



V7109664/0914/WATER UTILITY/71064 D&I

El nombre "Grundfos", el logotipo de Grundfos y el eslogan "be think, innovate" son marcas comerciales registradas en propiedad de Grundfos Holding A/S o Grundfos A/S (Dinamarca). Todos los derechos reservados a nivel internacional.

MANUAL DE INGENIERÍA SP

EL SISTEMA SP

Un sistema sumergible completo de Grundfos consta de una bomba SP, un motor dedicado, un variador de frecuencia y un mecanismo de seguimiento. Cada componente está diseñado para trabajar de forma armónica en conjunto a fin de garantizar un rendimiento fiable y una elevada eficiencia energética.

Grundfos ofrece décadas de experiencia en bombas sumergibles y conocimientos exhaustivos en el campo del suministro de agua, el riego y la minería.

Si desea obtener más información sobre las ventajas de un sistema SP completo, visite grundfos.es.

MANUAL DE INGENIERÍA SP

GRUNDFOS

GRUNDFOS

be
think
innovate

GRUNDFOS

MANUAL
DE INGENIERÍA
SP

1	INTRODUCCIÓN	
2	SUMINISTRO DE AGUA	8
2.1	Recursos	9
2.2	Aguas subterráneas	9
2.2.1	Pozos de aguas subterráneas	9
2.2.2	Filtración de cauces fluviales	9
2.2.3	Agua subterránea requerida	10
2.2.4	Agua bruta de pozo requerida y capacidad de tratamiento de aguas	11
2.2.5	Rendimiento de los pozos y eficiencia operativa	12
2.3	Aguas superficiales	14
2.3.1	De fuentes de agua dulce	14
2.3.2	De fuentes de agua marina y salada	14
3	APLICACIONES	16
3.1	Suministro de agua dulce	17
3.2	Drenaje	19
3.2.1	Minería	19
3.3	Aplicación horizontal	20
3.4	Aire y gas en el agua	20
3.5	Cavitación	21
3.5.1	Profundidad de instalación	22
3.6	Golpe de ariete	24
3.7	Agua corrosiva (agua marina)	25
3.8	Agua caliente y aguas geotérmicas	26
3.9	Aumento de presión	27
4	BOMBAS	28
4.1	Principios de bombeo	29
4.2	Piezas desgastadas	30
4.3	Selección de la bomba	30
4.4	Curvas y tolerancias de las bombas	31
5	MOTORES Y CONTROLES	36
5.1	Tipos de motor, descripción general	37
5.2	Cables de motor y juntas, referencia a cables de descenso	39
5.4	Reducción de la corriente de arranque	40
5.4.1	Directo en línea (DOL)	40
5.4.2	Estrella-triángulo (SD)	42
5.4.3	Autotransformador (AT)	43
5.4.4	Arranque mediante resistencia primaria (RR)	43
5.4.5	Arranque suave (SS)	43
5.4.6	Convertidores de frecuencia (variador de velocidad)	44
5.5	Funcionamiento con un convertidor de frecuencia	46
5.6	Variador de velocidad CUE para bombas SP	47
6	ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA	50
6.1	Generación de energía	51
6.2	Tensión	51
6.2.1	Desequilibrios de la tensión	51
6.2.2	Sobretensión y subtensión	51
6.3	Frecuencia	52
6.4	Variadores de frecuencia	52
6.5	Conexión a la red	53
6.6	Corriente asimétrica	54

7	INSTALACIÓN Y FUNCIONAMIENTO	58
7.1	Pozos y sus condiciones	59
7.2	Ubicación de la bomba	60
7.3	Selección de la bomba y el motor	60
7.3.1	Punto de trabajo	60
7.3.2	Diámetro del pozo	61
7.3.3	Rendimiento del pozo	61
7.3.4	Eficiencia de la bomba	61
7.3.5	Temperatura del agua	64
7.3.6	Reducción de la potencia máxima de los motores sumergibles	65
7.3.7	Protección contra la ebullición	65
7.3.8	Refrigeración de la camisa	65
7.4	Elección de la tubería ascendente	66
7.5	Elección de cables y tamaños	67
7.6	Manejo	69
7.6.1	Montaje de la bomba y el motor	69
7.6.2	Empalme o conexión del cable del motor al cable de descenso	69
7.6.3	Conexiones de las tuberías ascendentes	69
7.7	Bombas funcionando en paralelo	70
7.8	Bombas funcionando en serie	70
7.9	Número de arranques y paradas	71
7.10	Arranque de la bomba	71
7.11	Funcionamiento de los VFD	71
7.12	Funcionamiento de los generadores	71
8	COMUNICACIONES	74
8.1	Finalidad de las comunicaciones y redes de datos	75
8.2	Sistemas SCADA	75
8.2.1	Componentes principales de SCADA	75
8.2.2	Funciones de SCADA	75
8.2.3	SCADA vía web	76
8.3	Aspectos básicos de las comunicaciones de red	77
8.3.1	Topología de red	77
8.3.2	Protocolo de comunicaciones	78
8.3.3	Perfil funcional	78
8.3.4	Bus de campo	78
8.4	GENIbus	78
8.4.1	Contexto	78
8.4.2	Pautas de cableado	79
8.5	Productos Grundfos GENIbus para aplicaciones con bombas SP	80
9	CONSEJOS Y SOLUCIONES	82
10	ACCESORIOS	84
10.1	Camisas de refrigeración	85
10.2	Protección contra la corrosión en aguas marinas	85
10.2.1	Protección catódica	85
10.2.2	Sistemas de protección catódica por galvanización	86
10.2.3	Sistemas de protección catódica por diferencia de potencial eléctrico	86
10.3	Cable de descenso	87
10.4	Uniones de cable	87
10.5	Tuberías ascendentes	88
10.6	Conexión de tuberías	88
10.7	Protección del motor	88
10.8	Convertidor de frecuencia CUE	88
11	INFORMACIÓN ADICIONAL	90
	Índice	92



1

INTRODUCCIÓN

GRUNDFOS®

Atendiendo a nuestros intereses comunes

Este manual de ingeniería ha sido creado específicamente para una de las bombas más populares y conocidas de Grundfos: la SP. En el momento de su creación a finales de los años 60 del siglo pasado, este innovador producto estableció nuevas normas en cuanto a durabilidad, eficiencia y construcción en acero inoxidable de lámina fina. Los numerosos tipos de producto, tamaños y posibilidades de configuración disponibles en la actualidad atestiguan el carácter innovador de las bombas SP originales.

Al trabajar con las bombas SP a diario surgen con frecuencia muchas y muy diversas preguntas. Hemos creado este manual de ingeniería para ayudarle a encontrar rápida y fácilmente las respuestas a muchas de ellas. De ese modo, atendemos a nuestro interés común de brindar las mejores soluciones y el mejor servicio de bombas SP a todos los clientes.

Esta tercera edición del manual de ingeniería dedicado a las bombas SP incluye una serie de cambios y adiciones, particularmente en el capítulo 8 relativo a las comunicaciones y también en lo referente a nuestro programa para los motores.

Tenga en cuenta que este manual es un complemento, pero no un sustituto, de los catálogos técnicos de los productos y de los manuales de instalación. Las ediciones más recientes de estas publicaciones son siempre las más válidas y las que se deben seguir.

Hemos dedicado un tiempo y cuidado considerables para ofrecer una presentación lo más cómoda y fácil de usar posible. Entendemos, no obstante, que siempre hay lugar para la mejora, por lo que le invitamos a remitirnos sus comentarios. Póngase en contacto con su representante local de Grundfos si hay temas que desearía ver tratados en ediciones futuras.

Esperamos que este manual le resulte una herramienta de referencia útil para su trabajo con las bombas SP.



Kenth H. Nielsen
Director global de la línea de productos,
Grundfos Holding A/S



2
SUMINISTRO DE AGUA



2.1 RECURSOS

El volumen de agua en el mundo es constante. Su posición, calidad, fase, etc., varían, pero es constante. El agua del mar representa aproximadamente el 97,5 % de toda el agua. El agua dulce supone el 2,5 % restante. Dos tercios de esta agua dulce se presentan en forma de glaciares, hielo polar y mantos de nieve. El resto, menos del 1 % de toda el agua del mundo, se encuentra disponible de varios modos para el uso del hombre a partir de distintas fuentes.

Estas fuentes son:

- aguas subterráneas, acuíferos bajo tierra a mucha o poca profundidad;
- aguas superficiales, de ríos o lagos.

En caso de no disponerse de agua dulce, el agua del mar o el agua contaminada se tratan y emplean como agua dulce.

2.2 AGUAS SUBTERRÁNEAS

Las aguas subterráneas tienen generalmente entre 25 y 10.000 años de antigüedad. Antes de alcanzar el acuífero, se han filtrado y expuesto a un tratamiento biológico en su camino a través de las diferentes capas del subsuelo. Suelen tener, por tanto, una elevada calidad y requieren poco tratamiento, o ninguno, antes de su consumo.

2.2.1 Pozos de aguas subterráneas

Lo ideal es que los sistemas de riego y de suministro que provean agua para poblaciones de hasta 500.000 consumidores, así como sus industrias adyacentes, se abastezcan mediante aguas subterráneas. Los acuíferos libres de contaminación con un tamaño superior a 600 km² son habituales. Una red de entre 75 y 150 tomas de pozos distribuidas entre los diferentes acuíferos supondrá la fuente de agua más segura, fiable y respetuosa con el medioambiente. En sistemas que abastezcan a más de un millón de consumidores, debería considerarse una fuente adicional como, por ejemplo, filtración en cauces fluviales, embalses o desalinización.

Al extraer agua potable, cada pozo se ampliará hasta alcanzar aguas subterráneas de más antigüedad, situadas a profundidades libres de contaminación. Para los pozos de riego basta con usar agua del acuífero superior, el secundario, de una calidad ligeramente contaminada. A pesar de que el nivel de las aguas subterráneas presenta una variación estacional, deberán respetarse sus valores

anuales, ya que la cantidad máxima renovable es similar a la que se crea cada año.

Si sus niveles se hacen descender de forma permanente, cabrá esperar un desastre que implique elevados niveles de salinidad y presencia de sustancias indeseables en el suministro del agua.

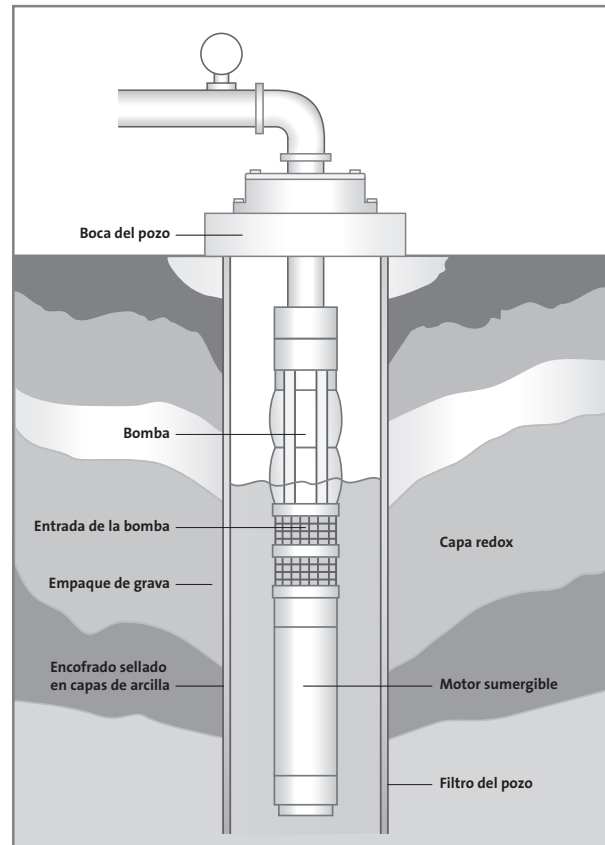


Figura 1: pozo de aguas subterráneas con bomba sumergible

2.2.2 Filtración de cauces fluviales

En este tipo de fuente, el pozo se sitúa en las proximidades de un río. Usando este método, el agua del río es filtrada a través del subsuelo. Este proceso es un añadido natural a las plantas de captación directa que necesitan aumentar su capacidad. Su agua prefiltrada, fácil de limpiar, requiere un menor tratamiento final y se extrae del acuífero cuando el nivel del río está bajo.

Después de cada período húmedo con niveles fluviales elevados, el barro, el estiércol y los sedimentos del lecho del río se ven arrastrados aguas abajo son y parcialmente sustituidos por nuevos sedimentos. Tal proceso natural proporciona unas condiciones perfectas para reducir en un 90 % las enzimas de origen humano, virus, bacterias,

agentes patógenos y similares. Estos períodos con niveles fluviales elevados también sirven para rellenar los acuíferos cercanos al río, donde el agua se almacena y queda lista para alimentar los pozos de los cauces cuando los niveles estén bajos durante la estación seca. El almacenamiento de las aguas fluviales en acuíferos causa una menor sobrecarga hídrica en el río durante las estaciones secas.

Los pozos de cauces fluviales pueden construirse como los pozos de aguas subterráneas o a partir de encofrados verticales de 7 u 8 m practicados bajo el lecho fluvial. Pueden complementarse con entre 8 y 12 filtros o pantallas de acero para captar agua libre de sedimentos mediante inyección horizontal.

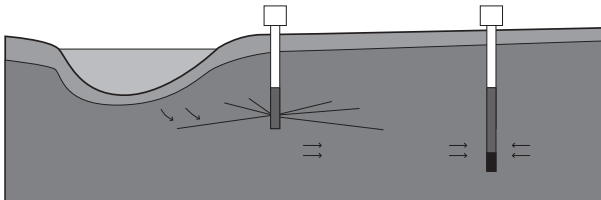


Figura 2: instalaciones de pozos en cauces fluviales

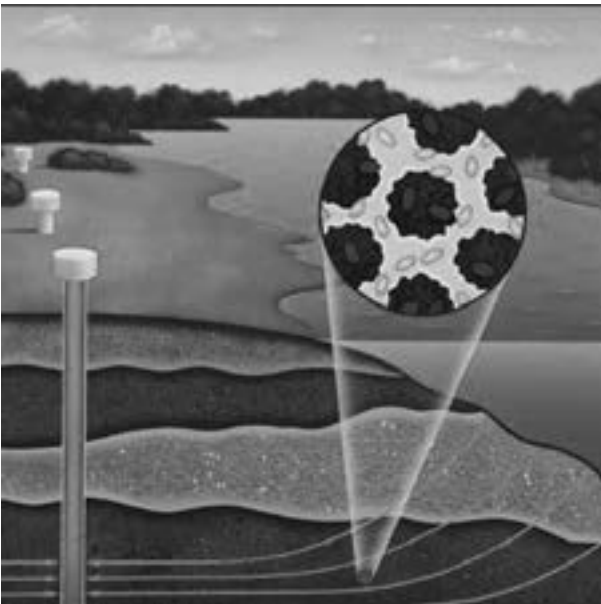


Figura 3: filtración en cauces fluviales. Las bacterias, patógenos, etc., se ven atrapadas por los sedimentos.

2.2.3 Agua subterránea requerida

Para determinar la necesidad de agua subterránea a obtener a partir de campos de pozos es fundamental evaluar la relación entre el volumen de almacenamiento y la capacidad de producción final de agua en comparación con el pico de consumo y el consumo diario.

Para averiguar el pico de consumo horario, consulte la página dedicada al sistema de aumento de presión MPC en la herramienta online Grundfos Product Center o las figuras 4 y 5.

Extracción requerida

Son numerosos los tipos de consumidores de agua que existen, cada uno con un patrón de consumo específico. Existen diversos métodos para calcular las necesidades máximas de agua, tanto de forma manual como informatizada.

La tabla mostrada a continuación se puede emplear para realizar un cálculo aproximado de las necesidades de agua para:

- edificios de oficinas
- edificios residenciales, incluyendo bloques de apartamentos
- grandes almacenes
- hospitales
- hoteles

Categoría	Unidades	Promedio m ³ /h
Viviendas	2.000 unidades	70
Edificios de oficinas	2.000 empleados	30
Grandes almacenes	2.000 empleados	55
Hoteles	1.000 camas	110
Hospitales	1.000 camas	80
Pico de carga máxima (temporada cálida)		345

Factores empleados en el cálculo del consumo diario:

- Mínimo de 100 usuarios conectados: factor 8
- Mínimo de 30 usuarios conectados: factor 4
- Mínimo de 10 usuarios conectados: factor 2,5

El consumo máximo diario en el ejemplo anterior será de: factor 8 x 345 m³/h = 2.760 m³/día.

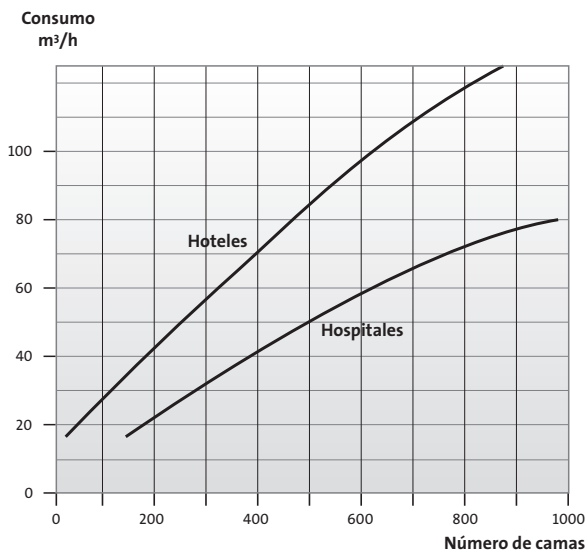


Figura 4: picos de consumo de agua

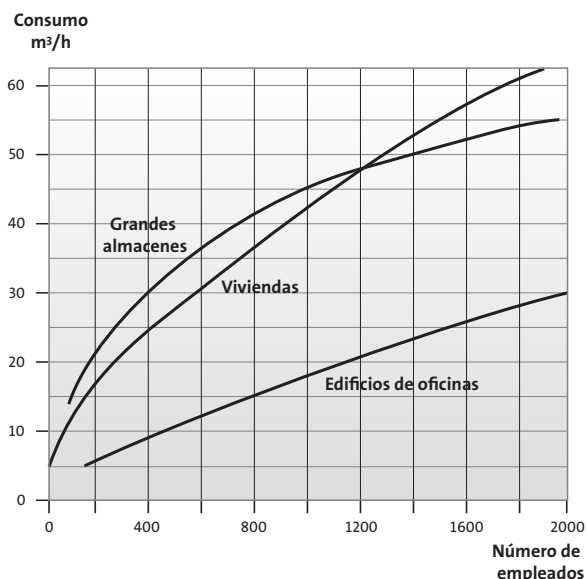


Figura 5: picos de consumo de agua

El pico de consumo por hora que se muestra se puede convertir en consumo diario estimado usando los factores 8/4/2,5.

2.2.4 Agua bruta de pozo requerida y capacidad de tratamiento de aguas

La relación entre el almacenamiento del agua y el consumo diario nos indica el porcentaje del consumo diario que está presente en el almacenamiento. Con este valor, avance horizontalmente en la gráfica de la figura 6 para averiguar el porcentaje de agua bruta requerida. El consumo diario multiplicado por el porcentaje de agua bruta requerida nos da la capacidad que se necesita obtener de los campos de pozos.

Si una planta de tratamiento no dispone de un tanque de agua limpia o de un depósito elevado de agua, el agua bruta y la capacidad de tratamiento deben ser iguales al consumo máximo por hora: es decir, $Q_{\text{agua bruta}} = 345 \text{ m}^3/\text{h}$ en el ejemplo (pico de carga máxima en temporada cálida).

Si la planta de tratamiento dispone de un tanque de agua limpia o de un depósito elevado de agua de 2.760 m^3 , los picos de carga pueden cubrirse con la reserva de agua. Este hecho significa que las bombas de agua bruta pueden funcionar las 24 horas del día a razón de $2.760/24 \text{ m}^3/\text{h} = 115 \text{ m}^3/\text{h}$.

El volumen real del tanque de agua limpia o del depósito elevado de agua y la capacidad máxima de la planta de tratamiento resultan cruciales en los costes de inversión relacionados con los pozos de agua subterránea.

En el ejemplo, existe un depósito de agua limpia de 1.600 m^3 . Ello implica que el depósito de agua alcanza el $1.600/2.760 \times 100 = 58 \%$ del consumo diario.

Con un pico máximo de consumo de $345 \text{ m}^3/\text{h}$ y un consumo máximo de $2.760 \text{ m}^3/\text{día}$, y con un volumen real de agua limpia en el depósito de 1.600 m^3 , la capacidad de agua bruta debe ser de al menos $2.760 \times 7,6/100 = 210 \text{ m}^3/\text{h}$. El valor de 7,6 se obtiene de la figura 2. De aquí se deduce un tiempo máximo de funcionamiento de las bombas de agua bruta de $2.760/210 = 13 \text{ horas/día}$.

Los $210 \text{ m}^3/\text{h}$ se dividen entre, al menos, tres o cuatro pozos. En caso de existir menos pozos, deberá realizarse una instalación de reserva.

