,6 hasta 0 ... 60 bar

Aguja

Plástico, negro

DN 160: Aluminio, negro

Caja

Plástico, negro

DN 160: Acero, negro

Mirilla

Plástico, transparente, apretada en la caja

DN 160: Cristal

Anillo

sin

DN 160: Acero, negro

Opciones

- Clase de precisión 1,6
- Caja acero negro, versión DN 40, 50 y 63 con taladro de despresurización de presión
- Borde dorsal (no con versiones de DN 40 y 50)

Ejecuciones especiales

Para sistemas cerrados de calefacción

DN 63, 80

Con aguja de marcaje roja y sector verde ajustable, rangos de indicación 0 ... 4 bar, marca roja en 2.5 ó 3 bar

Para sistemas de calefacción

DN 80, 100, 160

Rangos de indicación 0 ... 0,6 ó 0 ... 1 bar, con escala comprimida y aguja de marcaje roja

Para instalaciones del frío

DN 63, 80

con escala suplementaria en °C para refrigerantes, Refrigerantes: R 12, R 22, R 502, R 404a ó R 134 a

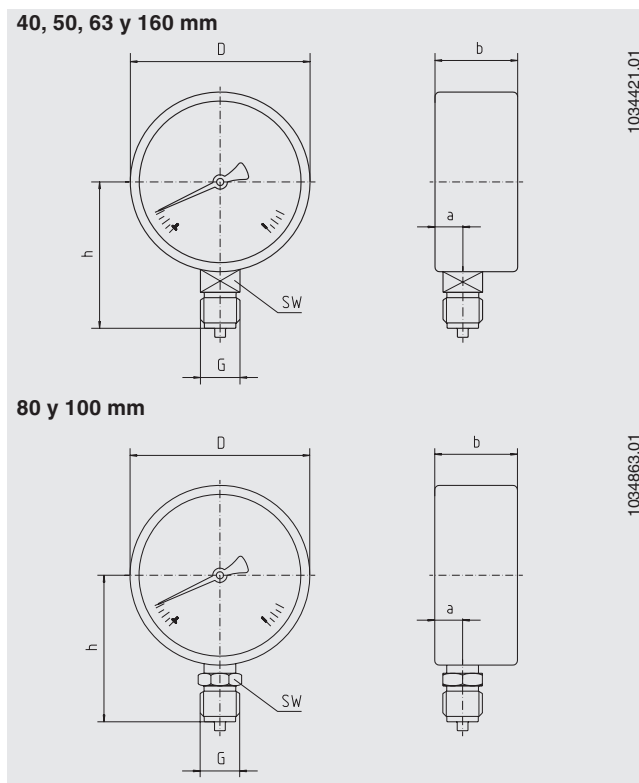
Para la indicación del nivel de agua (hidrómetro)

DN 80, 100, 160

Rangos de indicación 0 ... 0,6 hasta 0 ... 40 bar, con segunda escala en mc.a

Dimensiones en mm

Versión estándar



DN	Dimensiones en mm					Ancho de llave	Peso en kg
	a	b ± 0,5	D	G	h ± 1		
40	9,5	26	39	G 1/8 B	36	14	0,08
50	10	27,5	49	G 1/4 B	45	14	0,10
63	9,5	27,5	62	G 1/4 B	53,5	14	0,13
80	11,5	30	79	G 1/2 B	72	22	0,18
100	11,5	30,5	99	G 1/2 B	83,5	22	0,21
160	15,5	42	160	G 1/2 B	115,5	22	0,85

Conexión a proceso según EN 837-1 / 7.3

Indicaciones relativas al pedido

Modelo / Diámetro nominal / Rango de indicación / Conexión / Opciones

© 2005 WIKA Alexander Wiegand SE & Co. KG, reservados todos los derechos.
Los datos técnicos descritos en este documento corresponden al estado actual de la técnica en el momento de la publicación.
Nos reservamos el derecho de modificar los datos técnicos y materiales.



Instrumentos WIKA S.A.
C/Josep Carner, 11-17
08205 Sabadell (Barcelona)
Tel. (+34) 902 902 577
Fax: (+34) 933 938 666
E-mail: info@wika.es
www.wika.es

Manómetro con muelle tubular Modelo 213.53, líquido de relleno, caja acero inoxidable

Hoja técnica WIKA PM 02.12



Aplicaciones

- Para puntos de medida con elevadas cargas dinámicas y vibraciones
- Para medios gaseosos, líquidos, no viscosos y no cristalizantes, compatibles con aleaciones de cobre
- Hidráulica
- Compresores, industria naval

Características

- Resistente contra vibraciones y golpes
- Construcción de extrema robustez
- DN 63 y 100 con homologación Germanischer Lloyd y Gost
- Rangos de indicación hasta 0 ... 1000 bar



Manómetro con muelle tubular, modelo 213.53.100, conexión inferior

Descripción

Versión

EN 837-1

Diámetro nominal en mm

50, 63, 100

Clase de precisión

DN 50, 63: 1,6

DN 100: 1,0

Rangos de indicación

DN 50: 0 ... 1 a 0 ... 400 bar

DN 63, 100: 0 ... 0,6 a 0 ... 1000 bar

así como todas las gamas correspondientes para presión negativa y sobrepresión negativa y positiva.

Carga máx.