Tamaño del depósito de agua limpia como porcentaje del consumo diario

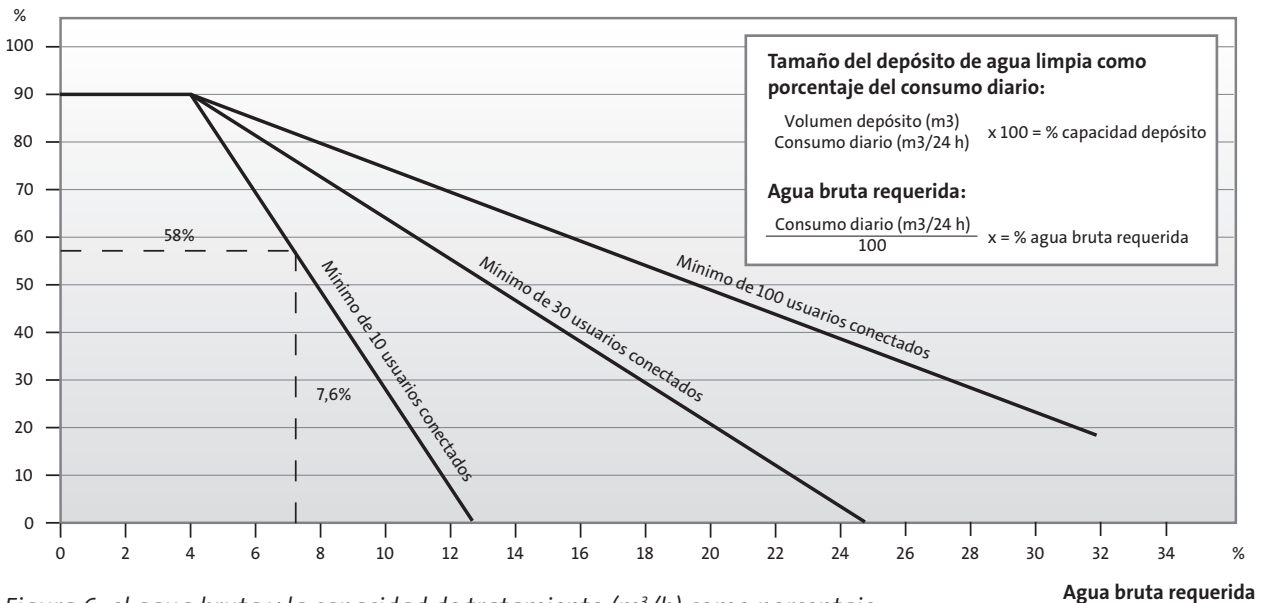


Figura 6: el agua bruta y la capacidad de tratamiento (m³/h) como porcentaje del consumo diario (m³/día)

2.2.5 Rendimiento de los pozos y eficiencia operativa

Cada pozo tiene una capacidad específica, que consiste en los m³/h por cada metro de descenso del nivel de agua bombeada. En función del agua bruta que necesite, podrá explotar cada pozo para obtener el menor descenso medio del nivel de agua que sea posible. Cuanto menor sea el descenso del nivel, menor será la altura total. Cuanto menor sea la caída de tensión en los cables eléctricos, mayor será la eficiencia operativa.

- Un bombeo excesivo tendrá como resultado un descenso importante del nivel de agua, lo que acarreará la oxidación y la formación de ocre, que puede obturar el filtro del pozo y la bomba. Esto supone un incremento en los costes de mantenimiento para la regeneración del pozo y, posiblemente, una reducción de su vida útil.
- Un bombeo excesivo implica un descenso en el nivel de agua del acuífero, lo que puede dar lugar a cambios químicos y a la precipitación de metales pesados. Existe la posibilidad de que se produzca una infiltración de nitrato y pesticidas en el agua, dando lugar a un aumento de los costes para el tratamiento del agua.

La causa más habitual del bombeo excesivo de pozos y acuíferos es el incremento en el consumo de agua, satisfecho mediante una mayor capacidad de bombeo o tiempos de funcionamiento más largos de las bombas de

aguas subterráneas, sin que se produzca un incremento del área de captación ni del número de pozos.

Carga del acuífero

Al bombear a capacidad constante durante varias horas, el nivel dinámico de agua en el pozo debería mantenerse relativamente constante. Si el nivel descende considerablemente, significa que la cantidad de agua bombeada supera su flujo de entrada. Si el nivel descende año tras año, la cantidad de agua bombeada debería reducirse y utilizarse agua de otros acuíferos.

Carga del pozo

Durante el bombeo de prueba, el volumen de agua bombeada se incrementa a intervalos fijos lo que, como resultado, reducirá el nivel dinámico de agua. Si se traza una gráfica con el descenso del nivel en función del incremento en el bombeo, el resultado será una parábola aproximada.

Descenso lineal del nivel a caudales moderados

Con caudales moderados, el descenso lineal implica que, por lo general, un incremento del volumen de agua de 1 m³/h tendrá como resultado un incremento casi lineal en el descenso del nivel de agua de 10 cm/m³.

Por lo tanto, un incremento de 10 a 20 m³/h originará un descenso del nivel de agua de aproximadamente 1 m.

Un incremento de 10 a 30 m³/h supondrá un descenso del nivel de agua de aproximadamente 2 m.

Con caudales moderados, la curva de descenso del nivel será casi lineal, puesto que el incremento en el descenso se debe a la resistencia del caudal en la configuración del filtro.

Descenso parabólico del nivel a mayores caudales

Con caudales cada vez mayores, una resistencia de rozamiento continuamente creciente en la configuración de la pantalla y del acuífero generará una curva parabólica de segundo grado para el descenso del nivel. Es decir, se producirá un descenso progresivo del nivel de agua en el pozo como resultado del incremento en el bombeo.

Un incremento de 80 a 90 m³/h supondrá un descenso adicional del nivel de aproximadamente 5 m y, si este es de 80 a 100 m³/h, de unos 11 m. Es decir, mucho más que en el caso de caudales moderados. La carga de pozo más económica tiene lugar con un caudal en el que la curva de descenso pasa de lineal a progresiva.

Si el rendimiento del pozo no es suficiente para satisfacer las necesidades de agua, incluso mediante un funcionamiento prolongado, deberá hacerse lo siguiente:

- Analizar el problema con ayuda de un especialista.
- Perforar un pozo adicional.

Tenga en cuenta que las normas y reglamentos pueden variar de un país a otro.

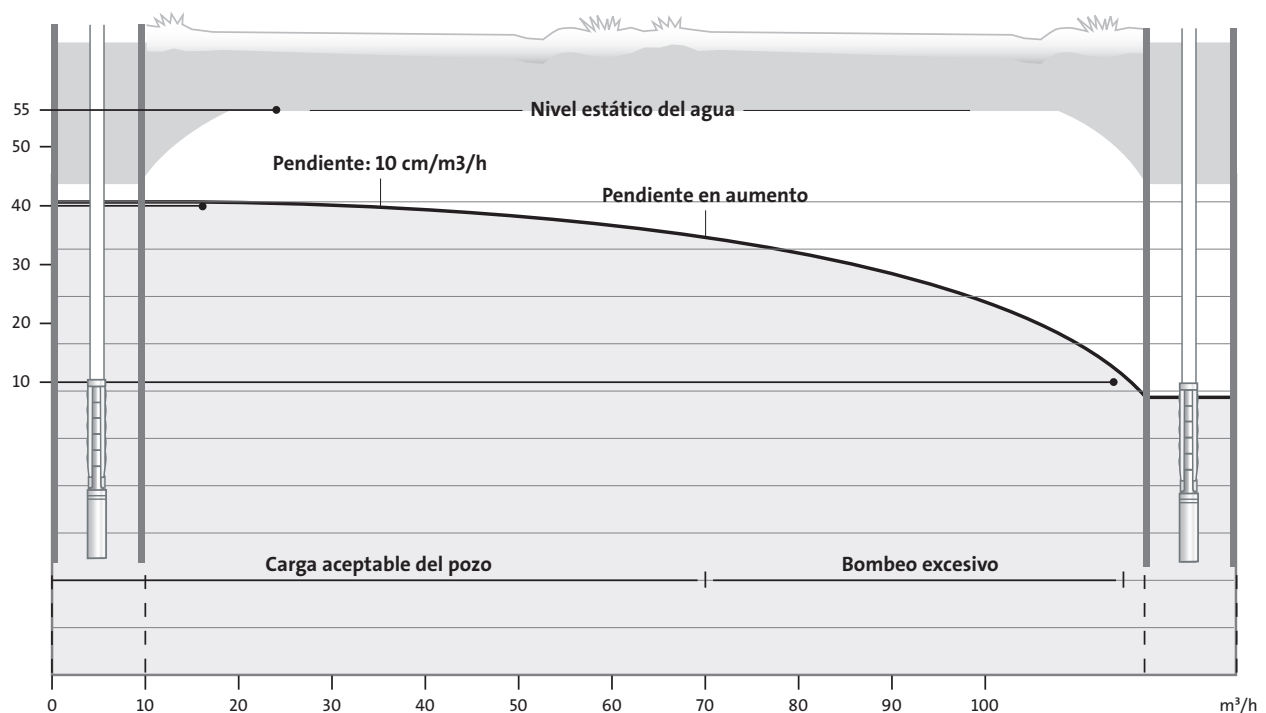


Figura 7: variaciones en el nivel dinámico del agua en pruebas de bombeo

2.3 AGUAS SUPERFICIALES

2.3.1 De fuentes de agua dulce

Las aguas superficiales se toman generalmente de lagos o ríos. Al contrario de lo que sucede con las aguas subterráneas, no están protegidas de la naturaleza ni de las actividades humanas y, por lo tanto, siempre hay que tratarlas. Su nivel y su calidad variarán dependiendo de la estación. Por ejemplo, tras unas fuertes precipitaciones, o después de derretirse la nieve, la corriente suele arrastrar numerosos sólidos y arena.

Estos minerales cortantes y abrasivos, al igual que los materiales biodegradables, deberán asentarse o separarse antes de la toma de la bomba para evitar efectos negativos en el proceso final de tratamiento del agua. Las bombas sumergibles resultan ideales para aquellas aplicaciones en las que periódicamente se den niveles de agua incontrolablemente altos. Cabe destacar que los cables de tensión y los equipos eléctricos deberán elevarse a ubicaciones que estén siempre secas.

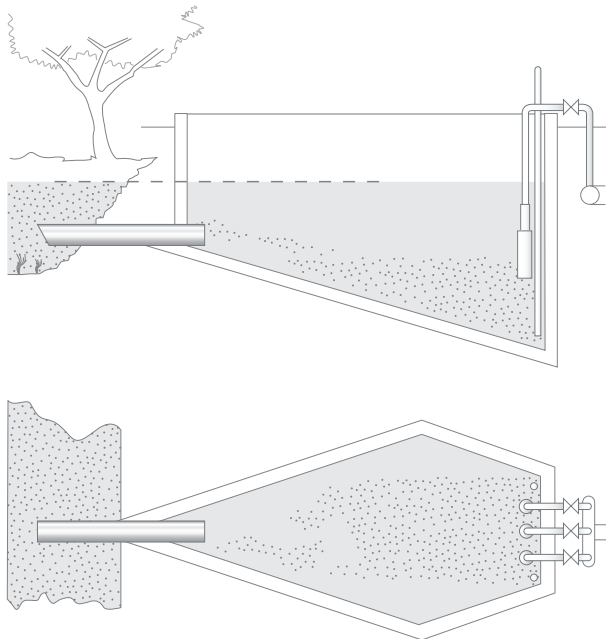


Figura 8: principio del depósito de decantación

Para instalaciones de carácter más permanente, se recomienda la infiltración indirecta del cauce fluvial mediante bancos hechos con empaques de arena o grava hasta los encofrados de la toma o los pozos del cauce fluvial. Este filtrado natural mejora la calidad del agua y ahorra hasta un 20 % en el consumo energético, uso de productos químicos y pruebas del tratamiento final.

Recurrir a la toma directa del agua y a su tratamiento convencional solo dará lugar a la entrada de fauna microscópica diversa en equilibrio biodinámico en las tuberías y en el sistema de depósitos. Esta fauna puede abarcar desde organismos unicelulares hasta depredadores milimétricos y debe eliminarse mediante la aplicación de elevadas dosis de cloro. La toma directa de agua en climas templados requerirá una sobredosificación química durante la estación más fría del año, cuando las reacciones químicas se hayan ralentizado hasta una inactividad casi total.

2.3.2 De fuentes de agua marina y salada

La toma de agua salada costera deberá ubicarse donde se calcule que exista la concentración más baja de sal. En la zona de rompiente costera se evapora una gran cantidad de agua, haciendo que la concentración de sal del agua remanente sea mayor que fuera de ella. De hecho, puede llegar a ser hasta el doble.

Ello hace necesario llevar la toma de agua salada varios cientos de metros mar adentro desde la zona de rompiente para obtener la menor concentración de sal. Este tipo de estructura suele ser ventajosa cuando la capacidad de toma supera los 1.000 m³/h.

Para capacidades inferiores a 1.000 m³/h, se recomiendan los pozos anticorrosión de playa y los pozos de filtración de bancos costeros. Estas instalaciones pueden proporcionar un ahorro anual de hasta un 20 % en los costes relacionados con el mantenimiento, reparación, consumo energético y productos químicos de la planta de desalinización.

Los pozos de filtración de bancos costeros están contruidos como los pozos de filtración de las cuencas fluviales, pero con clases de corrosión superiores para resistir el impacto de las sales presentes.





3
APLICACIONES



3.1 SUMINISTRO DE AGUA DULCE

La aplicación más habitual de las bombas sumergibles consiste en el suministro de agua dulce para su consumo como agua potable, riego y diversos usos industriales. Para ello, pueden usarse bombas con diversos diseños y fabricadas en distintos materiales, que ofrecerán unos resultados razonablemente buenos.

Las bombas SP de Grundfos fabricadas en acero inoxidable EN 1.4301/AISI 304 son la elección evidente para esta aplicación. Si el pozo está correctamente construido y produce agua limpia sin arena, la bomba puede durar muchos años.

No obstante, en algunas aplicaciones de riego y suministro para el ganado, la calidad del agua es tan mala que las bombas fabricadas con acero inoxidable corriente no sobreviven mucho tiempo. En estos casos, puede usarse una bomba de acero inoxidable EN 1.4401/AISI 316 o EN 1.4539/AISI 904L.

En el diagrama mostrado a continuación se encuentran las estimaciones de plazos para la realización de diversas actividades. Algunas son:

- los períodos de mantenimiento recomendados causados por el desgaste natural
- los costes previstos de las reparaciones por mantenimiento
- las pérdidas de eficiencia durante los períodos de mantenimiento

Cabe destacar que los diagramas no reflejan las pérdidas de eficiencia causadas como resultado de la obstrucción por sedimentos u oxidación.

Intervalos de mantenimiento para las bombas sumergibles

Las bombas sumergibles sufren un desgaste natural al igual que cualquier otra bomba. Lamentablemente, su ubicación bajo tierra dificulta detectarlo. El diagrama de la próxima página le permite calcular lo siguiente:

- ¿Cuándo debería efectuar el mantenimiento de la bomba sumergible?
- ¿Cuánta eficiencia se ha perdido desde el último mantenimiento?
- ¿Cuánto costará aproximadamente una renovación?

Deben determinarse de antemano una serie de cuestiones. Algunas son:

- La velocidad del agua en el componente que desea comprobar
- Las condiciones de los materiales de la bomba y del entorno de bombeo
- La presencia o ausencia de sólidos y de dióxido de carbono agresivo

La gráfica mostrada a continuación puede usarse a modo de guía orientativa para determinar los intervalos de mantenimiento correspondientes para las bombas sumergibles. Para usarla, siga las pautas indicadas a continuación:

1. Marque el punto 1 en la curva A. El material de la bomba y el estado del fluido son los indicados en la leyenda.
2. Trace una línea paralela hacia la derecha. Las pérdidas de material del impulsor son de aproximadamente 0,18 mm por cada 1.000 horas de funcionamiento (punto 2).
3. Siga la línea paralela hasta llegar a la línea de diferenciación que corresponde al CO₂ agresivo y al material de los componentes. Marque las condiciones del ejemplo (punto 3).

4. Siga directamente hacia abajo (90°). El contenido de CO₂ agresivo ha incrementado las pérdidas de material hasta 0,25 mm. Marque el grado de salinidad del agua (punto 4). Trace una línea horizontal a partir de este punto y extiéndala hacia la izquierda para leer los resultados.
5. Intervalos de mantenimiento recomendados para la bomba: cada 6.000 horas de funcionamiento (punto 5).
6. Pérdida de eficiencia: aproximadamente un 18 % (punto 6).
7. Coste estimado de renovar la bomba: 75 % del precio de una bomba nueva (punto 7).

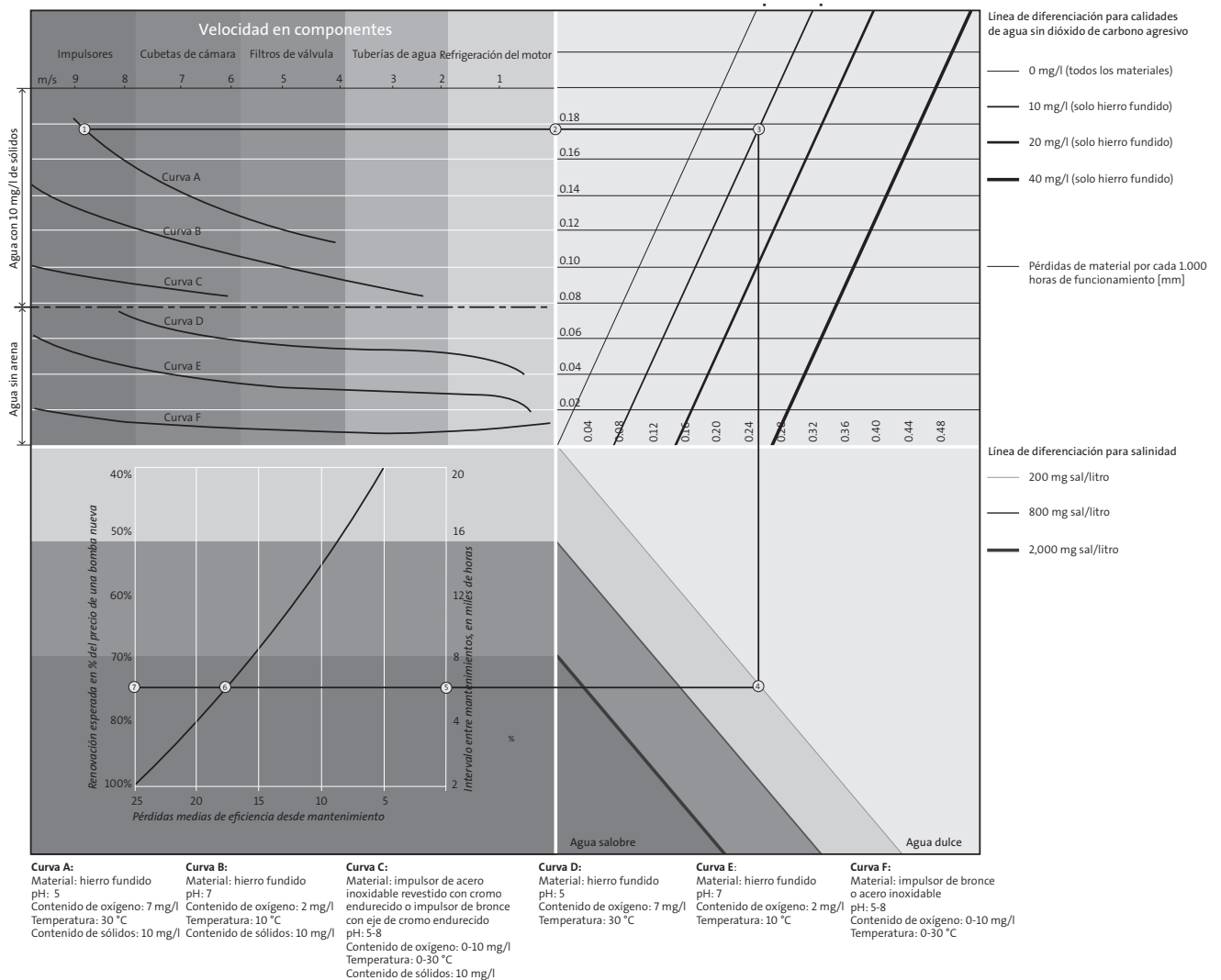


Figura 9: intervalos de mantenimiento recomendados para las bombas sumergibles

3.2 DRENAJE

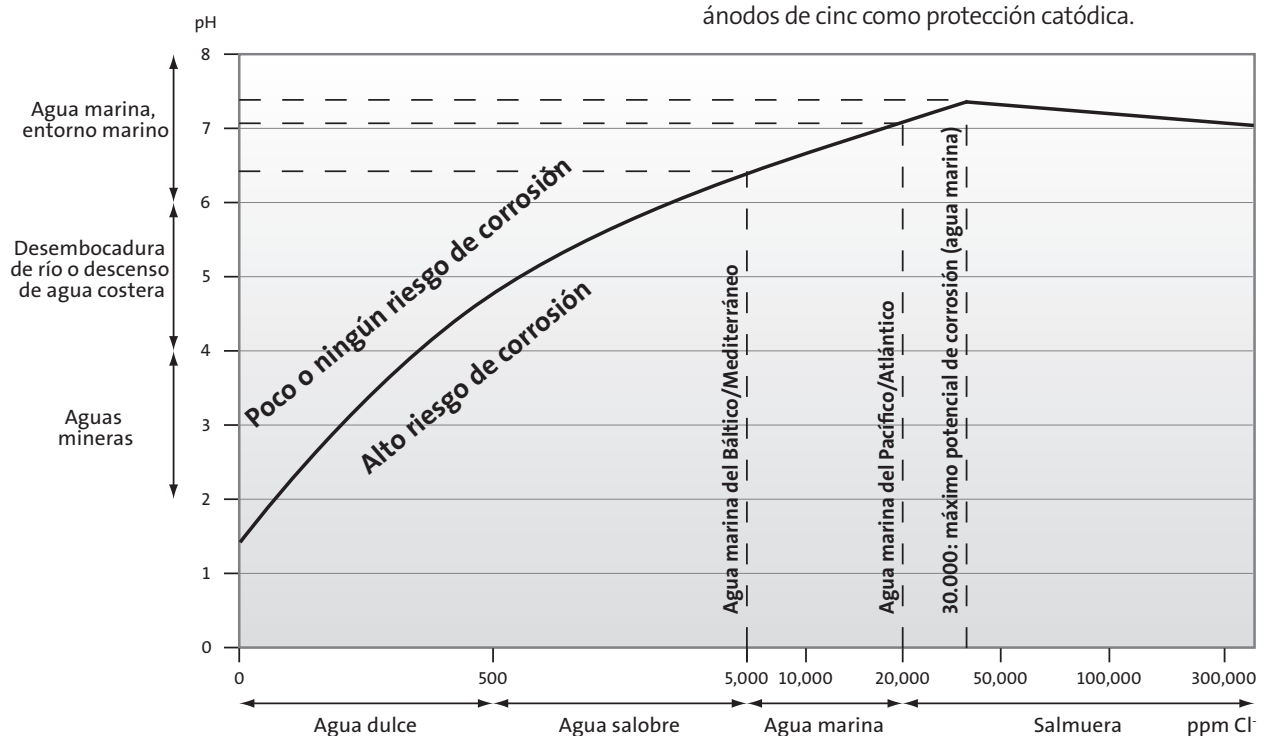
El drenaje relacionado con las aplicaciones de minería u obras de construcción se realiza frecuentemente con bombas sumergibles. La calidad del agua determina si la bomba puede ser una bomba de acero EN 1.4301 (AISI 304) o si tiene que ser un acero inoxidable de un grado superior.

Al reducir el nivel de las aguas subterráneas, el acuífero queda expuesto al oxígeno, lo que genera óxido y otros sólidos adhesivos. Estos son arrastrados por el agua y atraviesan el filtro del pozo para, a continuación, pasar a la entrada de la bomba.

Para mantener el rendimiento de la misma, el punto de trabajo a seleccionar debe situarse a la derecha del mejor punto de eficiencia.

Cuanto mayor sea la velocidad dentro de la bomba, mayores pueden ser los intervalos entre mantenimiento y mantenimiento. Una velocidad alta evita la obstrucción de la bomba y las pérdidas de rendimiento. En las mezclas muy adhesivas, puede resultar ventajoso eliminar la válvula de retención para mejorar el lavado a contracorriente de la bomba y de las tuberías tras una parada por obstrucción.

Figura 10: corrosión causada por cloruros



3.2.1 Minería

La minería es una aplicación de drenaje típica. No obstante, con mucha frecuencia la calidad del agua es agresiva para la bomba sumergible, por lo que es recomendable el uso de acero inoxidable de grado alto.

Una aplicación especial es la minería por lixiviación, donde se usa un fluido agresivo para disolver los minerales que se van a extraer, tras lo cual se bombean junto con el fluido hasta la superficie, donde se recuperan.

A continuación se describe un posible método:

1. Encontrar el potencial de corrosión por cloruro: (equivalente de cloruro = ppm de cloruro – (0,5 x ppm de ácido)).
2. Con este equivalente de cloruro, use la figura 10 para obtener el valor de pH mínimo aceptable para el acero inoxidable EN 1.4539 (AISI 904L). Si la ilustración indica la existencia de un riesgo alto de corrosión, deberá recubrir con resina epóxica la superficie del motor.
3. La mayoría de los materiales con los que están fabricados los cables de tensión y los juegos de juntas son inestables en aguas ácidas. Si es posible, use el cable azul de motor TML de Grundfos en su longitud completa hasta la caja de empalme de la superficie.
4. Instale el dispositivo de centrado de la bomba en el motor o en la propia bomba para garantizar el enfriamiento perfecto de toda la superficie.
5. Si se produce corrosión, instale unidades de intercambio iónico para reducir el contenido de cloruro o instale ánodos de cinc como protección catódica.

3.3 APLICACIÓN HORIZONTAL

Con frecuencia, el bombeo de agua desde un tanque o depósito se realiza con bombas sumergibles normales. Una bomba sumergible tiene muchas ventajas sobre las bombas instaladas en seco:

- **Bajo nivel de ruido:** es muy silenciosa y no genera prácticamente ningún ruido que pueda molestar a los vecinos.
- **A prueba de robos:** instalada en el fondo del tanque o depósito.
- **No tiene cierre mecánico:** ello elimina el riesgo de fugas en superficie.

En instalaciones horizontales, Grundfos siempre recomienda incluir una camisa de caudal y un deflector a niveles de agua bajos.

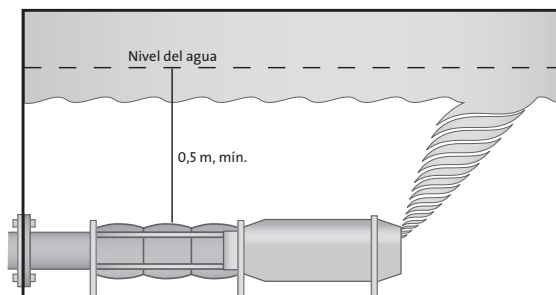


Figura 11: camisa de caudal en bomba instalada horizontalmente

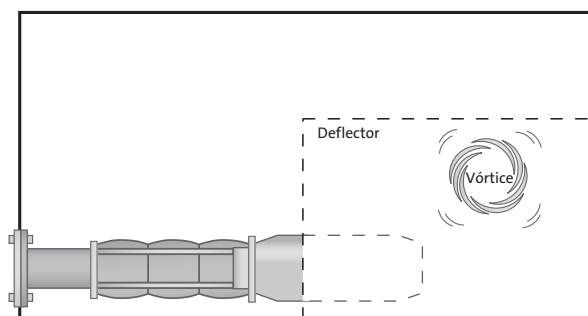


Figura 12: deflector de vórtice en bomba instalada horizontalmente (vista superior)

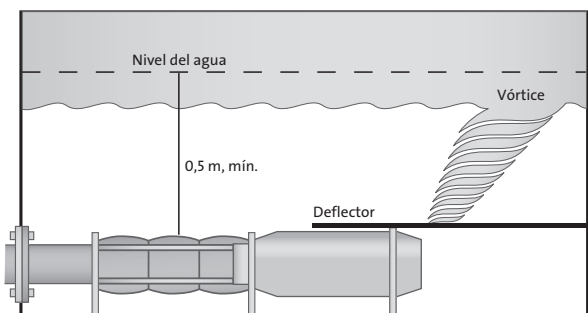


Figura 13: deflector de vórtice en bomba instalada horizontalmente (corte transversal)

Si hay más de una bomba sumergible instalada en un tanque o depósito, la distancia mínima entre las bombas deberá ser igual al diámetro total de la bomba y el motor, incluyendo la camisa de refrigeración.

Las bombas sumergibles usadas en fuentes se suelen instalar en posición horizontal. Debido a su baja inercia, pueden arrancar y detenerse muy rápidamente, lo que las hace ideales para las fuentes. Por su alta frecuencia de arranques y paradas, se recomienda usar únicamente motores encapsulados. El uso de motores rebobinables no es aconsejable cuando se produce un número extremo de arranques y paradas.

Este alto número de arranques y paradas también influye negativamente en los contactores, que tienen una vida útil limitada. Para proteger el motor de los posibles fallos en los contactores, Grundfos recomienda la instalación de un relé de fallo de fase entre el relé de sobrecarga y el motor.

Por último, es importante dimensionar juntas la bomba y la tobera, de modo que la bomba nunca funcione a su caudal máximo pero siempre lo más cerca posible de su punto de eficiencia óptimo.

3.4 AIRE Y GAS EN EL AGUA

Si hay aire o gas mezclado con el agua bombeada, la bomba experimentará un rendimiento reducido y, en ocasiones, podría incluso detenerse. El aire y el gas perturban considerablemente las funciones hidráulicas de las bombas centrífugas. Para mejorar el rendimiento, la bomba debe sumergirse más profundamente en el pozo a fin de incrementar, de este modo, la presión.

Si esto no fuera posible, el problema podría solucionarse mediante la instalación de una camisa en torno a la bomba, inmediatamente debajo de la entrada. La camisa deberá extenderse hacia arriba lo máximo posible, pero nunca por encima del nivel dinámico del agua.

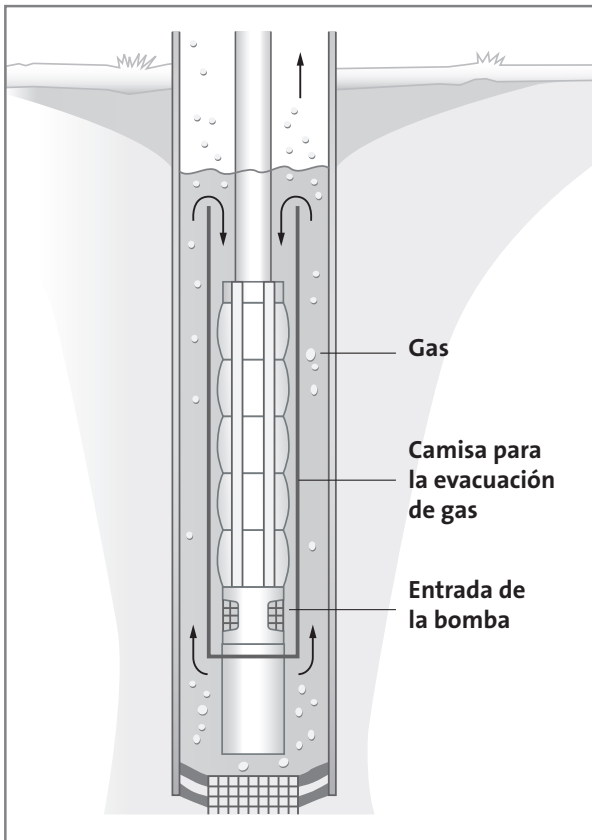


Figura 14: evacuación del gas

Pozos de vacío

Si el agua del pozo contiene tanto gas en suspensión que la camisa no es suficiente para satisfacer los requisitos de calidad del agua, deberá crearse un vacío en el encofrado del pozo.

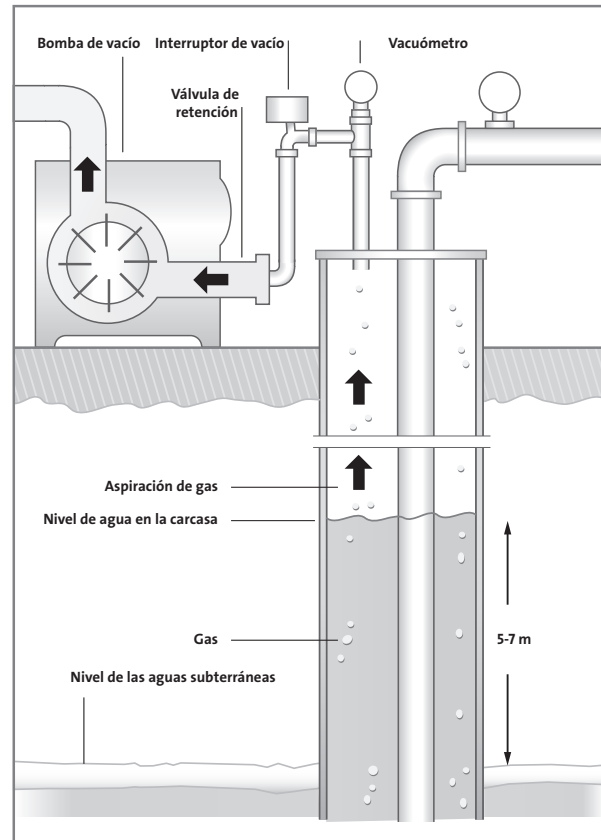


Figura 15: pozos de vacío

Este puede conseguirse conectando una bomba de vacío a la tubería de ventilación cuando el encofrado esté sellado herméticamente. Antes de hacerlo, compruebe que dicho encofrado sea lo suficientemente fuerte para resistir el vacío y que se satisfaga el valor de NPSH.

3.5 CAVITACIÓN

La cavitación no se produce habitualmente en las bombas sumergibles. No obstante, si los dos factores siguientes se dieran al mismo tiempo, se podrían producir daños por cavitación tanto en la bomba como en el motor a escasas profundidades de instalación:

1. Burbujas de aire invasivas.
2. Reducción de la contrapresión causada, por ejemplo, por la fractura de una tubería, corrosión aguda de la tubería ascendente principal y consumo extremadamente alto.

Para calcular la profundidad de instalación necesaria para evitar la cavitación, se aplica la siguiente fórmula:

$$H = H_b - \text{NPSH} - H_p - H_v - H_s$$

H_b = presión barométrica

NPSH = Carga de aspiración positiva neta

H_p = pérdidas de presión en la tubería de aspiración

H_v = presión de vapor

H_s = factor de seguridad

Si la fórmula arroja un valor H positivo, la bomba puede funcionar a la altura de aspiración. En tal caso es válida la profundidad nominal de instalación mínima.

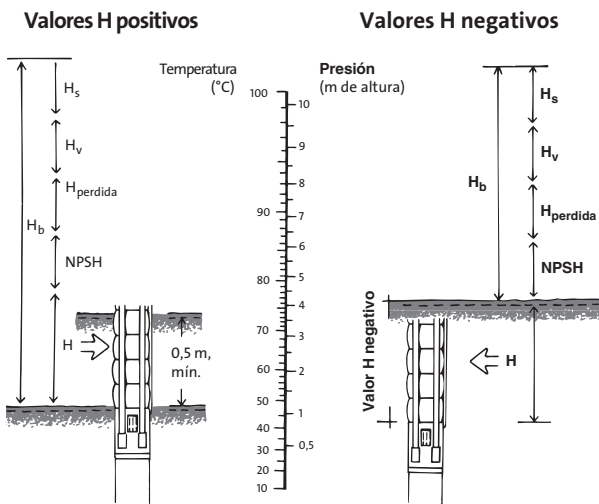


Figura 16: profundidad de instalación

Ejemplo:

Una SP 60 a un caudal de 78 m³/h.

H _b	10,0 m
NPSH especificado	4,2 m
H _p	0,0 m
H _v a 32 °C	0,5 m
H _s	1,0 m
H = 10 - 4,2 - 0 - 0,5 - 1,0 =	4,3 m

Puesto que H es positivo, significa que la bomba podrá crear un vacío de 0,43 bares sin resultar dañada. Es decir, no será necesario tomar precauciones especiales. En caso de corrosión de la tubería ascendente principal que diera lugar a un orificio de 20 mm, no se produciría contrapresión y el caudal de la bomba aumentaría a más de 90 m³/h.

H _b permanece sin cambios	10,0 m
NPSH aumenta hasta	8,0 m
H _p	0,0 m
H _v aumenta por la recirculación hasta	4,6 m
H _s permanece sin cambios	1,0 m

Ello arrojará:

$$H = 10 - 8 - 0 - 4,6 - 1,0 = -3,6 \text{ m}$$

Este valor significa que la entrada de la bomba debe estar al menos 3,6 m por debajo del nivel dinámico del agua o, de lo contrario, cavitara.

Si una bomba cavita, no alcanzará su rendimiento completo; consulte la siguiente figura.

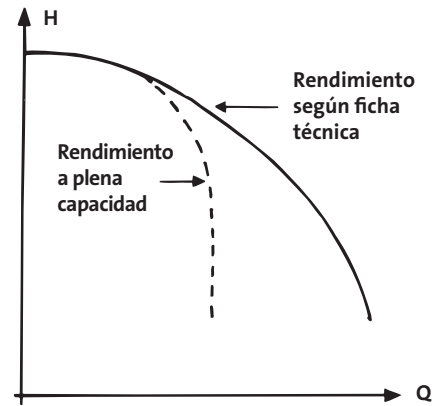


Figura 17: reducción de rendimiento en cavitación

3.5.1 Profundidad de instalación

Determinación sencilla de la profundidad de instalación correcta

En la ficha técnica se encuentra el valor real de NPSH. H_p + factor de seguridad conforman el punto de inicio de la curva descendente.

Ejemplo

El factor de seguridad + H_p = 4,5 m se encuentra en la línea de pérdidas. Ascienda verticalmente hasta 8 m en la curva de NPSH. Desde aquí, proceda horizontalmente hacia la derecha hasta la temperatura del agua, 10 °C. Luego, verticalmente hacia abajo hasta la línea X, y desde ahí, horizontalmente hacia la izquierda. Ahí encontrará la profundidad de instalación requerida por debajo del nivel dinámico del agua: en este caso, 4 m.

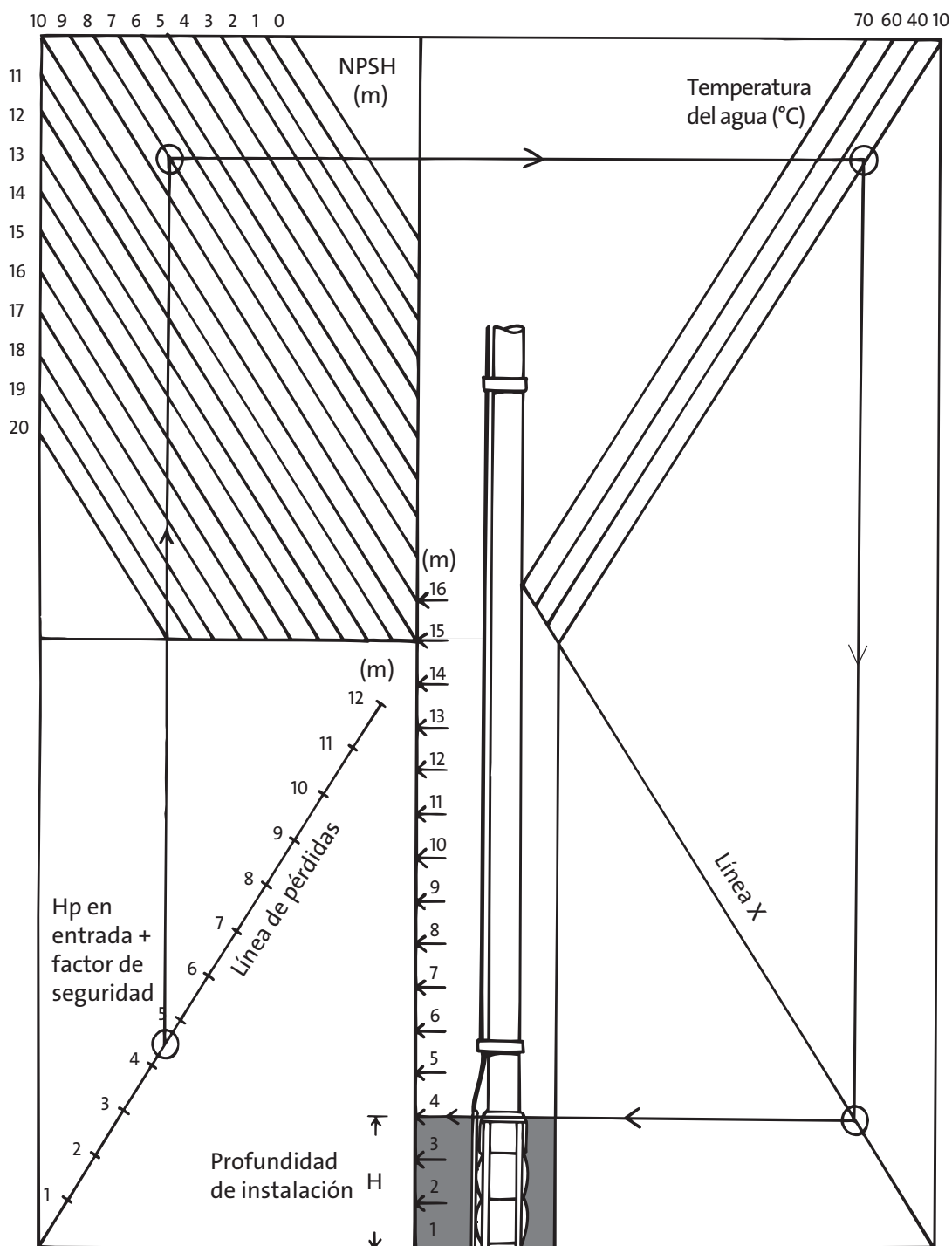


Figura 18: diagrama para cálculo rápido de profundidad mínima de instalación

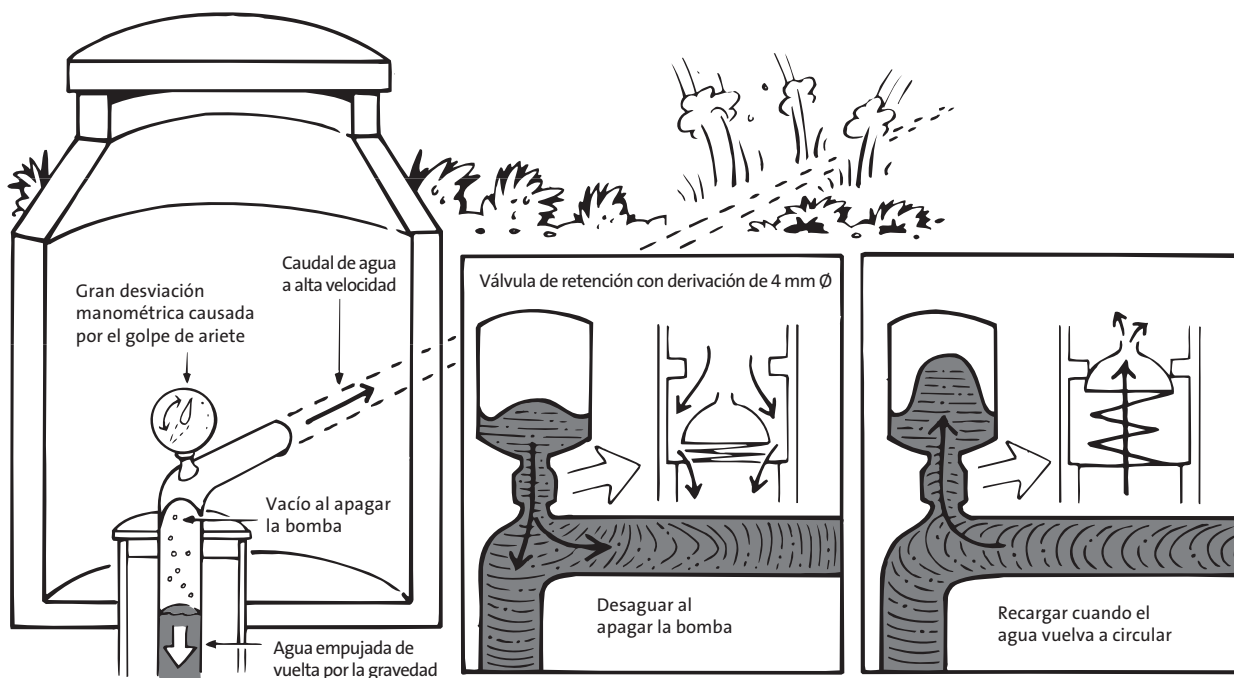


Figura 19: eliminación del golpe de ariete

3.6 GOLPE DE ARIETE

Con frecuencia, los sistemas de tuberías de distribución y agua bruta contienen muchas toneladas de agua que se ponen en movimiento o se detienen bruscamente con solo arrancar o detener una bomba. Las variaciones de presión resultantes se encontrarán a menudo dentro de los valores de presión nominal (PN) aceptables para el sistema de tuberías en cuestión.