DN 50, 63: Carga estática: $\frac{3}{4}$ x valor final de escala

Carga dinámica: $\frac{2}{3}$ x valor final de escala

Carga puntual: Valor final de escala

DN 100: Carga estática: Valor final de escala

Carga dinámica: 0,9 x valor final de escala

Carga puntual: 1,3 x valor final de escala

Temperatura admisible

Ambiente: -20 ... +60 °C

Medio: +60 °C máxima

Influencia de temperatura

En caso de desviación de la temperatura de referencia en el sistema de medición (+20 °C): máx. $\pm 0,4$ %/10 K de la gama de indicación

Tipo de protección

IP 65 según EN 60529 / IEC 529

Conexión a proceso

Aleación de cobre,

Conexión inferior o dorsal

DN 50, 63: Rosca macho G ¼ B, SW 14

DN 100: Rosca macho G ½ B, SW 22

Elemento de medición

DN 50, 63:

< 60 bar: aleación de cobre, forma circular

≥ 60 bar: aleación de cobre, forma circular

DN 100:

< 100 bar: aleación de cobre, forma circular

≥ 100 bar: acero CrNi 316L, forma helicoidal

Mecanismo

Aleación de cobre

Esfera

DN 50, 63: Plástico ABS, blanco con tope

DN 100: Aluminio blanco, subdivisión negra

Aguja

DN 50, 63: Plástico, negro

DN 100: Aluminio, negro

Mirilla

Plástico, transparente

Caja

Acero inoxidable, pulido, con taladro de ventilación en posición 12 horas

Junta tórica entre caja y conexión

Tapón en versiones ≤ 0 ... 16 bar con ventilación para la compensación de la presión interior

Anillo

Aro bordonado, acero CrNi, pulido, aro tipo coche

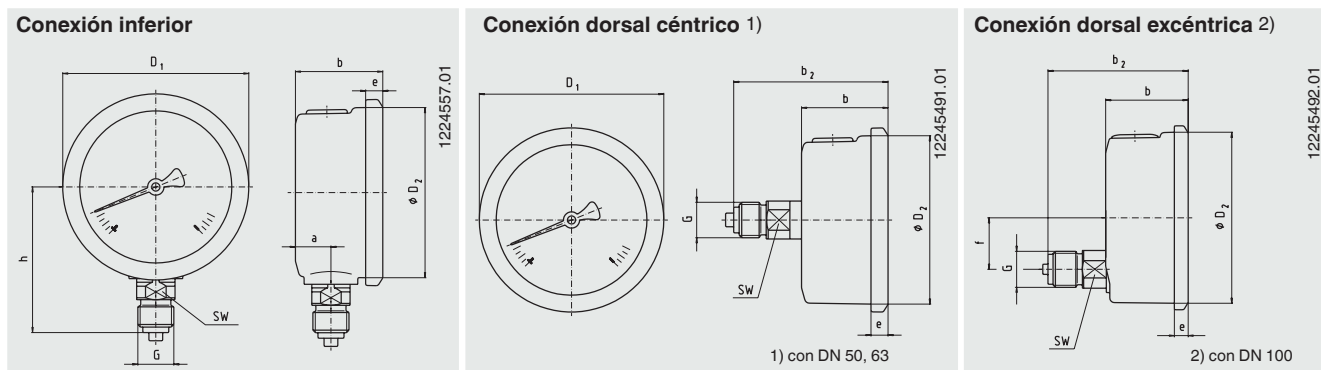
Líquido de relleno

Glicerina 99,7 %

Opciones

- Sistema de medida y mecanismo en acero CrNi (Modelo 233.53)
- DN 100: corrección punto cero (frontal)
- Temperatura del medio superior con soldadura de estaño especial
 - DN 50, 63: 100 °C
 - DN 100: 150 °C
- Resistencia temperatura ambiental -40 ... +60 °C con relleno de silicona
- Borde frontal, acero CrNi, con conexión dorsal
- Borde dorsal, acero CrNi (no DN 50)
- Soporte con brida (en versión con conexión dorsal)

Dimensiones en mm



DN	Dimensiones en mm										Peso en kg
	a	b ± 0,5	b ₂ ± 0,5	D1	D2	e	f	G	h ± 1	SW	
50	12	30	55	55	50	5,5	-	G ¼ B	48	14	0,15
63	13	32	56	68	62	6,5	-	G ¼ B	54	14	0,21
100	15,5	48	81,5	107	100	8	30	G ½ B	87	22	0,80

Conexión a proceso según EN 837-1 / 7.3

Indicaciones relativas al pedido

Modelo / Diámetro nominal / Rango de indicación / Conexión / Posición de la conexión / Opciones

© 2008 WIKA Alexander Wiegand SE & Co. KG, todos los derechos reservados.

Los datos técnicos descritos en este documento corresponden al estado actual de la técnica en el momento de la publicación.

Nos reservamos el derecho de modificar los datos técnicos y materiales.



Instrumentos WIKA S.A.
C/Josep Carner, 11-17
08205 Sabadell (Barcelona)
Tel. (+34) 902 902 577
Fax: (+34) 933 938 666
E-mail: info@wika.es
www.wika.es

Termómetros bimetálicos Modelo 52, ejecución industrial

Hoja técnica WIKA TM 52.01



Aplicaciones

- Aplicaciones variadas en maquinaria depósitos, tubería e instalaciones
- Calefacción

Características

- Rangos de medida desde -30 ... +500 °C
- Caja y bulbo en acero inoxidable
- 5 distintas formas de conexión
- Combinable con una gran variedad de diseños de vainas



Termómetro bimetalico, modelo A52.100

Descripción

Los termómetros de esta serie están previstos para el montaje en tuberías y depósitos. Ejecuciones con y sin vaina permiten las aplicaciones más variadas para la medición de temperatura de medios líquidos y gaseosos.

La utilización en áreas clasificadas sin indicación Ex se permite en zona 1 y zona 2 (gases, grupos de ignición IIA, IIB, IIC).

Versión estándar

Elemento de medición

Espiral bimetalico

Diámetro en mm

25, 33, 40, 50, 63, 80, 100, 160

Conexiones

- S Estándar (rosca, fija)
- 1 Conexión lisa (sin rosca)
- 2 Conexión girable ¹⁾
- 3 Tuerca de unión ¹⁾
- 4 Rosca de apriete (deslizable sobre bulbo) ¹⁾

¹⁾ No en DN 25, 33, 40, 50

Modelos

Modelo	DN	Versión
A52.025	25	Conexión dorsal (axial)
A52.033	33	
A52.040	40	
A52.050	50	
A52.063	63	
A52.080	80	
A52.100	100	
A52.160	160	
R52.063	63	Conexión inferior (radial)
R52.080	80	
R52.100	100	
R52.160	160	

Clase de precisión

DN 25, 33: ±5 % del rango de indicación
DN 40, 50: 2 según EN 13190
DN 63, 80, 100, 160: 1 según EN 13190

Rango de servicio

Carga a largo plazo: Rango de medida según EN 13190
a corto plazo (máx. 24 h): Rango de indicación según EN 13190

Rangos de indicación, rangos de medida ²⁾, límite de error (EN 13190)

Subdivisión de la escala según la norma de fabricación de WIKA

Rango de indicación en °C	Rango de medida en °C	Subdivisiones en °C		Límite de error ±°C	
		hasta DN 63	desde DN 80	hasta DN 50	desde DN 63
-30 ... +50	-20 ... +40	1	1	2	1
-20 ... +60	-10 ... +50	1	1	2	1
0 ... 60	10 ... 50	1	1	2	1
0 ... 80	10 ... 70	1	1	2	1
0 ... 100	10 ... 90	2	1	2	1
0 ... 120	10 ... 110	2	1	4	2
0 ... 160	20 ... 140	2	2	4	2
0 ... 200 ³⁾	20 ... 180	5	2	4	2
0 ... 250 ³⁾	30 ... 220	5	2	5	2,5
0 ... 300 ⁴⁾	30 ... 270	5	2	-	5
0 ... 400 ⁴⁾	50 ... 350	5	5	-	5
0 ... 500 ⁴⁾	50 ... 450	5	5	-	5

²⁾ El rango de medida está limitado por dos triángulos en la esfera.
Dentro de este rango rige la limitación de error según DIN EN 13190.

³⁾ No con DN 33

⁴⁾ No con DN 25 hasta DN 50

Caja, aro, bulbo, conexión a proceso y distanciador

Acero inoxidable

Caja del muelle deflector

Aluminio, solo con conexión inferior

Esfera

Aluminio, opaco, subdivisión en negro

Mirilla

Mirilla de instrumentos
DN 33: Policarbonato

Aguja

DN 25, 33, 40: Aluminio, negro
DN 50, 63, 80, 100, 160: Aluminio, negro, microajuste

Presión admisible en bulbo

DN 25, 33, 40, 50: máx. 6 bar, estática
DN 63, 80, 100, 160: máx. 25 bar, estática

Tipo de protección

DN 25, 33, 40: IP 54 según EN 60529 / IEC 529
DN 50, 63, 80, 100, 160: IP 43 según EN 60529 / IEC 529

Opciones

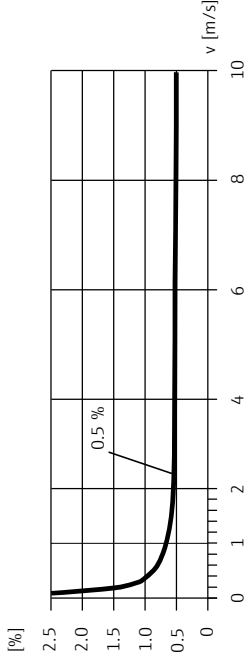
- Rangos de escala °F, °C/°F (escala doble)
- Otros rangos de indicación
- Otras conexiones

Datos técnicos

Entrada	Temp. ambiente	Típicamente $v = 0,01$ a 10 m/s con la precisión especificada
Señal de salida	Salida de corriente	Activa: $4...20$ mA, $R_L < 700 \Omega$ (para HART®; $\geq 250 \Omega$) Pasiva: 30 V CC/ 250 mA; Colector abierto
Fuente alimentación	Alimentación	$85...250$ V CA, $45...65$ Hz; $20...28$ V CA, $45...65$ Hz; $11...40$ V CC
	Consumo (incl. sensor)	$85...250$ V CA: <12 VA; $20...28$ V CA: <8 VA; $11...40$ V CC: <6 W
Precisión	Condiciones de trabajo de referencia	según las normas DIN EN 29104 y VDI/VDE 2641
	Temperatura del líquido	$+28^\circ\text{C} \pm 2\text{K}$
	Temp. ambiente	$+22^\circ\text{C} \pm 2\text{K}$
	Período de calentamiento	30 minutos
	Error medido máximo (Salida de corriente)	$\pm 0,5\%$ del valor de fondo de escala más típicamente $\pm 5 \mu\text{A}$
	Error medido máximo (Salida de impulso)	$\pm 0,5\%$ de la lect ± 2 mm/s
	Reproducibilidad	Máx. $\pm 0,2\%$ lect. ± 2 mm/s (lect. = valor de la lectura)
Tramo recto de entrada y de salida		
	Si es posible, instalar el sensor lejos de elementos como válvulas, piezas en T, codos, etc.	
	Tramo recto de entr.	$\geq 5 \times \text{DN}$
	Tramo recto de salida	$\geq 2 \times \text{DN}$
Condiciones de trabajo: entorno		
	Temp. ambiente	$-20...+60^\circ\text{C}$
	Temp. almacenamiento	$-20...+60^\circ\text{C}$
	Protección	IP 67 (NEMA 4X) para el transmisor y para el sensor
	Resist. a vibraciones e impactos	Aceleración hasta 2 g conforme a la norma IEC 600 68-2-6
	CEM	Según las normas IEC/EN 61326 y NAMUR Recomendación NE 21; Emisiones: hasta el valor límite para la industria EN 55011