Para reducir suficientemente las variaciones de presión en las bombas de sistemas de tuberías extensos con una tubería ascendente principal en vertical, bastará muchas veces con instalar uno de los siguientes elementos:

1. Un depósito de diafragma de 50 l con una presión de precarga igual a la presión real de funcionamiento x 0,7 para capacidades de bomba de hasta 50 m³/h. Para capacidades mayores de 50 m³/h, un depósito de diafragma de 100 l o dos de 50 l cada uno, con una presión de precarga igual a la presión real de funcionamiento x 0,7.
2. Un arranque de bomba de frecuencia controlada, que pase de 25 Hz a 50 Hz en un mínimo de 30 segundos.
3. Un dispositivo de arranque suave con un tiempo de aceleración de 3 segundos complementado por un depósito de diafragma de 50 l con una presión de precarga igual a la presión real de funcionamiento x 0,7. El dispositivo de arranque suave, por sí solo, no evitará el golpe de ariete.

4. Una válvula de mariposa motorizada con temporizador que ofrezca un tiempo de apertura de unos 60 segundos. Al arrancar la bomba, la válvula comienza a abrirse lentamente. Se activa para su cierre 60 segundos antes de que la bomba se detenga. En lo que concierne al consumo energético, no se trata de una solución óptima.

Los tamaños indicados para los depósitos de diafragma son únicamente para absorber el aumento de la presión, pero no para el control de la bomba. En pozos con agua a profundidades superiores a 8 o 9 m, las variaciones de presión al detener la bomba pueden dar lugar a un vacío desde la junta de sellado del pozo y en los primeros 10 m de la tubería horizontal. Ello podría causar la aspiración de agua contaminada procedente del estrato circundante. El problema se soluciona mediante depósitos de diafragma.

Vacío creado por el golpe de ariete

Cuando la tubería de descarga horizontal de un pozo es larga, se puede producir un golpe de ariete al desconectar la bomba.

Al detener esta, el caudal de agua de la tubería ascendente principal se parará rápidamente por efecto de la gravedad.

Sin embargo, el caudal de la tubería de descarga horizontal lo hará de forma gradual como resultado de las pérdidas de fricción en la tubería. Ello creará un vacío en

la tubería ascendente principal, que causará la ruptura de la columna de agua y la transformación del agua en vapor. Cuando el caudal de agua de la tubería horizontal haya perdido su velocidad, el agua será empujada de vuelta al pozo a consecuencia del vacío creado en la tubería ascendente principal.

Cuando el volumen de agua que vuelve choque con el agua de la tubería ascendente, se producirá un golpe de ariete. Su efecto puede ser tan grave como para causar desperfectos en la instalación. Además, produce un ruido muy fuerte.

3.7 AGUA CORROSIVA (AGUA MARINA)

Las bombas sumergibles se usan en numerosas aplicaciones de agua marina como, por ejemplo, piscicultura, aplicaciones industriales marítimas y suministro de agua para tratamiento por ósmosis inversa.

Las bombas SP están disponibles en diferentes materiales y clases de resistencia a la corrosión según su campo de aplicación. La combinación de salinidad y temperatura no es propicia para el acero inoxidable, lo que debe tenerse siempre en cuenta.

Una buena forma de evaluar la resistencia a la corrosión del acero inoxidable es comparar su resistencia a las picaduras. El concepto usado para esta comparación se denomina: “equivalente a la resistencia al ataque por picaduras” (PRE, por sus siglas en inglés).

La figura 20 muestra los tipos de acero inoxidable más comunes usados por Grundfos.

$$PRE = (\% Cr) + (3,3 \times \% Mo)$$

Para comparar con otros aceros inoxidables que contienen nitrógeno (N), la fórmula es la siguiente:

$$PREN = (\% Cr) + (3,3 \times \% Mo) + (16 \times \% N)$$

Además de la temperatura y la salinidad, la presencia de otros metales, ácidos y actividad biológica afectan a la temperatura de corrosión. Esto se indica también en la figura 20.

La gráfica siguiente puede emplearse para elegir el grado de acero adecuado.

Resistencia a la corrosión de las bombas sumergidas en agua marina

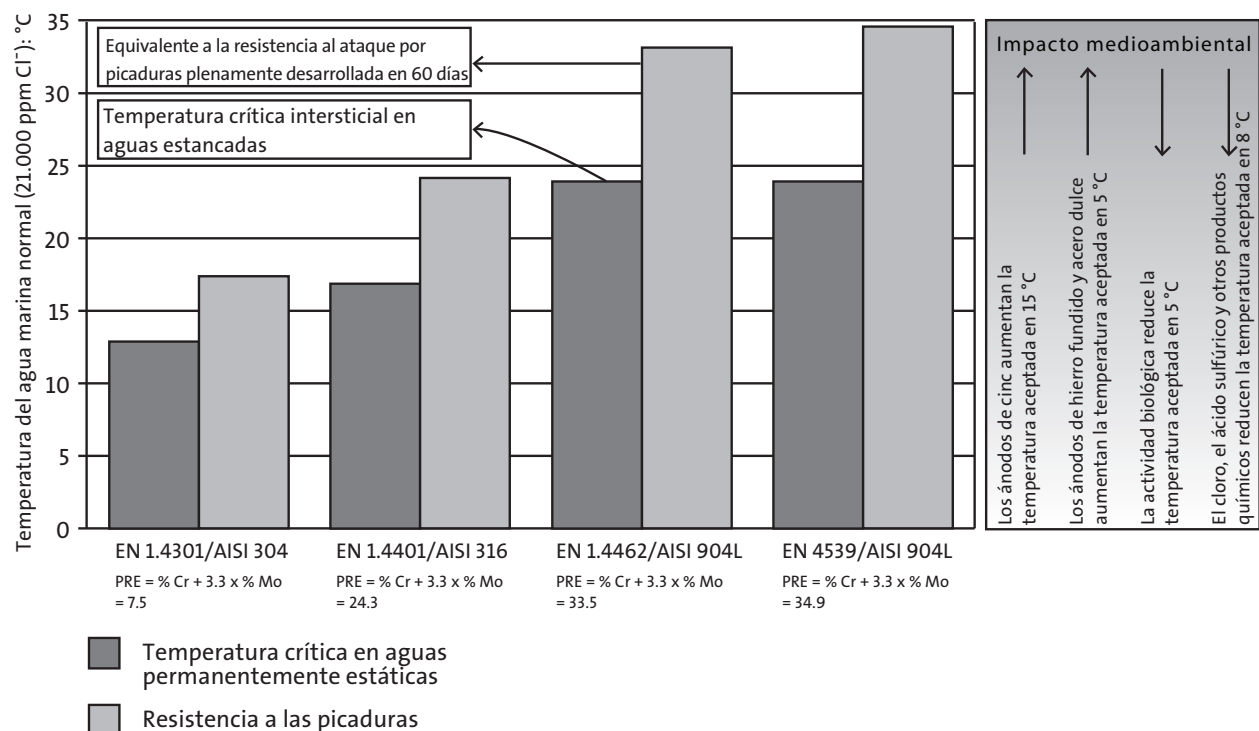


Figura 20: resistencia a la corrosión

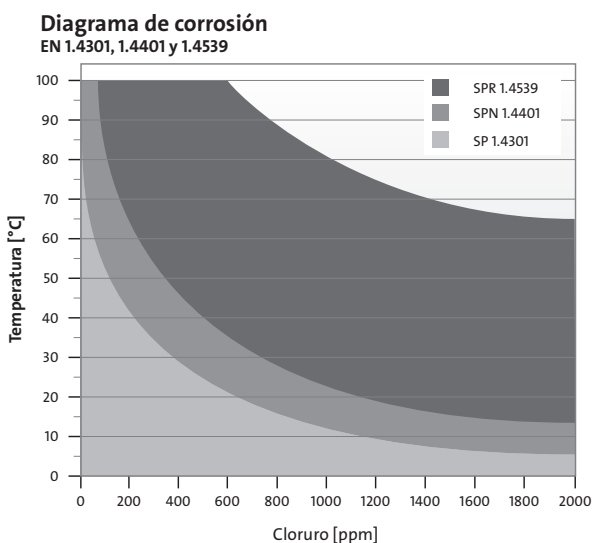


Figura 21: diagrama de corrosión

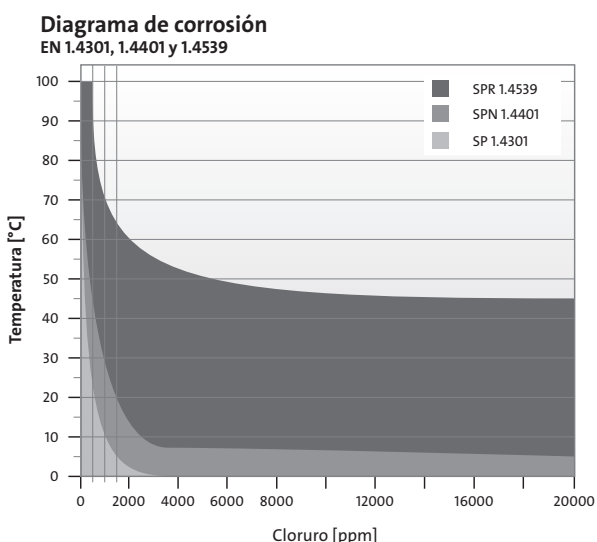


Figura 22: diagrama de corrosión

Los elastómeros empleados en la bomba son otros de los componentes que pueden resultar dañados por una mala calidad del agua, por ejemplo, si el agua cuenta con un alto contenido de hidrocarburos y muchas sustancias químicas. En estos casos, el elastómero corriente puede reemplazarse por una goma de FKM. Las bombas SPE de Grundfos están especialmente diseñadas para satisfacer esas necesidades. Para todos los demás modelos, las bombas se pueden especificar y entregar bajo pedido.

3.8 AGUA CALIENTE Y AGUAS GEOTÉRMICAS

Las aguas subterráneas próximas a la superficie tendrán una temperatura cercana a la temperatura ambiental media anual de la región. A medida que se descienda, la temperatura aumentará en 2 o 3 °C por cada 100 m de profundidad del pozo en ausencia de otras influencias geotérmicas.

En zonas geotérmicas, este incremento puede alcanzar de 5 a 15 °C por cada 100 m de profundidad del pozo. La recogida de agua a gran profundidad requiere elastómeros, cables eléctricos, conexiones y motores con resistencia térmica.

El agua subterránea caliente se usa para aplicaciones generales de calefacción y actividades recreativas en muchas áreas, particularmente aquellas con actividad volcánica.

El líquido de un motor sumergible tiene una temperatura de ebullición superior a la del agua del pozo, lo que evita la disminución de lubricación en los cojinetes del motor por la menor viscosidad del líquido. El motor debe sumergirse a mayor profundidad para incrementar el punto de ebullición, tal y como se muestra en la tabla siguiente.

Temperatura	Presión de vapor	Viscosidad cinemática
°C	m WC	mm ² /s
0	0,00611	1,792
4	0,00813	1,568
10	0,01227	1,307
20	0,02337	1,004
30	0,04241	0,801
40	0,07375	0,658
50	0,12335	0,554
60	0,19920	0,475
70	0,31162	0,413
80	0,47360	0,365
90	0,70109	0,326
100	1,01325	0,294
110	1,43266	0,268
120	1,98543	0,246
130	2,70132	0,228
140	3,61379	0,212
150	4,75997	0,199
160	6,18065	0,188



Es de esperar que el agua tenga un contenido gaseoso cuando exista actividad geotérmica. Para evitar una reducción de la capacidad de la bomba en las instalaciones de aguas geotérmicas con contenido de aire disuelto, Grundfos recomienda instalar la bomba a una profundidad mínima de 50 m por debajo del nivel dinámico del agua.

3.9 AUMENTO DE PRESIÓN

Las bombas Grundfos BM y BME son bombas SP integradas en una camisa. Al conectar cada unidad en serie se puede obtener una presión muy elevada.

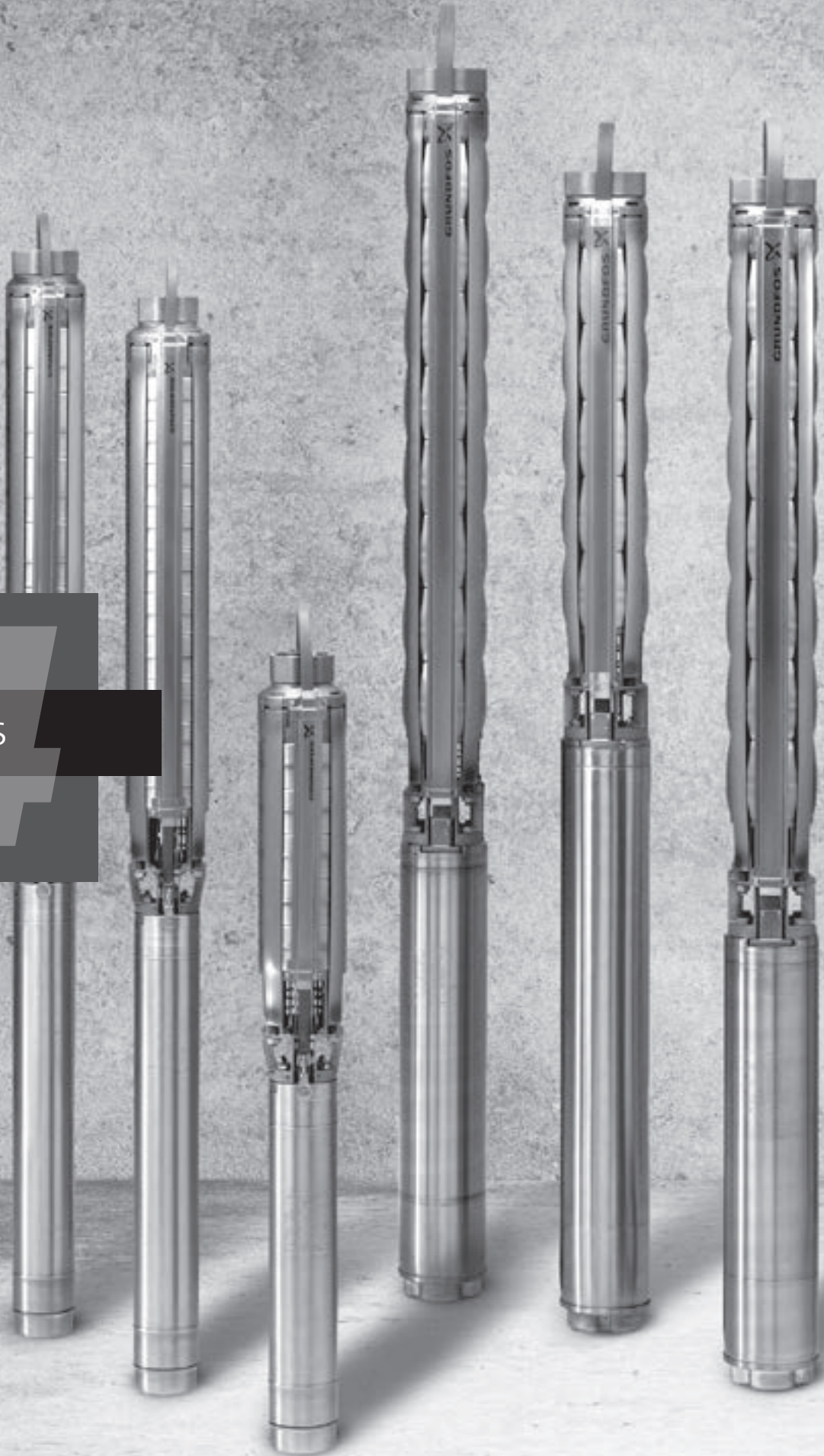
Se usan fundamentalmente para aplicaciones de ósmosis inversa, que generan agua limpia a partir de agua contaminada o agua marina.

Los módulos de aumento de presión Grundfos también se emplean en el suministro de agua de las redes de distribución para incrementar la presión en líneas de distribución de largo recorrido. Las principales ventajas con respecto a las bombas de aumento de presión convencionales son su funcionamiento silencioso y que no contengan un cierre mecánico con riesgo de fugas.



Figura 23: BM de Grundfos

BOMBAS



4.1 PRINCIPIOS DE BOMBEO

La bomba SP es una bomba centrífuga, cuyo principio de bombeo consiste en transformar la energía mecánica del motor en energía cinética en el fluido bombeado creando, por lo tanto, una diferencia de presión en el fluido entre la entrada y la salida de la bomba.

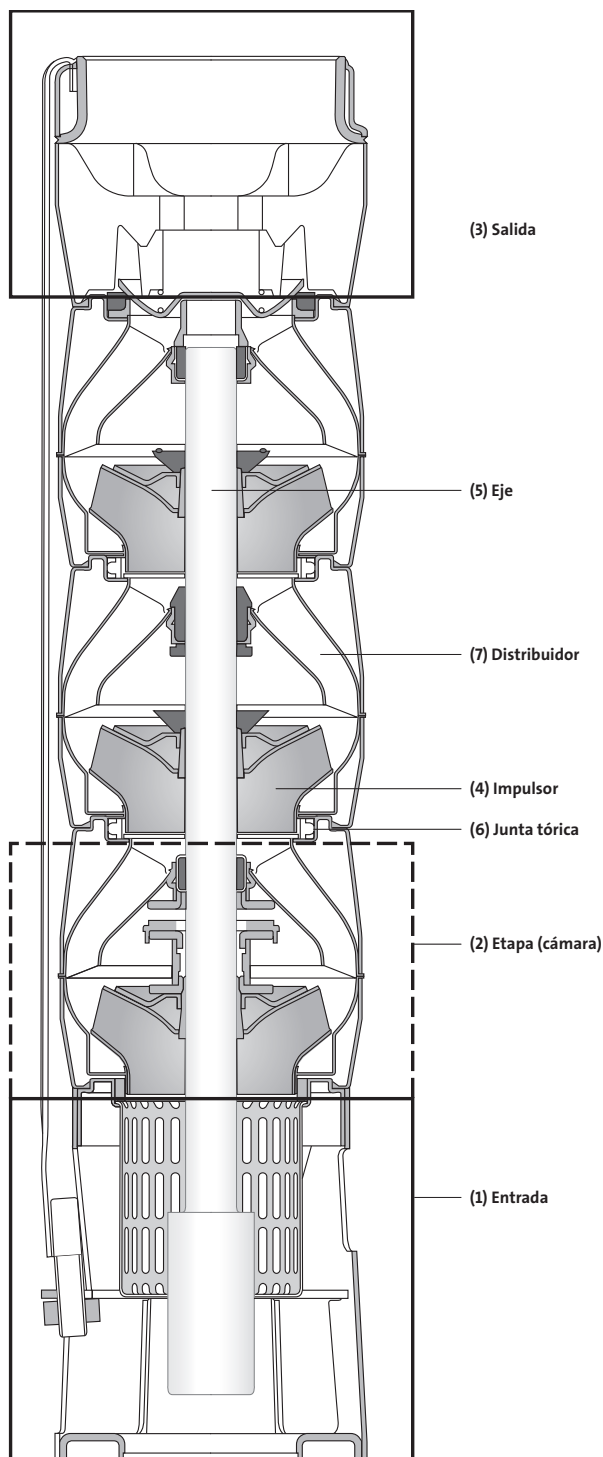


Figura 24: modelo de bomba sumergible

La bomba consta de una entrada (1), un número de etapas (2) y una salida (3). Cada etapa de la bomba crea una diferencia de presión y, cuanto más presión se requiera, más etapas deberán incluirse.

Cada etapa de la bomba incluye un impulsor (4), cuyos álabes transfieren energía al agua a través de un incremento de la velocidad y la presión. Cada impulsor está fijo al eje de la bomba (5) mediante una conexión acanalada o una conexión de cono dividido.

Existen dos tipos de diseño general para las bombas sumergibles:

- radial
- semiaxial

El diseño radial se caracteriza por una gran diferencia entre la entrada del impulsor y el diámetro de su salida. Resulta adecuado cuando se requiere una altura elevada.

El diseño semiaxial es más adecuado para las bombas de mayor caudal.

El anillo de estanqueidad existente (6) entre la entrada del impulsor y la cámara garantiza que cualquier reflujo sea limitado. La cámara incluye un distribuidor (7), que dirige el agua a la siguiente fase. Asimismo, convierte la presión dinámica en presión estática.

Además de guiar el agua hacia los primeros impulsores, la entrada de la bomba también actúa como interconector del motor. En la mayoría de las bombas, las dimensiones cumplen la norma NEMA para 4", 6" y 8". En bombas y motores más grandes, existen diversas normas dependiendo del proveedor. La entrada de la bomba debe estar diseñada para enviar el agua al primer impulsor del mejor modo posible y, por lo tanto, minimizar las pérdidas.