Condiciones de trabajo: proceso		
Temp. del medio	$0...+60^\circ\text{C}$	
Conductividad mín.	$\geq 50 \mu\text{S}/\text{cm}$	
Presión del medio	PN16	
Estanqueidad al vacío	Tubo de medición: 0 mbar abs para una temperatura del líquido de $\leq 60^\circ\text{C}$	
Materiales		
Discos de puesta a tierra	1.4301/304	
Cabezal del sensor	Fundición de aluminio con recubrimiento de pulvimetal	
Tubo de medición	EPDM	
poliamida, juntas tóricas		
Electrodos	1.4435/316L	
Electrodos acoplados	Dos electrodos de 1.4435/316L	
Kit de montaje		
Incluido para versión wafer (entre bridas)		
Elementos	Pernos de montaje, juntas, arandelas y juntas en bridas	
Interfaz de usuario		
Elementos de indicación	Indicador de cristal líquido: no iluminado, dos líneas, 16 caracteres por línea	
Indicador	Indicador (modo de funcionamiento) preconfigurado: caudal volumétrico y estado del totalizador	
Elementos de configuración	Configuración local mediante tres teclas	
Configuración a distancia	Configuración vía el protocolo HART® y el software FieldCare	
Certificados		
	Certificado para uso en agua potable WRAS BS 6920	

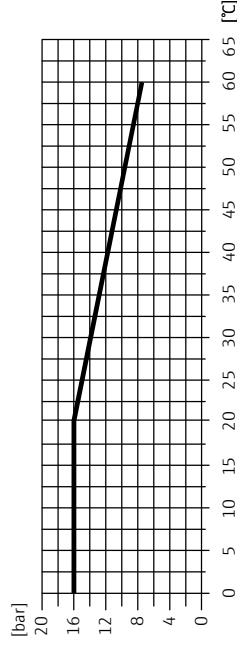
Error medido máximo



Error medido máximo en % de la lectura.

Las fluctuaciones de la tensión de alimentación no afectan en el rango especificado.

Relación Presión-Temperatura

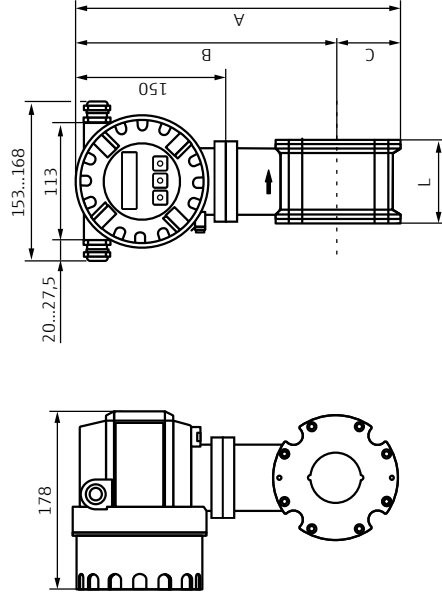


Presión de proceso permitida



Dimensiones (en mm)

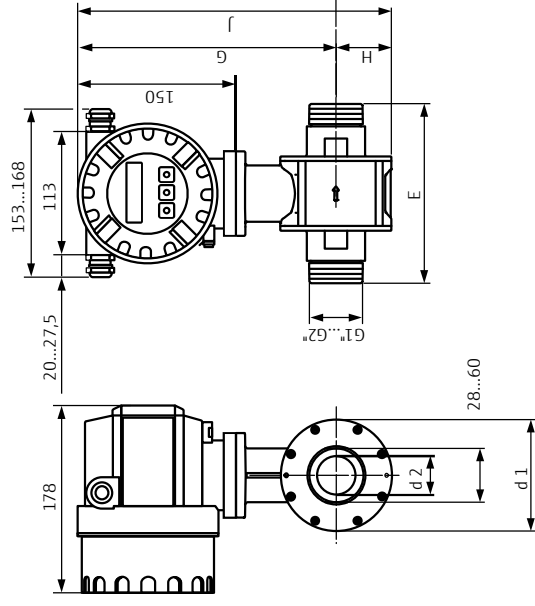
Versión compacta del Promag D con conexión wafer



Instalación conforme al manual de instrucciones

DN	L	A	B	C	Peso
EN (DIN)/JIS [mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kg]
25	55	283	240	43	2,9
40	69	303	251	52	3,5
50	83	324	262	62	4,3
65	93	342	272	70	5,1
80	117	351	276	75	6,1
100	148	379	290	89	8,8

Versión compacta del Promag D con conexión roscada



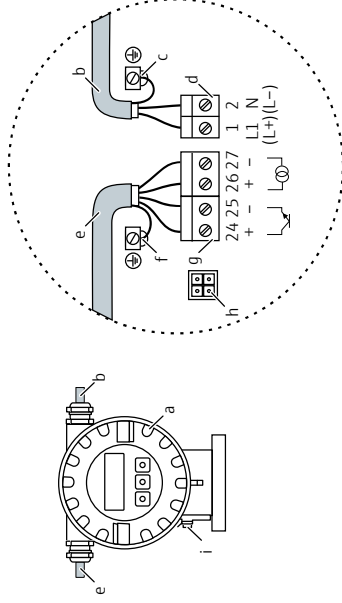
Instalación conforme al manual de instrucciones

DN	E	G	H	J	Peso
EN (DIN)/JIS [mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kg]
25	110	240	43	283	2,9
40	140	251	52	303	3,5
50	200	262	62	324	4,3



Conexión eléctrica

Valores característicos de caudal



Díámetro mm	Caudal recomendado Valor de fondo de escala mín./máx. (v ~ 0.3 o 10 m/s)	Ajustes de fábrica Salida de corriente de fondo de escala (v ~ 2.5 m/s)	Valor del impulso (~ 2 impulsos/s)	Supresión del caudal residual (v ~ 0,04 m/s)
25	9 a 300 dm ³ /min	75 dm ³ /min	0.50 dm ³	1 dm ³ /min
40	25 a 700 dm ³ /min	200 dm ³ /min	1.50 dm ³	3 dm ³ /min
50	35 a 1100 dm ³ /min	300 dm ³ /min	2.50 dm ³	5 dm ³ /min
65	60 a 2000 dm ³ /min	500 dm ³ /min	5.00 dm ³	8 dm ³ /min
80	90 a 3000 dm ³ /min	750 dm ³ /min	5.00 dm ³	12 dm ³ /min
100	145 a 4700 dm ³ /min	1200 dm ³ /min	10.00 dm ³	20 dm ³ /min