En algunos impulsores de diseño radial, la entrada también incluye un tornillo de cebado (ajustado al eje de la bomba) cuya finalidad es garantizar la entrada de agua y evitar la marcha en seco de la bomba.

La salida de la bomba generalmente incluye una válvula de retención, que evita el reflujos en la tubería ascendente cuando se detiene la bomba. Se obtienen así diversas ventajas:

- Se evitan las pérdidas de energía como consecuencia del reflujos.
- Siempre se garantiza la contrapresión al arrancar de nuevo la bomba. Esto resulta fundamental para asegurarse de que el rendimiento de la bomba se mantiene dentro de su curva.
- Se limitan los daños en la bomba como resultado de los golpes de ariete.
- Se limita la contaminación del agua subterránea como resultado del reflujos.

4.2 PIEZAS DESGASTADAS

Dependiendo del fluido bombeado y del número de años que la bomba haya permanecido en funcionamiento, es recomendable realizar una inspección de mantenimiento. Esta incluye la sustitución de todas las piezas desgastadas. Las piezas que se recomienda revisar son:

- cojinetes radiales
- asiento de válvula
- anillos de desgaste
- junta tórica
- junta de empuje vertical

Si la bomba ha sufrido un considerable desgaste por la existencia de arena, es posible que también sea necesario cambiar el eje y los impulsores.

Durante las actividades de mantenimiento, es fundamental cambiar las piezas desgastadas para mantener un elevado rendimiento de la bomba y un bajo coste operativo de funcionamiento.

Para obtener más información, consulte el manual de mantenimiento de Grundfos.

4.3 SELECCIÓN DE LA BOMBA

Para seleccionar una bomba, primero es necesario calcular el caudal y la presión. La altura de elevación total es la suma de los siguientes factores:

- nivel freático dinámico (1)
- elevación sobre el suelo (2)
- presión de descarga (3)
- pérdidas en tuberías, válvulas y recodos (4)

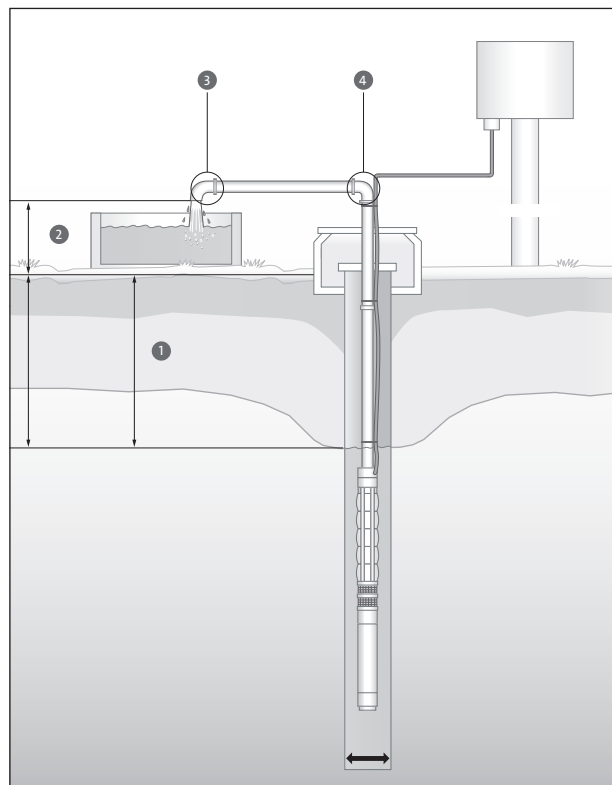


Figura 25: cálculo de altura total

Al calcular el caudal necesario, también debe tenerse en cuenta el rendimiento del pozo. Esta información se obtiene del informe de pruebas de los perforadores, que se realiza durante la construcción del mismo. Si es posible, el caudal necesario debe reducirse el máximo. Así se minimizará la reducción del nivel freático y se disminuirá el consumo energético total en términos de kWh/m³.

4.4 CURVAS Y TOLERANCIAS DE LAS BOMBAS

Tras calcular el caudal y la altura necesarias, la selección de la bomba puede realizarse usando la herramienta on line Grundfos Product Center o el catálogo técnico de la bomba correspondiente. Ambas fuentes contienen curvas de rendimiento.

Además de la altura de bombeo, en el catálogo técnico también está disponible el consumo energético requerido, donde el proveedor de la bomba diferencia entre la salida de potencia en el eje del motor, P2 (impreso en la placa de características del motor), y la potencia de entrada del motor, P1. El valor P1 se usa para dimensionar las instalaciones eléctricas.

Tenga en cuenta que P4 es el efecto hidráulico generado por la bomba.

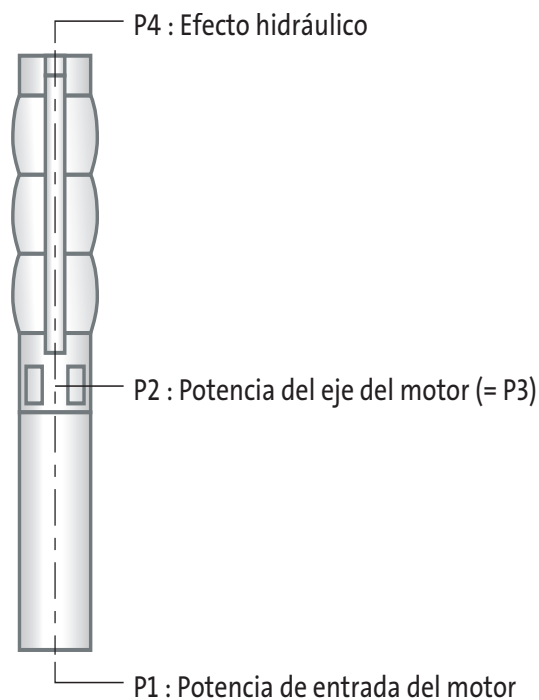


Figura 26: definiciones de potencia

Generalmente, el consumo energético también se expresa como una función del caudal.

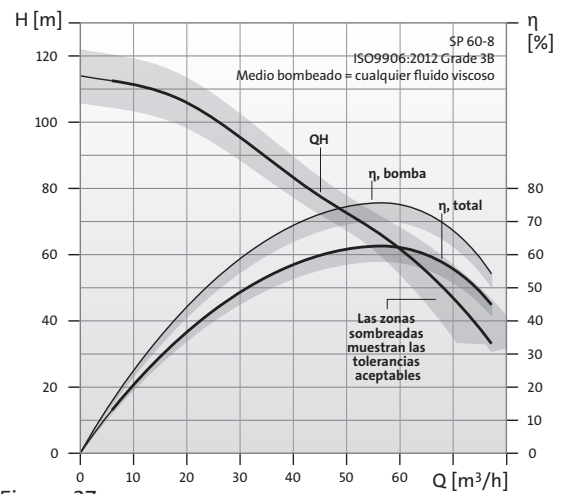


Figura 27

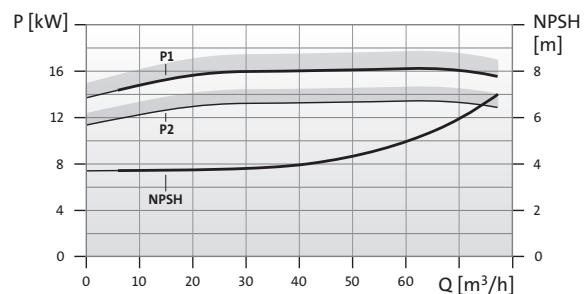


Figura 28

Figuras 27 y 28: parámetros de rendimiento de la bomba, incluidas las tolerancias

En el catálogo técnico también está disponible la información relacionada con la eficiencia de la bomba, que puede expresarse como la eficiencia de la propia bomba (basada en el valor de P2) o como la eficiencia de la bomba completa, incluido el motor (basada en el valor P1). En algunos casos, las pérdidas de las válvulas de retención no se incluyen en la eficiencia indicada. Las curvas de eficiencia se usan para seleccionar el tamaño de la bomba, en las que la zona de mayor eficiencia se empareja con el caudal requerido. Si no se muestra la eficiencia de la bomba completa, se puede calcular a partir del caudal (Q), la altura (H) y la entrada de potencia P1:

$$\eta_{\text{total}} = (Q \times H \times 9,81) / (P1 \times 3600)$$

El valor NPSH es la "carga de aspiración positiva neta" y representa una medida para la presión de entrada requerida = nivel de agua mínimo por encima de la entrada de la bomba.

En general, el valor NPSH aumentará para caudales mayores y, si no se alcanza la presión de entrada requerida, se producirá la evaporación del agua y se aumentará el riesgo de sufrir daños por cavitación en la bomba.

En general, existen muchas normas distintas en cada país relativas a las tolerancias de las curvas de rendimiento. El rendimiento de las bombas SP de Grundfos se presenta aquí de acuerdo con la norma ISO 9906:2012, grado 3B. Las curvas QH impresas en la documentación muestran la curva nominal. De acuerdo con la ISO 9906, grado 3B, las curvas de potencia solo tienen tolerancia superior. En las curvas de eficiencia solo se muestran las tolerancias inferiores. Consulte el ejemplo mostrado en las figuras 23 y 24 anteriores. Las condiciones generales, según la ISO 9906, para las curvas de rendimiento de esta ilustración son:

- Las mediciones se realizan con agua sin aire a una temperatura de 20 °C.
- Las curvas son aplicables a una viscosidad cinemática de 1 mm²/s. Al bombear líquidos de mayor densidad, es necesaria una mayor potencia del motor.

Además de las curvas QH, Q-P y Q-η, por lo general también se ofrece, previa solicitud, una curva de carga axial. La carga de empuje descendente es generada por la hidráulica y se transmite a los cojinetes de empuje de los motores. La carga axial total se calcula multiplicando los valores de una etapa por el número de etapas, y puede usarse para comprobar si la capacidad de los cojinetes de empuje del motor es suficiente.

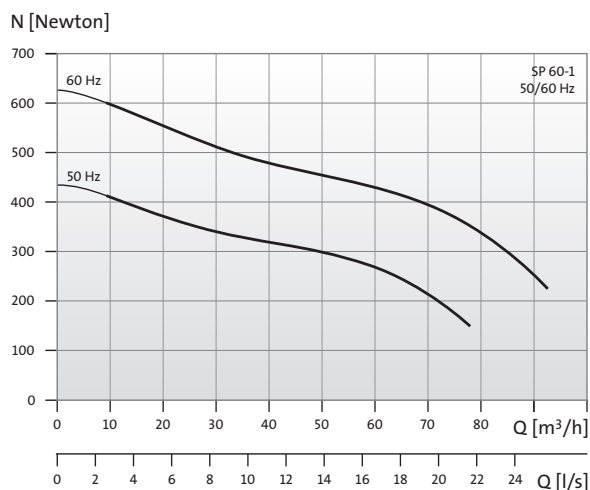


Figura 25: curva de carga axial de una etapa, SP 60

4.5 CONSUMO ENERGÉTICO

Consumo energético de las bombas sumergibles

La distribución porcentual de los costes de la vida útil de una bomba sumergible para el suministro de agua es la siguiente:

- 5 % costes iniciales (bomba)
- 85 % costes de funcionamiento/consumo energético
- 10 % costes de mantenimiento

Es evidente que el mayor potencial de ahorro se encuentra en el consumo energético.

El consumo anual de energía, E, de una bomba sumergible se puede calcular del siguiente modo:

$$E = c \times h \times P1 \text{ (EUR)}$$

c = precio específico de la energía (EUR/kWh)
 h = horas de funcionamiento/año (horas)
 P1 = entrada de potencia de la bomba sumergible (kW)

Ejemplo de cálculo del consumo energético:

Cálculo del consumo energético anual de la bomba sumergible SP 125-3.
 SP 125-3 con MS 6000, 30 kW, 3 x 400 V, 50 Hz.

Punto de trabajo:

Caudal:	Q = 120 m ³ /h
Altura total:	H = 63 m
Precio específico de la energía:	c = 0,1 EUR/kWh (teniendo en cuenta tarifa diurna y nocturna)
Horas de funcionamiento/año:	h = 3200

$$P1 = \frac{Q \times H \times \rho}{367 \times \eta_{bomba} \times \eta_{motor}} \text{ en kW}$$

Q = m³/h
 H = m

Densidad ρ = kg/dm³ (se asume 1)
 367 = factor de conversión
 η_{bomba} = (no confundir con la curva de eficiencia de la etapa)
 η_{motor} = (ejemplo 84,5 %, en ecuación 0,845)

Al mostrar la curva P2/Q le facilitamos el cálculo del consumo energético.

$$P1 = \frac{P2}{\eta_{\text{motor}}}$$

$P2 = 26 \text{ kW}$ (potencia requerida por la SP 125-3 a $120 \text{ m}^3/\text{h}$, según la curva $P2/Q$ de la página 34).

Cálculo de la eficiencia del motor en el punto de trabajo

De serie, la SP 125-3 dispone de un motor MS 6000 a 30 kW . En su punto de trabajo ($Q = 120 \text{ m}^3/\text{h}$), la bomba requiere 26 kW , por tanto: una carga del motor del 87% ($26 \text{ kW} / 30 \text{ kW}$) y una potencia de reserva del 13% .

A partir de la tabla de la página 35, la eficiencia del motor puede leerse como:

84% a una carga de 75% (η_{75})

83% a una carga de 100% (η_{100})

El valor interpolado en este ejemplo es $\eta_{\text{motor}} = 84,5 \%$, $\eta_{\text{motor}} = 0,845$.

$E = 0,1 \text{ EUR/kWh} \times 3200 \text{ h} \times 30,77 \text{ kW}$.

$$P1 = \frac{26}{0.845} = 30.77 \text{ kW}$$

El coste energético anual asciende a 9.846 EUR . Si comparamos el coste energético de esta bomba sumergible Grundfos, de alta eficiencia energética, con una bomba sumergible SP 120-4 de 1995 ($Q =$ de 110 a $120 \text{ m}^3/\text{h}$; $H =$ de 63 a 58 m ; $\eta_{\text{motor}} = 82 \%$) vemos que, para el mismo caudal anual total de 384.000 m^3 y la misma tarifa eléctrica de $0,1 \text{ EUR/kWh}$, el consumo energético anual de la antigua bomba asciende a 12.777 EUR .

El desgaste y los depósitos en el motor y en la bomba no se han tenido en cuenta.

El tiempo de amortización, A , en meses, se calcula del siguiente modo:

$$A = \frac{\text{Precio de compra de bomba de alta eficiencia energética}}{\text{Ahorro energético anual}} \times 12$$

El precio de compra de la bomba de alta eficiencia energética es de 4.090 EUR .

$$A = \frac{4090}{(12.777 \text{ EUR} - 9.846 \text{ EUR})} \times 12 = 16,7 \text{ meses}$$

El tiempo de amortización es de $16,7$ meses.

Nota: el sistema entero debe dimensionarse considerando la eficiencia energética (cable/tuberías de descarga).

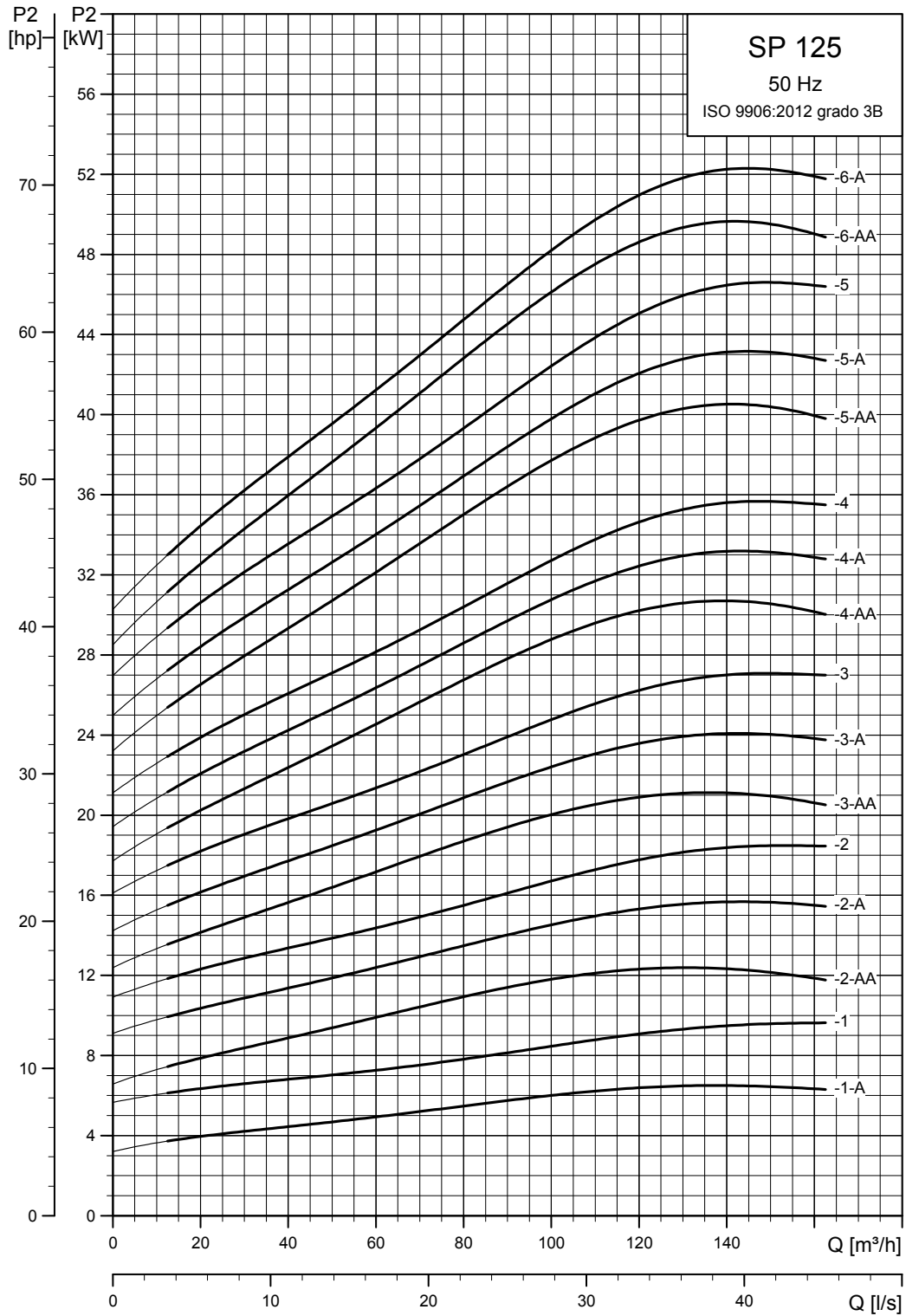
Tamaño de cable

Para obtener un funcionamiento económico de la bomba, la caída de tensión debe ser baja.

Hoy en día, las empresas de suministro de agua más importantes ya dimensionan cables para una caída máxima de tensión del 1% .

La resistencia hidráulica en la tubería de descarga será la menor posible.

Curvas de potencia



1 x 230 V, motores sumergibles

Datos eléctricos											Dimensiones			
Motor		Potencia [kW]	Corriente a carga completa I_n [A]	Eficiencia del motor [%]			Factor de potencia			$\frac{I_{st}}{I_n}$	Caja de control para motores de tres hilos	Condensador para motores PSC	Longitud [mm]	Peso [kg]
Tipo	Tamaño			$\eta_{50\%}$	$\eta_{75\%}$	$\eta_{100\%}$	Cos $\phi_{50\%}$	Cos $\phi_{75\%}$	Cos $\phi_{100\%}$					
MS 402	4"	0.37	3.95	48.0	54.0	57.0	0.58	0.68	0.77	3.4*	SA-SPM 2	16 μ F, 400 V, 50 Hz	256	6.8
MS 402	4"	0.55	5.80	49.5	56.5	59.5	0.52	0.65	0.74	3.5*	SA-SPM 2	20 μ F, 400 V, 50 Hz	291	8.2
MS 402	4"	0.75	7.45	52.0	58.0	60.0	0.57	0.69	0.79	3.6*	SA-SPM 2	30 μ F, 400 V, 50 Hz	306	8.9
MS 402	4"	1.1	7.30	62.0	69.5	72.5	0.99	0.99	0.99	4.3*	SA-SPM 3	40 μ F, 400 V, 50 Hz	346	10.5
MS 402	4"	1.5	10.2	56.5	66.5	71.0	0.91	0.96	0.98	3.9	SA-SPM 3	-	346	11.0
MS 4000 (R)	4"	2.2	14.0	67.0	73.0	75.0	0.91	0.94	0.96	4.4	SA-SPM 3	-	576	21.0

* Se aplica a motores de tres hilos.

Los motores de dos hilos MS 402 incorporan protección y pueden, por tanto, conectarse directamente a la red eléctrica.