Conexión del transmisor, sección transversal del cable máx. 2,5 mm²

- Tapa frontal del compart. para la electrónica
- Cable de alimentación
- Borna para puesta a tierra de protección
- Borna para el cable de alimentación
- Cable de señal
- Borna de tierra para el cable de señal
- Borna para el cable de señal
- Conector rápido de servicio
- Borna de puesta a tierra para la compensación de potencial

Borna No.:

- 24 (+)/25 (-) = Salida de impulso/estado
 - 26 (+)/27 (-) = HART® salida de corriente
- Valores funcionales véase "Señal de salida"

- 1 (L1/L+)/2 (N/L-) = Fuente de alimentación
- Valores funcionales véase "Tensión de alimentación"

Power Meter TYP-360

Ficha técnica

Medida de Voltaje (V)

Rango	Método	Precisión	Impedancia de Entrada
999.9 V	RMS verdadero	$\pm 0.5\%rdg \pm 10dgt$ s (>30V)	2M Ω

Medida de Corriente (A)

Rango	Método	Precisión
250 A 500 A 1000 A	RMS verdadero	$\pm 0.5\%rdg \pm 10dgt$ s+ error de la pinza de corriente.

Medida de Potencia Activa (KW)ng

Rango	Precisión	Efecto del Factor de Potencia
600.0KW	$\pm 0.5\%rdg \pm 10dgt$ s+ error de la pinza de corriente.	$\pm 0.1\%rdg$

Medida de Potencia Reactiva (KVAR)

Rango	Precisión	Efecto del Factor de Potencia
600.0KVAR	$\pm 0.5\%rdg \pm 10dgt$ s+ error de la pinza de corriente.	$\pm 0.1\%rdg$

Medida de Potencia Aparente (KVA)

Rango	Precisión
600.0KVA	$\pm 0.5\%rdg \pm 10dgt$ s+ error de la pinza de corriente.

Medida de Energía Activa (KWh)

Rango	Precisión	Resolución
0.0 KWh a 9999 MWh	$\pm 0.5\%rdg \pm 10dgt$ s+ error de la pinza de corriente.	0.1KWh

Medida de Energía Reactiva (Kvarh)an

Rango	Precisión	Resolución
0.0 Kvarh a 9999 Mvarh	$\pm 0.5\%rdg \pm 10dgt$ s+ error de la pinza de corriente.	0.1Kvarh

Medida de Energía Aparente (KVAh)

Rango	Precisión	Resolución
0.0 KVAh a 9999 MVAh	$\pm 0.5\%rdg \pm 10dgt$ + error de la pinza de corriente.	0.1KVAh

Factor de Potencia (FP)

Rango	Precisión	Visor de Polaridad
-1.000(conductor) a 0.000 a + 1.000 (fase)	$\pm 1dgt$ para cada cálculo de los valores medidos	Cuando la corriente se retrasa respecto al voltaje sin señal; cuando la corriente del conductor al voltaje : "-".

Medida de Frecuencia (Hz)

Rango	Fuente de Medición	Precisión
40Hz to 100Hz	Tensión U1	$\pm 0.5\%rdg \pm 1dgt$

Especificaciones Generales

Dimensiones	235(L)x116(W)x54(H)mm
Temperatura y humedad de trabajo	Temperatura -- 0 °C a 50 °C (32 °F a 122 °F) Humedad Relativa < 80% sin condensación
Temperatura y humedad de almacenamiento	Temperatura -- - 10 °C a 60 °C (14 °F a 140 °F) Humedad Relativa < 70% sin condensación
Medida de armónicos y forma de onda	Solo desde el PC con conexión directa del equipo TYP-360 al ordenador.
Peso	Aproximadamente 750 g.
Protección y normativa	IP 65 / IEC 1010 - 1, 600 V CAT III

Tacómetro óptico, para medir las revoluciones sin contacto / Valores MIN y MAX / Memoria para 99 valores / Pantalla LCD retroiluminada / Función HOLD

El tacómetro óptico de mano sirve para realizar mediciones sin contacto. El tacómetro óptico digital PCE-DT 63 se usa sobre todo en el mantenimiento de diferentes máquinas. Entre estas están las cintas transportadoras, motores y correas de distribución. Es importante que las instalaciones funcionen con el número de revoluciones correcto, lo que contribuye a un funcionamiento óptimo. Por otro lado, es importante comprobar que las revoluciones de las máquinas no sean demasiado alta, lo que evitará que se produzcan daños, o que disminuya la calidad de los productos.

La medición con el tacómetro óptico se realiza sin contacto gracias a un láser y una banda reflectante. Para ello, debe pegar la banda reflectante, que se incluye en el envío, sobre el objeto. Esto permite al tacómetro óptico detectar incluso valores bajos, que se indicarán en la pantalla LCD. Para obtener una alta precisión, se ajustan automáticamente los rangos de medición. El tacómetro óptico PCE-DT 63 indica el valor en rpm. Además, puede memorizar los valores pulsando una tecla. Una vez que enciende el equipo, el tacómetro memoriza los valores MIN y MAX.

Durante la medición debe situar el tacómetro a una distancia superior a 50 mm e inferior a 250 mm. El tacómetro se envía completo e incluye las pilas.