3 x 230 V, motores sumergibles

Datos eléctricos											Dimensiones		
Motor		Potencia [kW]	Corriente a carga completa I_n [A]	Eficiencia del motor [%]			Factor de potencia			$\frac{I_{st}}{I_n}$	Longitud [mm]	Peso [kg]	
Tipo	Tamaño			$\eta_{50\%}$	$\eta_{75\%}$	$\eta_{100\%}$	Cos $\phi_{50\%}$	Cos $\phi_{75\%}$	Cos $\phi_{100\%}$				
MS 402	4"	0.37	2.55	51.0	59.5	64.0	0.44	0.55	0.64	3.7	226	5.5	
MS 402	4"	0.55	4.00	48.5	57.0	64.0	0.42	0.52	0.64	3.5	241	6.3	
MS 402	4"	0.75	4.20	64.0	69.5	73.0	0.50	0.62	0.72	4.6	276	7.7	
MS 4000R	4"	0.75	3.35	66.8	71.1	72.9	0.66	0.76	0.82	5.1	401	13.0	
MS 402	4"	1.1	6.20	62.5	69.0	73.0	0.47	0.59	0.72	4.6	306	8.9	
MS 4000R	4"	1.1	5.00	69.1	73.2	75.0	0.57	0.70	0.78	5.2	416	14.0	
MS 402	4"	1.5	7.65	68.0	73.0	75.0	0.50	0.64	0.75	5.0	346	10.5	
MS 4000R	4"	1.5	7.40	66.6	71.4	72.9	0.53	0.66	0.74	4.5	416	14.0	
MS 402	4"	2.2	10.0	72.5	75.5	76.0	0.56	0.71	0.82	4.7	346	11.9	
MS 4000 (R)	4"	2.2	11.6	64.5	70.8	73.3	0.44	0.58	0.69	4.2	456	16.0	
MS 4000 (R)	4"	3.0	14.6	67.5	72.8	74.6	0.48	0.62	0.73	4.4	496	17.0	
MS 4000 (R)	4"	4.0	17.6	73.9	77.4	77.9	0.52	0.67	0.77	4.9	576	21.0	
MS 4000 (R)	4"	5.5	24.2	76.0	78.8	79.6	0.51	0.66	0.76	4.9	676	26.0	
MS 6000 (R)	6"	5.5	24.8	77.0	79.0	80.0	0.51	0.64	0.73	4.5	544	35.5	
MS 6000 (R)	6"	7.5	32.0	79.0	82.0	82.0	0.55	0.68	0.77	4.6	574	37.0	
MS 6000 (R)	6"	9.2	39.5	77.0	80.0	80.0	0.56	0.70	0.78	4.8	604	42.5	
MS 6000 (R)	6"	11	45.0	81.0	82.5	82.5	0.60	0.72	0.79	4.8	634	45.5	
MS 6000 (R)	6"	13	54.5	81.0	82.5	82.5	0.58	0.71	0.78	4.8	664	48.5	
MS 6000 (R)	6"	15	62.0	82.0	83.5	83.5	0.59	0.71	0.78	5.2	699	52.5	
MS 6000 (R)	6"	18.5	76.5	82.5	84.5	84.0	0.56	0.69	0.77	5.3	754	58.0	
MS 6000 (R)	6"	22	87.5	84.5	85.0	84.0	0.61	0.74	0.81	5.2	814	64.0	
MS 6000 (R)	6"	26	104	83.5	84.0	83.5	0.61	0.73	0.81	5.0	874	69.5	
MS 6000 (R)	6"	30	120	83.0	84.0	83.0	0.59	0.72	0.80	5.0	944	77.5	

MS 402: Datos aplicables a 3 x 220 V.



5
MOTORES Y CONTROLES

GRUNDFOS

GRUNDFOS



5.1 TIPOS DE MOTOR, DESCRIPCIÓN GENERAL

Este capítulo trata exclusivamente de los motores sumergibles y sus controles. Los motores sumergibles son especiales porque están diseñados para funcionar bajo el agua. Por lo demás, sus principios de funcionamiento son los mismos que los de cualquier otro motor eléctrico asíncrono.

Tenga en cuenta que todos los motores de 4", 6" y 8" de Grundfos cumplen la normativa NEMA.

Un motor sumergible MS está formado por un cuerpo y un cable. En los sistemas con enchufe, el cable puede desconectarse. El tamaño del cable se determina de acuerdo con su uso bajo el agua a fin de minimizar los requisitos de espacio a lo largo de la bomba. El cable del motor se conecta al cable de descenso sobre la bomba mediante un kit de terminación de cable.

Motores encapsulados

En los motores encapsulados, el bobinado es de alambre esmaltado (como en los motores MS de Grundfos), está herméticamente sellado y se encuentra relleno de material, cuya finalidad es retener el bobinado y, al mismo tiempo, incrementar la transferencia de calor. Estos motores incorporan un sistema de casquillo de cojinetes radiales (superiores e inferiores), así como unos cojinetes de empuje (hacia arriba y hacia abajo). Los cojinetes de empuje y los cojinetes de casquillo funcionan hidrodinámicamente en el líquido del motor basado en agua.

Motores rebobinables

Los motores rebobinables están fabricados con un alambre especial resistente al agua y una junta estanca entre el bobinado y el cable del motor. La junta siempre se encuentra dentro del motor y no dispone de un sistema de conexión.

Motores rellenos de aceite

Los motores rellenos de aceite están equipados con bobinados de motor impregnados de superficie estándar. El motor se llena con aceite para transformadores, que se usa como lubricante y refrigerante. Este puede ser mineral o vegetal, con una alta resistencia de aislamiento. El empalme de cables del motor suele estar integrado dentro de él, ya que, al igual que en los motores rebobinables, pocos disponen de sistemas de conexión. Los motores rellenos de aceite incorporan un sistema de cojinetes de bolas.

Motores monofásicos

Existen varias versiones de los motores monofásicos. Todas tienen sus ventajas e inconvenientes particulares. La mayoría de los tipos necesitan un condensador y algunos otros accesorios, que se integran en un reóstato de arranque. El reóstato de arranque se usa para arrancar un motor determinado con una tensión y frecuencia específicas.

Motores PSC (condensador dividido permanente)

Un tipo de motores sencillos y fiables, con tan solo un condensador permanente incluido en el circuito. El tamaño del condensador es una solución intermedia frente a añadir par de arranque o asegurar un rendimiento elevado durante el funcionamiento.

Ventajas: sencillo, de bajo coste, fiable y silencioso.

Inconvenientes: bajo par de arranque y bajo rendimiento.

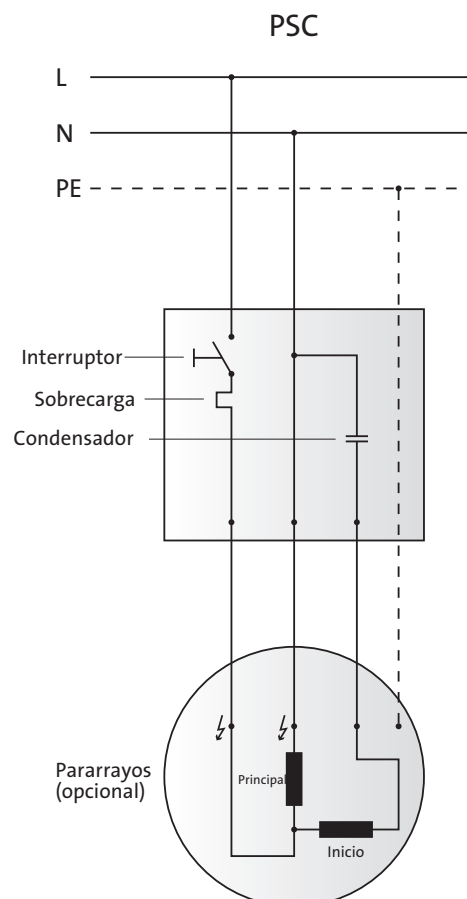


Figura 26: motor PSC

Motores CSIR (arranque por condensador y marcha por inducción)

El condensador de arranque aumenta el par durante el arranque. Luego es desconectado por un conmutador. Suele usarse para potencias menores (< 1,1 kW).

Ventajas: par de arranque.

Inconvenientes: funcionamiento ruidoso (monofase auténtico), requiere un relé para apagar el condensador de arranque.

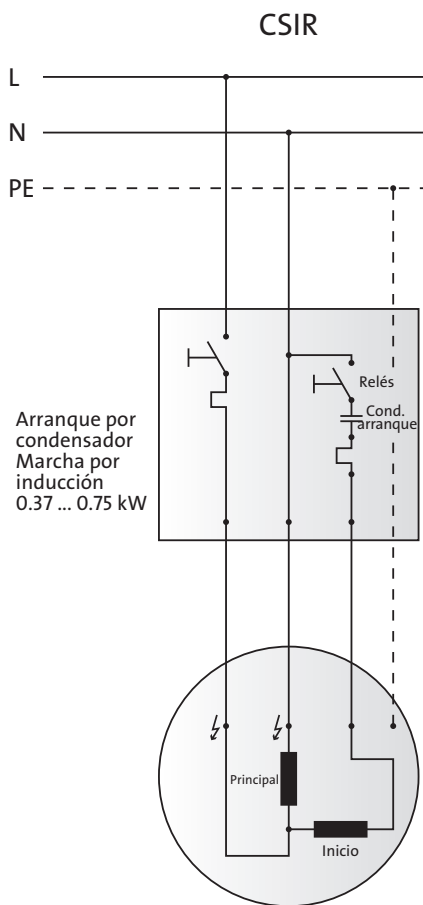


Figura 27: diagrama esquemático de un motor CSIR

Motores CSCR (arranque por condensador y marcha por condensador)

Este tipo de motores cuenta con un condensador de arranque para potenciar el par de arranque y un condensador permanente (PSC) que garantiza un funcionamiento sin problemas y un buen rendimiento. Este motor combina las ventajas de los dos tipos anteriores.

Ventajas: buen par de arranque, alto rendimiento.

Inconvenientes: precio del cuadro de control.

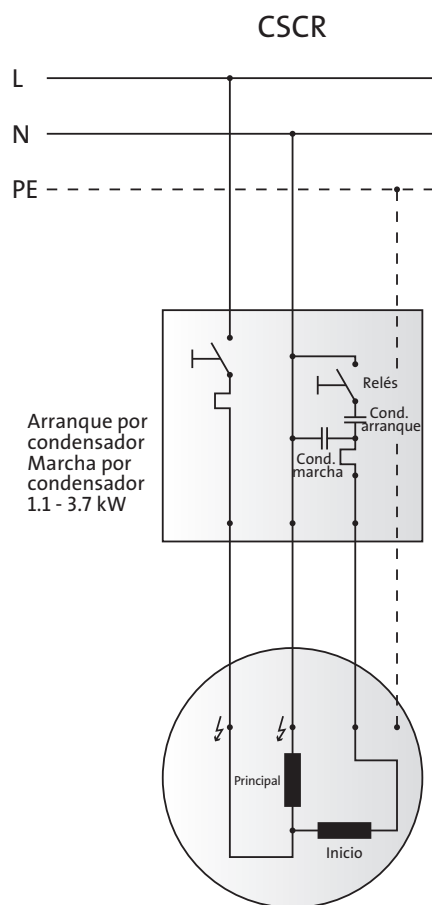


Figura 28: diagrama esquemático de un motor CSCR



Motores RSIR (arranque por resistencia y marcha por inducción)

Este motor cuenta con un relé integrado directamente en su bobinado que desconecta la fase de arranque cuando el motor está funcionando.

Ventajas: no son necesarios condensadores (ni cuadros de control), fácil instalación.

Inconvenientes: par de arranque limitado, potencia nominal limitada (solo hasta 1,1 kW).

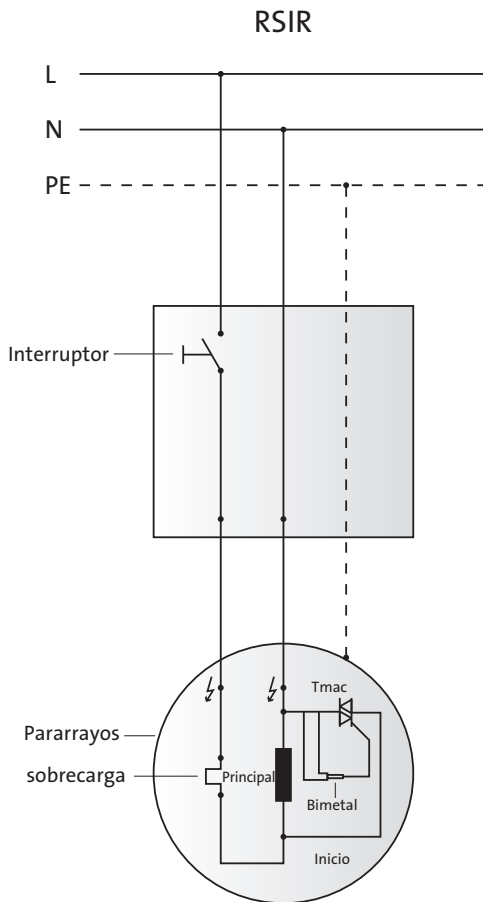


Figura 29: motor RSIR

Terminología: motores de dos y tres hilos

La terminología está relacionada con el número de cables necesarios en la instalación, excluido el cable de toma a tierra. Los motores de dos hilos deben conectarse a tres cables: fase, neutro y tierra. Los motores de tres hilos deben conectarse a cuatro cables: fase, neutro, punto entre el bobinado de arranque y marcha en el motor y toma a tierra.

Motores de dos hilos:

- Los motores PSC, si el condensador está integrado en el motor.
- Los motores RSIR.

Motores de tres hilos:

- Los motores PSC si hay un condensador en el reóstato de arranque en tierra.
- Los motores CSIR.
- Los motores CSCR.

Disminución de la potencia máxima del motor

Se recurre a la disminución de la potencia máxima del motor cuando la aplicación presenta dificultades específicas como, por ejemplo, una elevada temperatura del agua, tolerancias de tensión fuera de los intervalos aceptables o desequilibrio de estas tensiones; es decir, todas aquellas situaciones que causen una sobrecarga en el bobinado del motor más allá de aquella para la que fue diseñado.

La medida más simple consiste en utilizar un motor sobredimensionado, en general con una potencia que no sea mayor al doble de la necesaria. El resultado es una vida útil prolongada, pero el rendimiento no es el mejor, puesto que el motor nunca funcionará a su punto de trabajo óptimo. El factor de potencia, por lo general, será bajo debido a la carga parcial sobre la construcción.

Una mejor solución es tener un motor bobinado especialmente con una longitud de apilado mayor de lo habitual. El resultado serán mejores valores eléctricos y una capacidad de enfriamiento superior como resultado de una mayor superficie. Estos motores están diseñados para temperaturas superiores, tolerancias de tensión más amplias, etc., y mantienen e incluso incrementan el rendimiento de los motores normales.

5.2 CABLES DE MOTOR Y JUNTAS, REFERENCIA A CABLES DE DESCENSO

La finalidad de las instalaciones de bombas sumergibles es que el motor, su cable y la junta entre el cable del motor y el cable de descenso siempre permanezcan sumergidos. Si, por cualquier razón, el cable del motor no estuviese plenamente sumergido, deberá comprobarse siempre la corriente permanente admisible. Consulte también el capítulo 7.5.

Así, el cable del motor, la junta y la parte sumergida del cable de descenso tienen una superficie relativamente grande en contacto con el fluido bombeado, por lo que es importante seleccionar el material correcto para cada instalación específica. Asimismo, debe prestarse atención a los requisitos de las autoridades locales en cuanto a permisos sobre el agua potable.

5.3 DISPOSITIVOS PARA LA PROTECCIÓN DEL MOTOR

En los motores sumergibles pueden usarse los mismos tipos de dispositivos de protección que en los motores de superficie. Es importante asegurar y limitar la corriente de los cortocircuitos y protegerlos contra fallos de fase y sobrecargas.

La mayoría de los motores monofásicos cuentan con un dispositivo de protección térmica integrado. Si el protector no está integrado en el bobinado, se deberá incorporar en el reóstato de arranque. Estos protectores incorporan un dispositivo de reinicio automático o manual. Están especialmente diseñados para adaptarse a las características del bobinado del motor.

Los sensores Pt 100 y Pt 1000 son resistencias lineales que, usadas con un dispositivo sensor estándar, pueden emplearse para proporcionar una indicación de los cambios en la temperatura a lo largo del tiempo. El sensor se colocará en el orificio del perno de puntal en los motores de tipo encapsulado o en el fluido del motor en los rebobinables.

Las resistencias PTC y NTC apenas se usan en las instalaciones sumergibles, ya que no son lo suficientemente rápidas y fiables para proteger el motor sumergible.

Grundfos ofrece un dispositivo sensor especial para la temperatura denominado Tempcon. Se trata de una resistencia NTC integrada cerca del bobinado que detecta la temperatura. La temperatura se transforma en una señal de alta frecuencia transmitida hasta el panel de control por comunicación eléctrica; allí es registrada por un convertidor de señales y mostrada como temperatura en la pantalla del panel de control MP 204. El MP 204 es una unidad avanzada concebida para proteger el motor sumergible frente a alteraciones en la red.

5.4 REDUCCIÓN DE LA CORRIENTE DE ARRANQUE

La reducción de la corriente de arranque se realiza para evitar que otros equipos sufran subidas de tensión derivadas de cargas elevadas. Con ello se protege también a las tuberías de los incrementos de presión excesivos. Existen diversos modos de reducir el impacto

en la alimentación eléctrica; no obstante, no todos ellos son aplicables a las bombas. La información siguiente abarca varios modos diferentes de reducir la corriente de arranque, así como información sobre el funcionamiento de las bombas sumergibles con variadores de frecuencia.

Es aplicable a las bombas radiales y semirradiales, incluidas las bombas SP de Grundfos. No obstante, aquí no se tratan las bombas axiales.

Puesto que la corriente de arranque del motor de una bomba es con frecuencia entre 4 y 7 veces superior a la corriente nominal, se producirá una carga pico considerable de la red y del motor durante un breve período de tiempo. A fin de proteger la red, muchos países cuentan con normativa para reducir la corriente de arranque. Generalmente, se proporciona en forma de la carga máxima permitida, en kilovatios o amperios, para arrancar con una conexión directa en línea (DOL). Esta carga máxima permitida varía considerablemente dependiendo del país, por lo que es importante asegurarse de que se cumple la normativa local. En algunos casos, tan solo se permiten métodos específicos para reducir la corriente de arranque.

A continuación se describen los siguientes tipos:

- DOL: directo en línea
- SD: estrella-triángulo
- AF: autotransformador
- RR: arranque mediante resistencia
- SS: arranque suave
- FC: convertidor de frecuencia

Antes de optar por uno de ellos, deberán tenerse en cuenta la aplicación, los requisitos y la normativa local.

5.4.1 Directo en línea (DOL)

En el arranque DOL, el motor se conecta directamente a la red mediante un interruptor o algún dispositivo similar. Con instalaciones equivalentes, para los motores de hasta 45 kW, el arranque DOL siempre será el método que generará el menor calentamiento en el motor y, por consiguiente, le proporcionará una mayor vida útil. Por encima de este tamaño, el impacto mecánico sobre el motor será tan considerable que Grundfos recomienda



Tipo	Corriente arranque reducida	Precio	Prestaciones frente a precio	Espacio requerido	Amigable	Fiable	Menor pico de presión		Ahorro de energía en funcionamiento
							Mecánica	Hidráulica	
DOL	No	Bajo	Normales	Bajo	Sí	Sí	No	No	No
SD Menos de 45 kW Más de 45 kW	No Sí	Bajo Bajo	Bajo Normales	Bajo Bajo	Sí Sí	Sí Sí	No	No No	No No
AF	Sí	Medio	Normales	Medio	Sí/No	Sí	Sí/No	No	No
RR									
SS	Sí	Medio	Normales	Medio	Sí/No	Sí/No	Sí	No	Sí/No
FC	Sí	Alto	Normales	Medio/alto	Sí/No	Sí/No	Sí	Sí/No	Sí/No

reducir la corriente. Cabe añadir que, aunque el arranque DOL genera la mayor corriente de arranque, esta acarreará una alteración mínima en la red eléctrica.

No obstante, muchas bombas sumergibles usan cables largos. Estos disminuyen automáticamente la corriente de arranque debido a los simples principios físicos implicados, ya que la mayor resistencia del cable reduce la corriente. Si, por ejemplo, el cable es largo y está diseñado para una caída de tensión equivalente al 5 % de la carga completa (amperaje), se producirá automáticamente una reducción de la corriente de arranque. El ejemplo analizado a continuación ilustra este punto.

Ejemplo:

Corriente de funcionamiento x

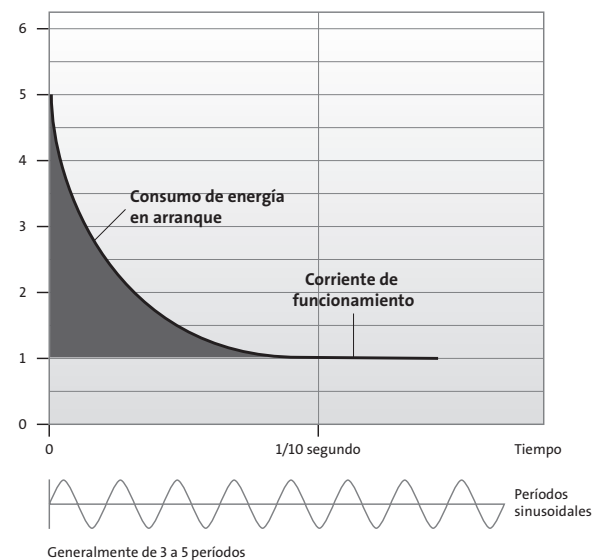


Figura 30: flujo de corriente mediante arranque DOL

5.4.2 Estrella-triángulo (SD)

El método más habitual para reducir la corriente de arranque en los motores, en general, es el arranque estrella-triángulo. Durante el arranque, el motor está conectado para su funcionamiento en estrella. Cuando el motor está en marcha, se cambia a triángulo. Este cambio se produce automáticamente después de un período de tiempo determinado. Durante el arranque en estrella, la tensión en los terminales del motor se reduce hasta el 58 % de la tensión nominal de arranque. Este método de arranque es muy conocido en el mercado y relativamente barato, sencillo y fiable, lo cual lo hace muy popular.

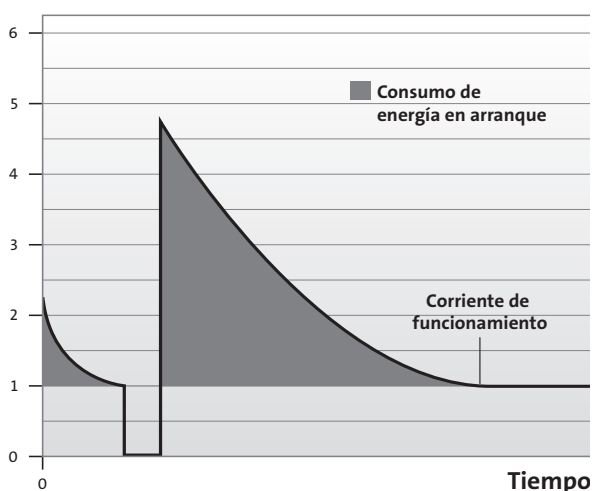


Figura 31: flujo de corriente mediante arranque SD

En las bombas SP y, en general, en todas las bombas con un bajo momento de inercia, el arranque SD no es recomendable debido a la pérdida de velocidad que se produce en el cambio de estrella a triángulo. Las bombas sumergibles pasan de 0 a 2.900 RPM en tres ciclos (0,06 s). Esto también significa que la bomba se detiene inmediatamente al desconectar la corriente de la alimentación eléctrica.

Al comparar las corrientes de arranque DOL y estrella-triángulo, el arranque estrella-triángulo reduce la corriente al principio. Al cambiar de estrella a triángulo, la bomba se ralentiza considerablemente, casi hasta parar por completo. Posteriormente, tiene que arrancar directamente en triángulo (DOL). El diagrama muestra que no existe una reducción real de la corriente de arranque.

Esta situación es relativamente diferente en las bombas centrífugas de mayor diámetro y masa, puesto que, en consecuencia, también poseen un mayor momento de inercia. Recuerde que el funcionamiento en estrella durante períodos prolongados puede causar un calentamiento considerable del motor y resultar en la reducción de su vida útil.

Las instalaciones sumergibles con arranques estrella-triángulo resultarán frecuentemente más caras que otras instalaciones similares. Son necesarios dos cables de alimentación (6 hilos) para el motor en lugar de uno (3 hilos) en situaciones normales. Además, el motor debe contar con dos conexiones, lo que lo encarece típicamente un 5% con respecto a un motor tradicional de una conexión.

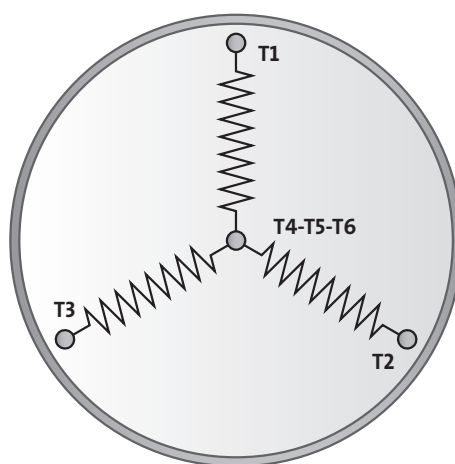


Figura 32: configuración en estrella durante el arranque

Tras un período de tiempo predeterminado, el arranque conmuta eléctricamente las bobinas a la configuración en triángulo, como se muestra en la figura 33.

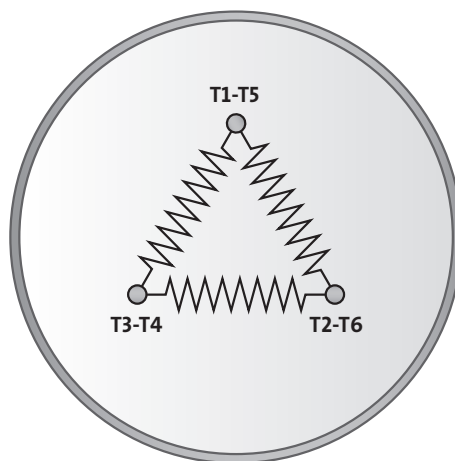


Figura 33: motor configurado en triángulo



5.4.3 Autotransformador (AT)

En este método de arranque, la tensión se reduce mediante autotransformadores. Este principio también se denomina el método Korndorf.

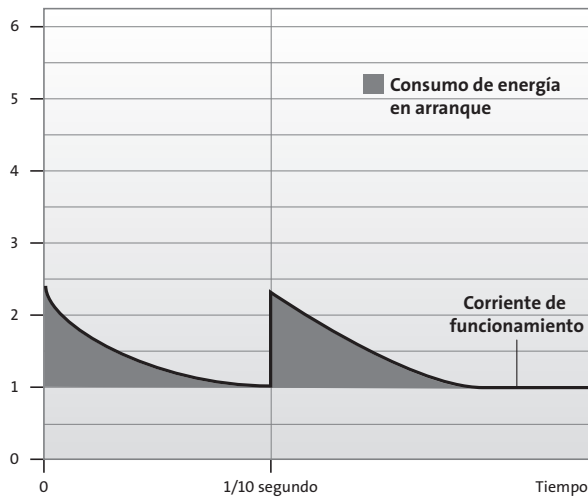


Figura 34: flujo de corriente mediante arranque por autotransformador

Cuando se va a arrancar el motor, primero se conecta a una tensión reducida y, a continuación, a la tensión completa. Durante el cambio, parte del autotransformador funciona como bobina de reactancia. Esto significa que el motor permanecerá todo el tiempo conectado a la red. Su velocidad, así, no se verá reducida. El consumo energético durante el arranque puede verse en la figura 34.

Los sistemas de arranque por autotransformador son relativamente costosos, pero muy fiables. La corriente de arranque, evidentemente, depende de las características del motor y de la bomba y varía considerablemente de un tipo a otro.

Nunca se debe mantener el autotransformador en el circuito durante más de 3 segundos.

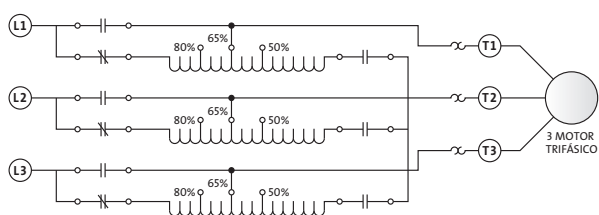


Figura 35: diagrama eléctrico típico para un arranque con tensión reducida mediante autotransformador

5.4.4 Arranque mediante resistencia primaria (RR)

En este método de arranque, la tensión se reduce por medio de resistencias colocadas en serie en cada fase del motor. El objetivo es incrementar la resistencia durante el arranque, limitando con ello el flujo de corriente generado. Un sistema de arranque correctamente dimensionado reducirá la tensión de arranque (sobre los terminales del motor) hasta aproximadamente un 70 % de la tensión de la línea.

El arranque se detiene mediante un temporizador que controla un contactor, lo que significa que la tensión reducida solo estará presente durante el tiempo predefinido y que el motor permanecerá alimentado en todo momento.

Las resistencias nunca deberán permanecer conectadas durante más de 3 segundos, ya que ello reducirá el par de arranque, causando en consecuencia un aumento en la temperatura del bobinado.

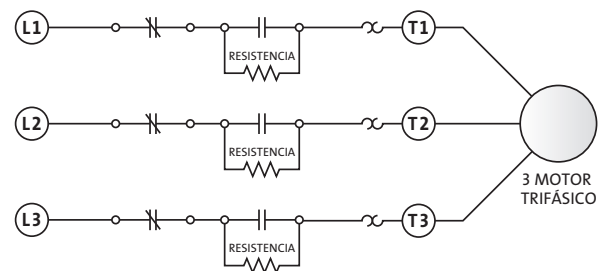


Figura 36: diagrama eléctrico típico para un arranque con tensión reducida mediante resistencia primaria

5.4.5 Arranque suave (SS)

Un sistema de arranque suave es una unidad electrónica que reduce la tensión y, por consiguiente, la corriente de arranque controlando el ángulo de fase. La unidad electrónica consta de una sección de control, en la que están configurados los diferentes parámetros de funcionamiento y protección, y una parte de alimentación con TRIAC bidireccionales.

En general, la corriente de arranque se verá reducida a un valor comprendido entre 2 y 3 veces la corriente de funcionamiento.

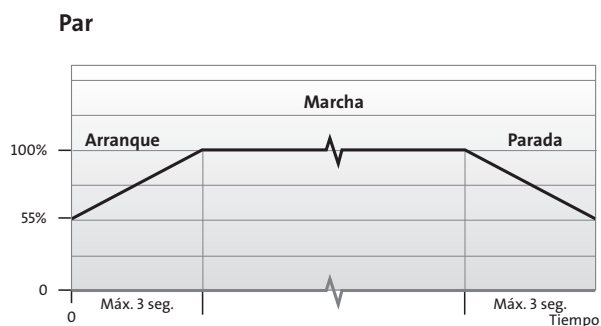


Figura 37: tiempos de arranque y parada recomendados, máximo 3 segundos

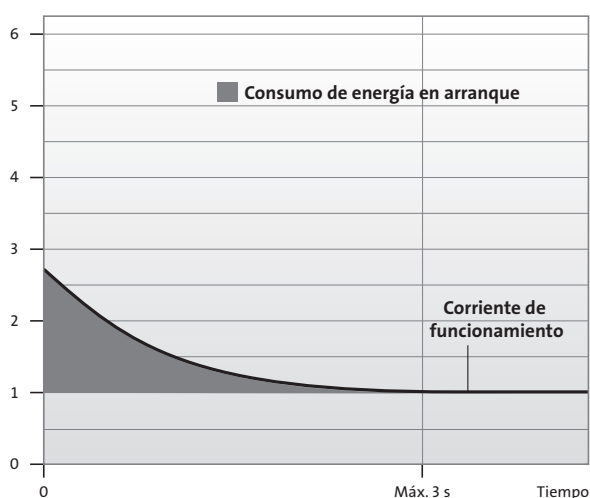


Figura 38: flujo de corriente mediante arranque suave

Suponiendo que el resto de la configuración sea igual, este mecanismo también ofrece un par de arranque reducido. El arranque más lento puede producir un incremento en la generación de calor en el motor, lo que reduce su vida útil. Esto no tiene prácticamente importancia en los tiempos de aceleración y deceleración cortos (como, por ejemplo, 3 segundos). Lo mismo es aplicable en los arranques estrella-triángulo y con autotransformador.

Por lo tanto, Grundfos recomienda respetar los tiempos de aceleración y deceleración indicados en la figura al usar el dispositivo de arranque suave. Con las bombas Grundfos no debería ser necesario incrementar la tensión de arranque por encima del 55%. No obstante, si se requiriera un par de arranque particularmente alto, la tensión de arranque podría incrementarse para lograrlo.

Un dispositivo de arranque suave absorberá las corrientes no sinusoidales e incrementará algo el ruido en la red eléctrica. Esto no tiene prácticamente importancia con tiempos de aceleración y deceleración cortos, y no entra en conflicto con las normas relativas al ruido en la red.

Se ha desarrollado una serie y generación nueva de sistemas de arranque suave, equipados con una función de rampa inicial, para reducir aún más la corriente de arranque o para aplicar una rampa a cargas de inercia elevada. En caso de emplearse estos sistemas, los tiempos de rampa no deberán superar los tres segundos. En general, Grundfos recomienda instalar siempre el sistema de arranque suave con un contactor de derivación a fin de que el motor funcione en DOL durante su marcha. De este modo, se minimiza el desgaste y la pérdida de potencia del arranque suave durante el funcionamiento.

Recomendamos el uso de variadores de frecuencia si se necesitan otros tiempos de rampa.

Si el arranque suave dispone de un contactor de derivación, es posible usar transmisores de temperatura para leer la temperatura de los motores Grundfos.

Los sistemas de arranque suave solo pueden usarse con motores sumergibles trifásicos.

El tiempo máximo de tensión reducida deberá limitarse para que no supere los 3 segundos.

5.4.6 Variadores de frecuencia (variador de velocidad)

Los variadores de frecuencia son un dispositivo ideal para controlar el rendimiento de la bomba ajustando la velocidad del motor hasta el punto de trabajo deseado y, de ese modo, contar con un equipo más eficiente y con mayor ahorro energético. Por lo tanto, es también el tipo de sistema de arranque idóneo tanto para reducir la corriente de arranque como para reducir los picos de presión.

Nota: una frecuencia baja causará que el rotor gire con lentitud y reducirá el rendimiento de la bomba.

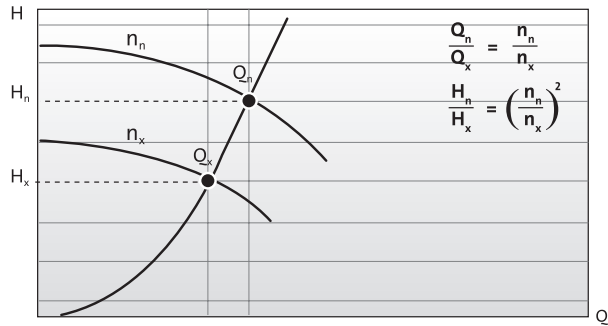


Figura 39: rendimiento de una bomba a diferentes frecuencias

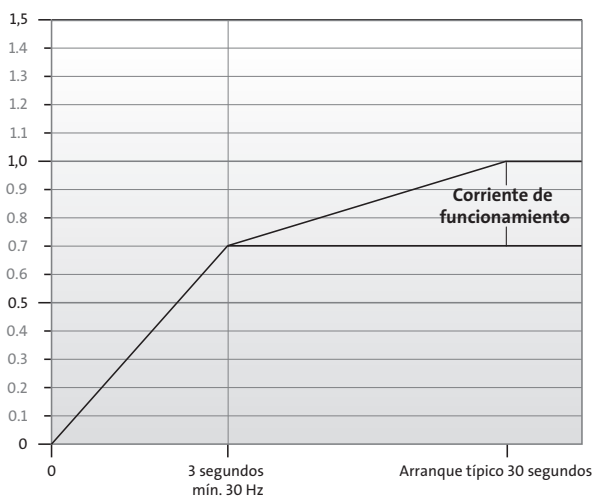


Figura 40: flujo de corriente mediante arranque con un variador de frecuencia

Los variadores de frecuencia son el dispositivo de arranque más caro de todos los mencionados anteriormente y se usan principalmente en aplicaciones con rendimiento variable.

Existen diferentes tipos de variadores de frecuencia en el mercado, cada uno con sus propias características. A continuación se presenta una breve descripción general:

- El variador de frecuencia más sencillo se basa en una curva de frecuencia de tensión. En ocasiones, se denomina convertidor U/f o V/f. Calcula la tensión de salida real a partir de la frecuencia, sin tener en cuenta la carga real. Pueden elegirse distintas curvas U/f o V/f para optimizar la aplicación específica. Las bombas normalmente usan la curva de par variable. Estos variadores de frecuencia son los más baratos del mercado y se usan a menudo.

- El siguiente paso es el variador de frecuencia con control por vector. Este dispositivo usa un modelo del motor y calcula la tensión de salida con base en diversos parámetros, que incluyen la carga real. Esto proporciona un rendimiento más alto a la hora de controlar el eje del motor; por ejemplo, una precisión superior de min^{-1} , par motor, etc. Estas transmisiones son más caras que las de tipo U/f y, generalmente, se usan en aplicaciones industriales. No obstante, también se usan en sistemas en los que se producen inestabilidades frecuentes. Este modo más preciso de controlar el eje, normalmente, elimina los problemas causados por bombas inestables. Las transmisiones con control por vector generalmente proporcionan una mayor eficiencia, o una función automática de optimización de la energía.

La sección de salida de un variador de frecuencia puede realizarse de dos modos diferentes: con 6 o con 12 transistores.

A esto también se lo denomina variadores de 6 pulsos o de 12 pulsos. La solución de seis transistores es la que se encuentra con más frecuencia, ya que es la más económica y el modo más sencillo de crear una etapa de salida. Para reducir la sobrecarga sobre el aislamiento del motor e incrementar el rendimiento del control, se introdujo la etapa de salida de 12 transistores. El funcionamiento con 12 transistores generalmente se combina con controles avanzados que se basan en los modelos de flujo del motor. Entre las ventajas asociadas a las soluciones de 12 transistores generalmente se incluyen un control mejorado a velocidades bajas y una menor sobrecarga del motor. Estas soluciones se enmarcan en la gama cara de los variadores de frecuencia de 12 pulsos.

El factor de elección principal al combinar un variador de frecuencia y una bomba es el amperaje a plena carga incluyendo el factor de sobrecarga. El variador de frecuencia debería elegirse de modo que pueda proporcionar la corriente necesaria en todo momento. Por ejemplo, si el motor requiere 9,7 A, deberá seleccionar un variador de frecuencia con una corriente de salida de 9,7 A o superior.

5.5 FUNCIONAMIENTO CON UN VARIADOR DE FRECUENCIA

Son varios los aspectos que deben tenerse en cuenta al usar variadores de frecuencia conjuntamente con motores sumergibles. A continuación se enumeran algunas de las condiciones que hay que cumplir.

1a. El variador de frecuencia debe contar con algún tipo de filtro de salida para limitar las subidas de tensión (U_{pico}) y para reducir el valor de dU/dt (o dV/dt) que causa una sobrecarga sobre el aislamiento del motor sumergible. La tensión máxima (U_{pico}) debería reducirse a un nivel inferior a 850 V (salvo en el caso de la MS 402); el valor de dU/dt también debería limitarse de acuerdo con la siguiente tabla.

Máx. pico tensión y máx. DU/dt para sumergibles Grundfos		
Serie de motores	Máx. tensión U_{pico}	Máx. dU/dt
MS 402	650 V fase-fase	2000 V/ μ s
MS 4000	850 V fase-fase	2000 V/ μ s
MS 6/MS 6000	850 V fase-fase	2000 V/ μ s
MMS 6/MMS 6000	850 V fase-tierra	500 V/ μ s
MMS 8000	850 V fase-tierra	500 V/ μ s
MMS 10000	850 V fase-tierra	500 V/ μ s
MMS 12000	850 V fase-tierra	500 V/ μ s

Los filtros de salida típicos para los variadores de frecuencia son los LC (también llamados filtros sinusoidales) o los RC. Los proveedores de variadores de frecuencia pueden facilitar datos sobre los valores U_{pico} y dU/dt para sus diferentes series de variadores de frecuencia. Consulte el capítulo 5.6.

Normalmente, estos filtros también son necesarios si se usan cables de motor largos conjuntamente con el variador de frecuencia.

Los valores U_{pico} y dU/dt deberán medirse en los terminales del motor.

Consulte la tabla anterior para determinar los valores aceptables de dV/dt .

1b. Los variadores de frecuencia suelen estar diseñados para su uso en entornos industriales. Si un variador de frecuencia se usa en áreas residenciales, puede que sea necesario añadirle algún tipo de filtro de entrada para evitar que sus interferencias eléctricas afecten a otros equipos conectados a la misma red

de suministro. Normalmente, suele haber tres niveles diferentes de filtros disponibles:

- Sin filtro (solo para usos industriales en los que el filtrado se realiza en otro lugar)
- Filtros para aplicaciones industriales
- Filtros para aplicaciones domésticas

La versión para aplicaciones domésticas puede ser un complemento de la aplicación industrial o una versión independiente.

A fin de preservar el marcado CE del producto, es obligatorio cumplir con los requisitos especificados en los manuales de los variadores de frecuencia. En caso contrario, el marcado CE queda desautorizado.

2. El caudal que atraviesa el motor debe ser de al menos 0,15 m/s. Si el bombeo no crea un caudal suficiente a través del motor, este debe estar equipado con una camisa de refrigeración.
3. En el control de los motores sumergibles en sistemas abiertos con un alto empuje estático, el consumo energético variará solo moderadamente. Esto significa que una reducción del rendimiento de la bomba aumentará la generación de calor en el motor. Como consecuencia, será de esperar una reducción en la vida útil del motor. Por lo tanto, para el funcionamiento con un variador de frecuencia, Grundfos recomienda usar siempre un motor con un margen de capacidad libre; es decir, un motor industrial T60 o un motor estándar cuya potencia máxima haya sido disminuida.
4. La frecuencia del motor:
 - mínima, 30 Hz;
 - máxima, 60 Hz.
5. En los motores MS, el empleo de un variador de frecuencia desactivará el sistema Grundfos Tempcon (un fusible desconectará de la red eléctrica los componentes electrónicos de manera irreversible). **No es posible usar el MP 204 en instalaciones con variador de frecuencia.**

Se puede realizar un seguimiento de la temperatura usando sensores (Pt 100 o Pt 1000) instalados en el motor sumergible (en el perno del puntal para la MS; instalado directamente en el líquido del motor para la MMS 6 y MMS 8000; y en el tubo de inserción en la

MS 10000 y MMS 12000). La señal puede usarse con relés de medición estándar o directamente remitida al variador de frecuencia. Será necesario un cableado adicional.

Si se satisfacen los puntos anteriores, el motor disfrutará de una vida útil aceptable.

Tenga en cuenta que los variadores de frecuencia externos tienen como resultado pérdidas de potencia y la transmisión de armónicos, por lo que:

- generan más calor en el motor en comparación con el funcionamiento directo en línea
- reducen la eficiencia del motor
- aumentan el consumo energético del motor

Como consecuencia, deberán usarse siempre motores industriales T60, ya que han sido construidos para compensar esos inconvenientes.

Por lo que se refiere al ahorro en el funcionamiento, debe tenerse en cuenta lo siguiente:

- El control de la frecuencia de las bombas sumergibles en pozos profundos generalmente no tendrá como resultado un mayor ahorro cuando se instala en un pozo.
- Sin embargo, sí reduce la necesidad de usar depósitos de gran tamaño y el espacio para estos.
- El control de frecuencia de las bombas de agua bruta reduce los picos de presión en el sistema de tuberías y las variaciones en el nivel de agua del pozo al arrancar y parar la bomba.

No obstante, cuando sea necesario algún tipo de control como, por ejemplo, presión constante, nivel de agua estable en el pozo o similares, es posible que se produzca alguna mejora al usar los variadores de frecuencia. Un variador de frecuencia incluye alguna lógica de entrada y salida. Normalmente, también incluye una sección de control PID para establecer el control de la aplicación. En muchos casos puede suprimirse algún equipamiento adicional, y el uso del variador de frecuencia como sistema de arranque y como parte del sistema de control mejorarán la perspectiva económica general.