- Cambio automático del rango de medición
- Desconexión automática tras 30 segundos
- Pantalla LCD retroiluminada
- Carcasa de plástico robusta
- Memoria MIN / MAX
- Memoria para valores

Especificaciones técnicas

Rango / Resolución	50 ... 99,99 / 0,01 rpm 100 ... 9999,9 / 0,1 rpm 10000 ... 99999 / 1 rpm
Precisión	± 0,003 % del valor ; ±2 dígitos
Distancia de medición	50 ... 250 mm
Pantalla	LCD de 5 dígitos
Desconexión automática	A los 30 segundos
Temperatura operativa	0 ... +40 °C
Humedad relativa	≤80 % H.r.
Memoria	Manual: 99 valores, valores MIN / MAX
Alimentación	4 x pilas 1,5 V tipo AAA
Carcasa	Plástico
Dimensiones	155 x 60 x 27 mm
Peso	120 g

Contenido del envío

- 1 x Tacómetro óptico PCE-DT 63
- 4 x Pilas AAA (1,5 V)
- 1 x Banda reflectante
- 1 x Estuche
- 1 x Instrucciones de uso



**Válvulas de asiento
sin mantenimiento
con estanqueidad metálica**

con fuelle

con bridas
conforme a la nueva norma
europea 1092-2, tipo 21

Fundición gris PN 16 DN 15-300
Fundición nodular PN 16 DN 15-350
Fundición nodular PN 25 DN 15-150

La nueva BOA-H

Aplicaciones

Instalaciones de calefacción por agua caliente
Instalaciones de calefacción por agua sobrecalentada
Instalaciones de vapor
Centrales Térmicas

Condiciones de servicio

Rango de temperatura:
de -10 a + 300 C para EN-GJL-250, JL 1040 *)
de -10 a + 350 C para EN-GJS-400-18-LT, JS 1025 *)
Rango de presión:
hasta $p_p = 16$ bar
hasta $p_p = 25$ bar únicamente para fundición nodular,
DN 15-150

Materiales

Cuerpos:

Válvula de paso recto:
Fundición gris EN-GJL-250, JL 1040 *)
Fundición nodular EN-GJS-400-18-LT, JS 1025 *)
Válvula de paso en escuadra:
Fundición gris EN-GJL-250, JL 1040 *)
Otras características ver tabla de materiales

Ejecución

Válvula de asiento de paso recto o paso en escuadra, con asiento recto
Tapa del cuerpo en construcción compacta
Estanqueidad del husillo mediante fuelle y prensa estopa de seguridad sin necesidad de mantenimiento
Volante no ascendente
Indicador de posición
Bridas según DIN EN 1092-2 tipo 21
Libre de amianto, de CFC y de biofenileno sobreclorado
Pintura exterior: azul-RAL 5002

El marcado se realiza según DIN EN 19 (ISO 5209)

Variantes

Asiento con junta de PTFE (max. 200 C, DN 15 a 200, con cono de regulación DN 15 a 150)
Cono de regulación, indicador de apertura, dispositivo de bloqueo y limitador de carrera
Tapa con precinto (para impedir el accionamiento no autorizado)
Cono de descarga (a partir de DN 200)
Ejecución desengrasada
Mecanizado especial de las bridas
Accionadores eléctricos
Tornillería templada en frío
Certificados 3.1B

Observaciones

Curvas características 7150.4
Ficha técnica 0570.8

Datos a facilitar con el pedido

Válvula de asiento:
1. BOA^R-H según ficha técnica 7150.1
2. PN 16 o PN 25
3. EN-GJL-250, JL 1040 *) o EN-GJS-400-18-LT, JS 1025 *)
4. Válvula de asiento de paso recto o paso en escuadra (con paso en escuadra solamente en EN-GJL-250, JL 1040 *)
5. DN 15 a 350 (DN 350 solamente en EN-GJS-400-18-LT, JS 1025 *)
6. Variantes

*) Observaciones:

Las referencias GG-25 y GGG-40.3 ya no se utilizan; han sido reemplazadas por las nuevas referencias.
La nueva numeración de material que ha reemplazado a la antigua GG-25 es la JL 1040, la norma del material es EN-GJL-250.
La nueva numeración de material que ha reemplazado a la antigua GGG-40.3. es la JS-1025, la norma del material es EN-GJS-400-18-LT

Presiones de servicio admisibles

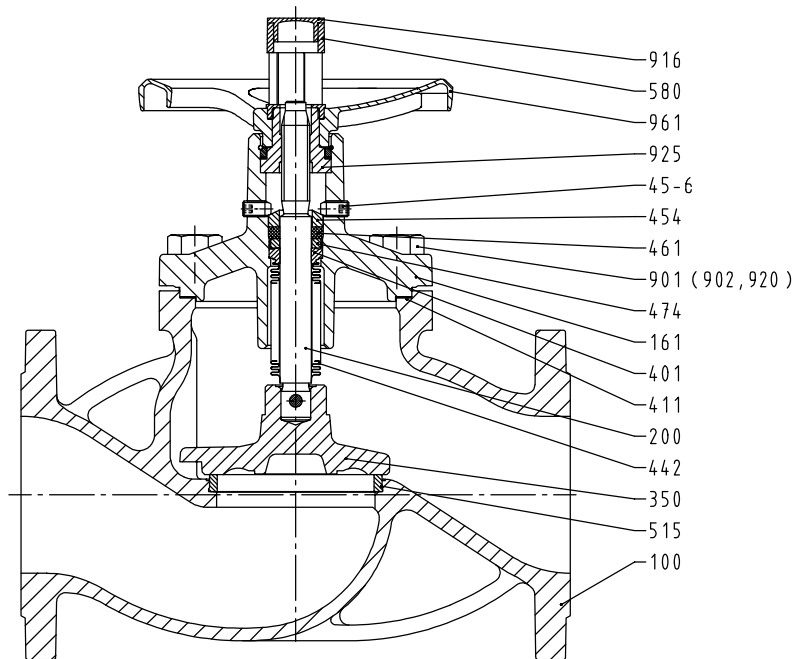
Presión Nominal	Material	Ensayo hidráulico de resistencia en bar		Presiones de servicio admisibles en bar a la temperatura de °C ³⁾ según EN 1092-2				
		cuerpo ¹⁾	asiento ²⁾	- 10 hasta + 120 °C	200	250	300	350
16	EN-GJL-250	24	16	16	12,8	11,2 ⁴⁾	9,6 ⁴⁾	-
	EN-GJS-400-18-LT			16	14,7	13,9 ⁴⁾	12,8 ⁴⁾	11,2
25	EN-GJS-400-18-LT	37,5	25	25	23	21,8	20	17,5

¹⁾ DIN 3230 - BQ (ISO 5208)

²⁾ DIN 3230 BN/tasa de fuga 1 (ISO 5208/ tasa de fuga A)

³⁾ Interpolarse para valores intermedios de temperatura

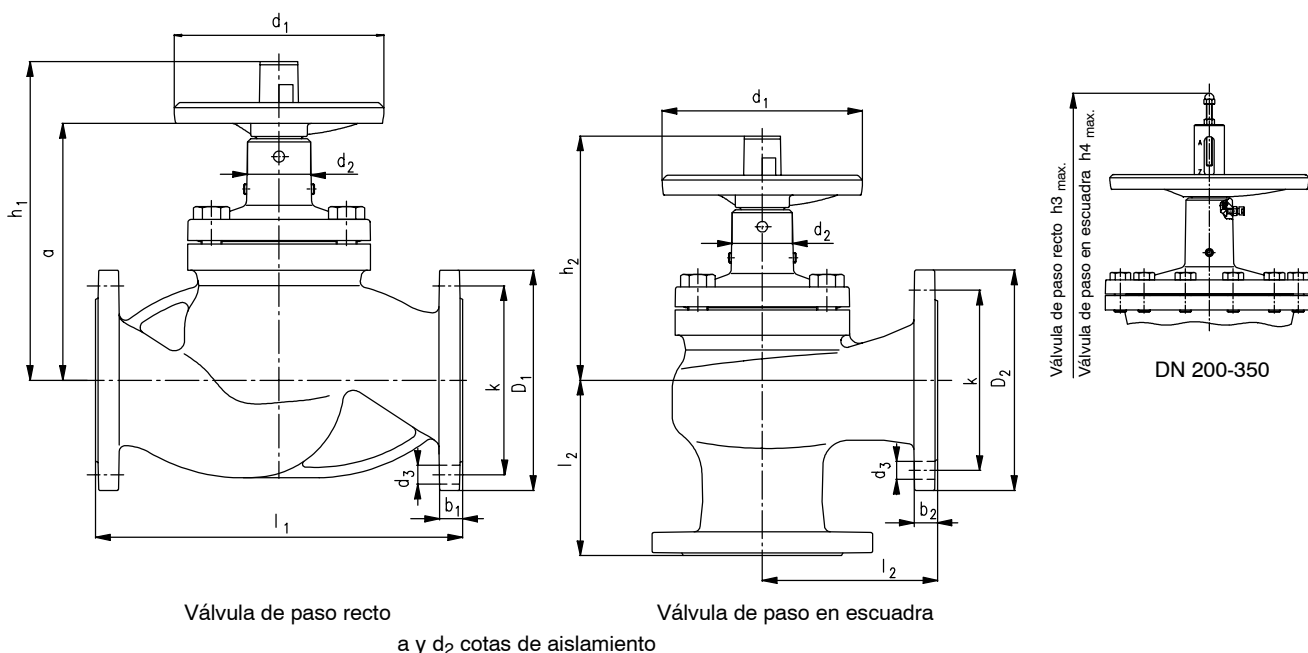
⁴⁾ Atención: comprobar que los tirantes de acoplamiento entre la brida de la válvula y la brida de la tubería tengan un límite elástico en caliente garantizado (p.ej. material 8,8 o CK 35 V)



Materiales

Referencia	Designación	DN	Material	Nº de material
100	Cuerpo	15 a 300	EN-GJL-250	JL1040
		15 a 350	EN-GJS-400-18-LT	JS1025
161	Tapa del cuerpo	15 a 300	EN-GJL-250	JL1040
		15 a 350	EN-GJS-400-18-LT	JS1025
350	Asiento	15 a 150	X 20 Cr 13	1.4021+QT (1.4021)
		200 a 350	C 22 / X 15 CrNi 18 8	1.0402 / 1.4370
411	Junta de estanqueidad		CRNiAcero-grafito	
440	Conjunto de fuelle de estanqueidad compuesto de:			
200	Husillo		Acero inoxidable (13% Cr mini.)	
401	Anillo de soldadura		Acero inoxidable	
442	Fuelle de estanqueidad		X 6 CrNiTi 18 10	1.4541
454	Casquillo de prensa-estopas		Acero inoxidable	
45-6	Tornillo de prensa-estopas		Acero	
461	Casquillo de prensa-estopas		Grafito puro	
474	Anillo de apriete		Acero inoxidable	
515	Anillo de asiento		Acero inoxidable	
580	Tapa	15 a 150	Material sintético reforzado con fibras de vidrio, resistente	
		200 a 350	Acero	
901	Tornillo con cabeza hexagonal		8.8 para EN-GJL-250	
902	Tornillo roscado		CK 35 V para EN-GJS-400-18-LT	
920	Tuerca		C35 para EN-GJS-400-18-LT	
916	Tapón		Material sintético	
925	Tuerca del husillo		Acero revestido	
961	Volante	10 a 150	Aluminio fundido a presión	
		200 a 350	EN-GJL-250	JL1040

Dimensiones PN 16



Dimensiones (mm)

PN	DN	l1	l2	h1	h2	h3	h4	d1	d2	a	D1*	D2	k	n x d3	b1**	b2	Peso aproximado	
																	Válvula de paso recto kg	Válvula de paso en escuadra kg
16 JL1040	15	130	90	160	135	-	-	100	47	120	95	95	65	4 x 14	14	13	3,1	3,3
	20	150	95	162	136	-	-	100	47	122	105	105	75	4 x 14	16	15	4,0	4,4
	25	160	100	168	134	-	-	100	47	128	115	115	85	4 x 14	16	15	4,7	4,8
	32	180	105	188	153	-	-	100	47	144	140	140	100	4 x 18	18	17	6,5	7,5
	40	200	115	193	155	-	-	100	47	149	150	150	110	4 x 18	18	17	7,7	9,0
	50	230	125	225	188	-	-	160	51	180	165	165	125	4 x 18	20	19	10,2	11,0
	65	290	145	236	188	-	-	160	51	191	185	185	145	4 x 18	20	19	17,0	16,0
	80	310	155	282	226	-	-	200	60	223	200	200	160	8 x 18	22	21	22,0	21,5
	100	350	175	304	244	-	-	200	60	245	220	220	180	8 x 18	24	23	32,0	31,0
	125	400	200	390	327	-	-	250	80	310	250	250	210	8 x 18	26	24,5	54,0	49,0
16 JS1025	150	480	225	408	320	-	-	250	80	328	285	285	240	8 x 22	26	24,5	70,5	65,5
	200	600	275	570	468	675	573	400	93	440	340	340	295	12 x 22	30	28,5	142,0	114,2
	250	730	325	606	481	712	587	400	93	476	400	400	355	12 x 26	32	30	229,0	180,5
	300	850	300	650	511	777	628	400	93	530	460	460	410	12 x 26	32	30	319,0	267,5
	15	130	-	160	-	-	-	100	47	120	95	-	65	4 x 14	14	-	3,1	-
	20	150	-	162	-	-	-	100	47	122	105	-	75	4 x 14	16	-	4,1	-
	25	160	-	168	-	-	-	100	47	128	115	-	85	4 x 14	16	-	4,6	-
	32	180	-	188	-	-	-	100	47	144	140	-	100	4 x 18	18	-	7,0	-
	40	200	-	193	-	-	-	100	47	149	150	-	110	4 x 18	19	-	8,5	-
	50	230	-	225	-	-	-	160	51	180	165	-	125	4 x 18	19	-	11,0	-
65	290	-	236	-	-	-	160	51	191	185	-	145	4 x 18	19	-	17,0	-	
80	310	-	282	-	-	-	200	60	223	200	-	160	8 x 18	19	-	21,0	-	
100	350	-	304	-	-	-	200	60	245	220	-	180	8 x 18	19	-	31,0	-	
125	400	-	390	-	-	-	250	80	310	250	-	210	8 x 18	19	-	51,0	-	
150	480	-	408	-	-	-	250	80	328	285	-	240	8 x 22	19	-	68,5	-	
200	600	-	570	-	675	-	400	93	440	340	-	295	12 x 22	20	-	137,0	-	
250	730	-	606	-	712	-	400	93	476	400	-	355	12 x 26	22	-	230,0	-	
300	850	-	650	-	777	-	400	93	530	460	-	410	12 x 26	24,5	-	328,0	-	
350	980	-	650	-	777	-	400	93	530	520	-	470	16 x 26	26,5	-	375,0	-	

* Las dimensiones y las tolerancias según DIN EN 1092-2 no están definidas, pero el diámetro mínimo exterior debe garantizar una cara de apoyo suficiente para los tornillos con cabeza hexagonal

** Las dimensiones y las tolerancias según DIN EN 1092-2 son de +4/-3 mm.

03 VÁLVULA DE BOLA CON BRIDAS

BALL VALVE (FLANGED)



CONSTRUCCIÓN / MATERIALS

- Cuerpo: **Hierro fundido EN GJL-250**
Body: *Cast iron EN GJL-250*
- Bola: **DN15 a DN25 en Acero inox. AISI 303**
DN32 a DN200 en Acero inox. AISI 304
Ball: *DN15 to DN25 Stainless steel AISI 303*
DN32 to DN200 Stainless steel AISI 304
- Eje: **Acero inox. AISI 304**
Stem: *Stainless steel AISI 304*
- Asientos de cierre / Seats: **PTFE (Teflón)**
- Palanca / Lever: **Acero / Steel**



CONDICIONES DE TRABAJO / OPERATING CONDITIONS

- Temperatura máx. / Max. temperature: **180°C**
- Presión máxima / Min. pressure: **16 bar**

MONTAJE / ASSEMBLY

- Conexión mediante bridas taladradas s / DIN2502 (PN16)
Connection with drilled flanges s / DIN2502 (PN16)

APLICACIONES / APPLICATIONS

- Agua y fluidos no agresivos (no recomendable para vapor y aire comprimido)
Water and non-aggressive fluids (not suitable for steam and compressed air)

DIMENSIONES / DIMENSIONS (mm)

Código Code	DN	ØP	L	L1	H	H1	E	Peso (kg) Weight	Kv (m³/h)
AA 03 141	15	13	115	49	92	48,50	170	2,12	37,40
AA 03 142	20	17	120	55,50	95,50	53	170	2,72	74,80
AA 03 143	25	24	125	51,50	102,20	59,50	170	3,62	105,00
AA 03 144	32	31	130	53	114,70	72	170	5,32	176,00
AA 03 145	40	38	140	61	119	77	302,50	6,90	223,00
AA 03 146	50	50	150	62	127	85	302,50	9,00	416,00
AA 03 147	65	65	170	81,50	141	98	224	11,68	660,00
AA 03 148	80	80	180	79	151,50	108,50	335	14,68	1.200,00
AA 03 149	100	100	190	94	176,50	134	350	20,23	1.980,00
AA 03 151	125	125	200	120,50	208	165	350	33,73	3.600,00
AA 03 152	150	150	210	155	254,50	190	500	49,77	5.040,00
AA 03 153	200	200	400	190	293,50	229	500	81,77	10.890,00

DIAGRAMA DE PRESIÓN Y TEMPERATURA

CHART OF PRESSURE AND TEMPERATURE