El uso del controlador PID está ampliamente generalizado en las aplicaciones de control, y los fabricantes de variadores de frecuencia suelen proporcionar algunos consejos sobre cómo optimizar el uso de esta función.



Figura 41: familia de productos CUE

Es importante señalar que un controlador PID incorrectamente programado podría dar lugar a un rendimiento inestable y excesiva presión en el sistema.

Tenga en cuenta que el tiempo máximo de rampa para una frecuencia mínima de 30 Hz no debe exceder los 3 segundos.

5.6 VARIADOR DE VELOCIDAD CUE PARA BOMBAS SP

El CUE es un variador de frecuencia con una interfaz lógica para facilitar su configuración y funcionamiento.

Con él, es posible controlar el rendimiento de la bomba mediante la modificación de su frecuencia. De este modo es posible programar un arranque y una parada suaves. Así, se minimiza el riesgo de daños sobre la tubería de presión y el sistema entero de tuberías. También se reducen los efectos de los golpes de ariete al tiempo que se minimizan los costes de las válvulas y otros dispositivos de regulación.

El funcionamiento por debajo de 30 Hz es aceptable durante no más de tres segundos. En frecuencias

superiores a los 30 Hz no existe un tiempo límite de funcionamiento. Esto, no obstante, deberá respetarse siempre, tanto durante las secuencias de rampa ascendente como descendente.

La máxima frecuencia es 60 Hz.

Los datos de configuración para el CUE se indican siempre en términos de corriente y no de kW, ya que los motores sumergibles son, a menudo, distintos de los normales.

Funciones

El CUE le permite mantener los parámetros siguientes:

- Presión constante
- Nivel constante
- Caudal constante
- Temperatura constante
- Curva constante

Cable de alimentación

No existe una versión blindada de cable de alimentación para bombas sumergibles. Normalmente, de acuerdo con

las normativas sobre compatibilidad electromagnética, no es necesario al tratarse de instalaciones sumergidas.

Cable de alimentación a toma de red

Este cable discurre desde la toma de la alimentación de red al CUE sin ningún tipo de blindaje. El cable que une el CUE y el filtro sí está blindado. El cable que va desde el filtro al motor de la bomba carece, generalmente, de blindaje. Los dos ejemplos siguientes ilustran estas configuraciones.

Si el cable se emplea fuera del pozo, en un entorno seco, puede usarse un cable blindado que conecte en la boca del pozo con el cable de la bomba sumergible. La figura 42 muestra cómo usar el cable elegido con un CUE y un filtro. En el segundo ejemplo, la caja de conexiones se sitúa en la boca del pozo.

Si desea obtener más información, use la herramienta en línea Grundfos Product Center, disponible en www.grundfos.es.

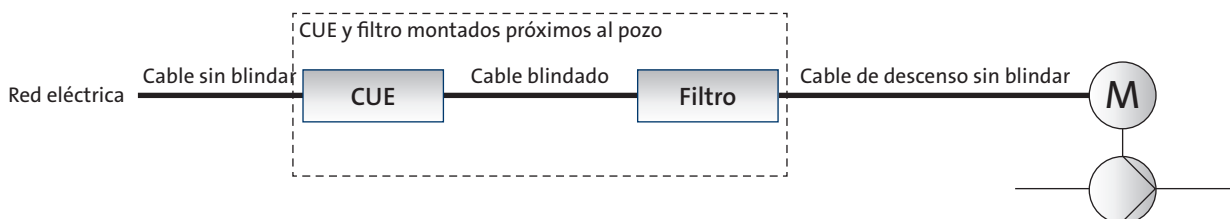
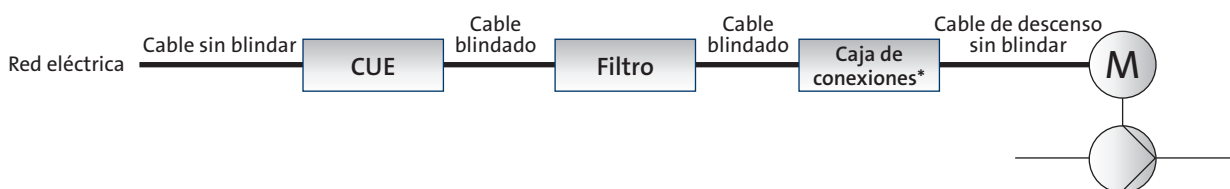


Figura 42: bomba sumergible sin caja de conexiones



* Ambos extremos del cable blindado que va desde el filtro hasta la caja de conexiones deben conectarse a tierra

Figura 43: bomba sumergible con caja de conexiones y cable blindado



Selección de filtros

La figura 44, a continuación, muestra cómo seleccionar el filtro correcto a instalar.

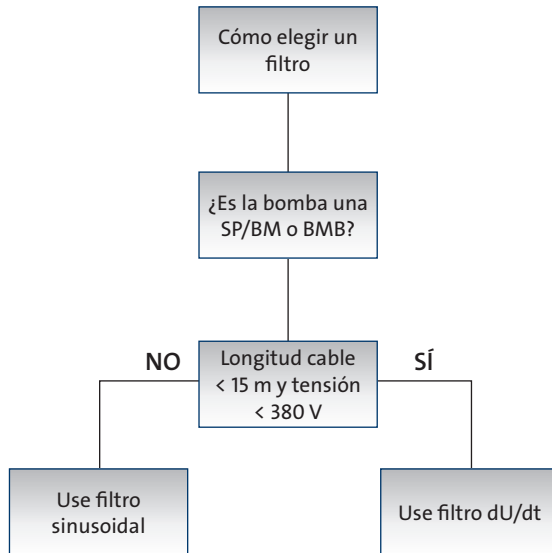


Figura 44: pautas de configuración

La principal diferencia entre los filtros DU/dt y los filtros de ondas sinusoidales es que, a pesar de constar ambos de bobinas y condensadores, los valores de tales bobinas y condensadores son menores en los filtros DU/dt en comparación con los de los filtros sinusoidales.

Grundfos ofrece una completa gama de filtros para usar con los dispositivos CUE.

Pautas de configuración

- Rampa (ascendente y descendente): máximo 3 segundos. Ello garantiza la lubricación de los cojinetes del casquillo para limitar su desgaste y evitar que la bobina se queme.
- Use un Pt 100 para supervisar la temperatura (puede ser necesario cable blindado).
- El calor destruye el motor => baja resistencia de aislamiento => sensible a los picos de tensión.
- Recomendaciones para el motor:
 - Para MS: use motores con un 10 % adicional en el punto de trabajo especificado.
 - Para MMS: use siempre motores con bobinado PE2-PA.
- Recuerde usar un filtro de salida.
- Reduzca los picos de tensión a un máximo de 800 V.
- Grundfos recomienda el inversor de frecuencia de Danfoss en combinación con un filtro de salida (sinusoidal).
- Los cables actúan como amplificadores => mida o calcule los picos en el motor.
- Dimensionelo con respecto a la corriente y no a la potencia de salida.
- Dimensione el mecanismo de refrigeración para el tubo del estátor en el punto de trabajo con el caudal más bajo. Debe considerarse el caudal mínimo en m/s a través de la carcasa del estátor.
- Asegúrese de que la bomba se use dentro del intervalo previsto para su curva.
- Vigile la presión de descarga y el valor NPSH adecuado, ya que las vibraciones dañarán el motor.

6 ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA



6.1 GENERACIÓN DE ENERGÍA

La siguiente sección se centrará únicamente en la corriente alterna (CA), puesto que es la fuente de energía primaria en los motores asíncronos.

Distribución

Para que la energía generada sea de utilidad, debe transmitirse directamente desde la planta generadora hasta el área en que se realiza el consumo. El desafío radica en disponer de suficiente energía en el momento y lugar en el que se demanda el trabajo.

El modo más eficaz para transferir energía desde la planta generadora hasta los puntos de consumo consiste en incrementar la tensión reduciendo al mismo tiempo la intensidad o corriente. Esto es necesario para minimizar las pérdidas de energía como consecuencia de la transmisión. Las pérdidas se conocen como pérdidas $I^2 \times R$, puesto que equivalen al cuadrado de la intensidad por la resistencia de las líneas de tensión. Una vez que la energía eléctrica se acerca al usuario final, la empresa suministradora deberá reducir la tensión al nivel requerido por la máquina que realizará el consumo. Cada vez que se reduce el nivel de tensión se pierde energía, incluso en los transformadores más eficaces.

6.2 TENSIÓN

6.2.1 Desequilibrios de la tensión

Los motores sumergibles están diseñados para funcionar en líneas alimentadas con una tensión y una frecuencia determinadas.

El desequilibrio de la tensión puede corregirse en el cuadro de regulación del transformador o del generador. El desequilibrio de la tensión debe mantenerse lo más reducido posible, puesto que se trata del principal causante del desequilibrio de la intensidad que, a su vez, conduce a la generación de calor adicional en el motor.

Una causa posible del desequilibrio de la tensión es la distribución desigual de las cargas monofásicas. Estas cargas varían a lo largo del tiempo y, en consecuencia, resulta muy difícil evitar el desequilibrio de la tensión si la red contiene un porcentaje alto de consumo monofásico.

El uso de dos transformadores monofásicos en la denominada conexión “en triángulo abierto” no es recomendable para el suministro trifásico.

6.2.2 Sobretensión y subtenión

Las líneas de suministro eléctrico deben proporcionar una determinada tensión. Con frecuencia, cerca del transformador a baja tensión existirá una sobretensión del 3 al 5 %. Cuando las líneas estén cargadas, se producirá una caída de tensión por la resistencia óhmica durante los períodos de consumo energético más altos.

La mayoría de las líneas están dimensionadas de modo que las subtensiones superiores al -10 % se producirán menos de una vez al año en su punto más débil. No obstante, numerosos consumidores todavía siguen sufriendo períodos de caídas de tensión considerables.

Cualquier motor sufrirá si no recibe la tensión especificada en la placa de características. Si se produce una caída de tensión, el par motor se reducirá y, en consecuencia, también se reducirá la velocidad del motor cargado.

Como resultado de este hecho, el rendimiento y la resistencia a la inducción del motor también caerán, lo que incrementará el consumo energético, aumentando con ello la generación de calor en el motor.

Cuando un motor de bomba centrífuga totalmente cargado sufre una subtenión del 10 %, el consumo energético se incrementa aproximadamente en un 5 % y la temperatura del motor en cerca del 20 %. Si este incremento supera la temperatura máxima de resistencia del material aislante de los bobinados, estos se cortocircuitarán y el estátor quedará destruido. En los motores sumergibles, la temperatura del líquido del motor es muy importante para la lubricación de los cojinetes del casquillo.

En el siguiente diagrama se muestra la capacidad de carga como función de la temperatura.

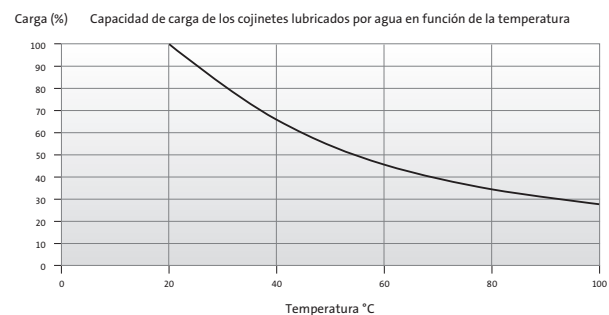


Figura 45: diagrama de la capacidad de carga de los cojinetes del casquillo como función de la temperatura del líquido del motor.

Esta situación resultará crítica en caso de que el motor esté situado en un entorno caliente y disponga de una mala refrigeración, o en caso de que se presente simultáneamente tensión asimétrica, corriente asimétrica o transitorios de tensión.

Generalmente, el incremento en la temperatura del bobinado causada por la subtensión producirá un envejecimiento acelerado del aislamiento que acarreará una reducción de la vida útil.

En caso de sobretensión procedente de la red eléctrica, el consumo energético y la generación de calor en los bobinados del motor también se incrementarán.

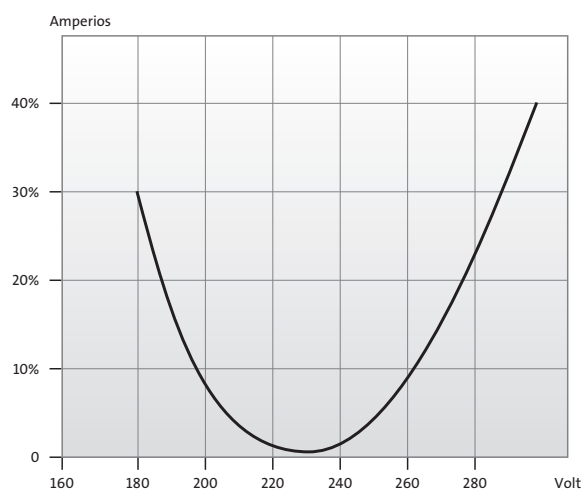


Figura 46: variación de la intensidad como función de la sobretensión y la subtensión en un motor de 230 V.

Conclusión

1. Para variaciones de tensión de entre un +6 % y un -10 % del valor nominal, medidas en los terminales del motor, puede esperarse una vida útil normal cuando el consumo energético equivalga o sea inferior a la corriente nominal indicada en la placa de características, siempre que la refrigeración del motor sea la adecuada y no se produzcan asimetrías ni transitorios.
2. En las variaciones de tensión cortas o periódicas que excedan el intervalo entre el +6 % y el -10 % del valor nominal, la reducción de la vida útil será moderada hasta que las subtensiones y sobretensiones sean tan considerables que los bobinados del estator se cortocircuiten.
3. Con variaciones de tensión permanentes o prolongadas que excedan el intervalo entre el +6 % y el -10 %, deberá reducirse la potencia máxima del motor o elegirse un motor industrial Grundfos para obtener una vida útil y rendimiento aceptables. El control de la temperatura del motor se realiza usando

el MP 204 de Grundfos; se recomienda siempre usar un protector electrónico del motor.

Es habitual reducir la potencia máxima de un motor estándar para garantizar una vida útil larga cuando se esperen sobretensiones o subtensiones que excedan el intervalo entre el +6 % y el -10 % en la entrada del cable del motor. Con frecuencia, los motores monofásicos requieren la utilización de un condensador cuando están expuestos a suministros de baja tensión.

6.3 FRECUENCIA

La frecuencia debe mantenerse siempre en el valor nominal. Si la frecuencia es superior, la bomba podría sobrecargar el motor. Si la frecuencia es inferior, el rendimiento de la bomba se reducirá.

6.4 VARIADORES DE FRECUENCIA

Para lograr una distribución racional de la energía eléctrica, las empresas suministradoras han acordado usar la misma frecuencia, lo cual permite la conexión directa de redes diferentes, a condición de que su frecuencia y secuencia sean las mismas.

Las frecuencias dominantes usadas mundialmente en la actualidad son 60 Hz y 50 Hz.

La frecuencia determina la velocidad del motor asíncrono. Lamentablemente, es muy difícil calcular exactamente la velocidad de un motor asíncrono, puesto que viene determinada por la velocidad de un motor síncrono menos el deslizamiento.

El deslizamiento se define como la diferencia de velocidad entre el rotor y el campo del estator. El deslizamiento es producto del par motor resultante, lo cual implica que, cuanto mayor sea la carga (par motor), mayor será el deslizamiento; en otras palabras, el deslizamiento de un motor asíncrono depende de la carga.

La velocidad síncrona puede calcularse mediante la siguiente fórmula:

$$N_s = \frac{120 \times f}{P}$$

N_s = velocidad del campo magnético giratorio.

120 = constante.

f = frecuencia.

P = número de polos.



Los variadores de frecuencia (VDF) se usan para crear una red local “nueva” con una frecuencia diferente a la proporcionada por la empresa de suministro. De esta forma, se podrá regular la frecuencia y, en consecuencia, la velocidad del motor (y de la bomba).

Los variadores de frecuencia modernos pueden regular en un intervalo entre 0 y 400 Hz (o incluso más). Recuerde que, a medida que la velocidad aumenta, la carga también se incrementa hasta dar lugar, finalmente, a una sobrecarga del motor si no se dimensiona correctamente.

Otra cuestión importante a recordar es que el variador de frecuencia no debe usarse para aumentar la tensión. Al regular la tensión, la relación frecuencia/tensión debe permanecer constante.

Ejemplo práctico:

Red determinada = 400 V, 50 Hz.

Para obtener un margen de regulación más amplio, dimensione el conjunto de la bomba para su funcionamiento a 60 Hz. Así se consigue una zona de regulación recomendada de 30 a 60 Hz. Como no debe incrementar la tensión, tendrá que seleccionar un motor adecuado para funcionar a 400 V, 60 Hz.

Filtros:

Los variadores de frecuencia están basados en una tecnología que cambia (corta) la potencia de entrada y salida. Esto quiere decir que la salida resultante de un variador de frecuencia es solo en parte una curva sinusoidal. Como consecuencia, se genera ruido en el lado primario del variador de frecuencia, así como en el secundario. El lado primario está regulado por las autoridades y/o empresas de suministro y requiere soluciones con filtros RFI. En el lado de la salida, el desafío lo representa la longitud, el tipo, el tamaño y el modo en que los cables se colocan en la instalación. Los cables largos incrementan el riesgo de crear picos de tensión elevados, que causen el deterioro del sistema de aislamiento del motor sumergible.

Grundfos recomienda el uso de filtros de salida en el lado secundario de todos los variadores de frecuencia. Si el proveedor de un VDF con una configuración de cable determinada garantiza que no se excederá el U_{pico} para un motor determinado en sus terminales, esta situación puede resultar aceptable. Vea la tabla de la página 42.

Intensidad:

Tenga en cuenta que el dimensionado de los variadores de frecuencia se realiza a partir del valor de la intensidad del motor, y que los motores sumergibles tienen valores de intensidad superiores a los de los motores de superficie equivalentes.

6.5 CONEXIÓN A LA RED

Antes de conectarse a la red, debe conocer sus características: su calidad, qué tipo de tierra se usa y el nivel protección contra las subidas de tensión y los rayos.

- Qué tensión se proporcionará y con qué tolerancias.
- Qué frecuencia se proporcionará y con qué tolerancias.
- Qué potencia se encuentra disponible.
- Con qué frecuencia pueden esperarse alteraciones en la red.
- Si se prevé el uso de un transformador propio o se usará un transformador común. En caso de usarse un transformador común, pregunte cómo se garantizará la carga uniforme de la red (solo aplicable en el caso de motores trifásicos).

A la provisión desde la red eléctrica al motor se le suele denominar suministro de red. Se entiende como suministro de red al abastecimiento, por parte de la línea eléctrica, de la tensión necesaria para el funcionamiento de la máquina. La calidad de la red se divide en las denominadas redes “rígidas” o “blandas”.

Una tensión de red determinada se transforma en la tensión de suministro adecuada usando un transformador. El modo más económico de transformar una tensión de red determinada en la tensión de suministro requerida se realiza mediante los denominados autotransformadores. Tenga en cuenta que no todos los países permiten estos.

Para proteger el motor sumergible, necesita un dispositivo que permita aislar el motor del suministro de la red en caso de que se produzcan problemas relacionados con este aspecto. Grundfos recomienda el uso del dispositivo electrónico de protección del motor MP 204.

6.6 CORRIENTE ASIMÉTRICA

Cuanto menor sea la corriente asimétrica, mayor será el rendimiento y duración del motor. Por lo tanto, es importante que todas las fases se carguen por igual. Antes de efectuar la medición, debería comprobarse que la dirección de giro de la bomba es correcta, es decir, aquella que proporciona el rendimiento más alto. Podrá modificar la dirección de giro intercambiando las dos fases. La asimetría no deberá superar el 5 %. Si ha conectado un MP 204, el 10 % será aceptable. Este valor se calcula utilizando las dos fórmulas siguientes:

$$I (\%) = \left(\frac{I_{\text{fase máx.}} - I_{\text{promedio}}}{I_{\text{promedio}}} \right) \times 100 [\%]$$

$$I (\%) = \left(\frac{I_{\text{fase}} - I_{\text{promedio mín.}}}{I_{\text{promedio}}} \right) \times 100 [\%]$$

El valor máximo se usa como expresión de la corriente asimétrica. La corriente debe medirse en las tres fases como se ilustra a continuación. La mejor conexión es la que proporciona la menor corriente asimétrica. Para no tener que cambiar la dirección de giro al cambiar la conexión, las fases deben cambiarse siempre según la ilustración. El MP 204 no solo protege contra una corriente asimétrica demasiado alta, sino que también permite obtener lecturas de los valores reales si se usa con un R100 o un Grundfos GO (vea la página 81). De esta forma, resultará más sencillo encontrar la conexión ideal.

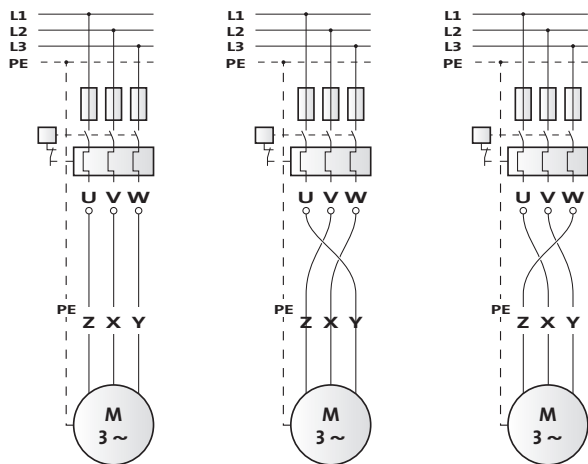


Figura 47: conexión ideal

Ejemplo:

Consulte el diagrama de la figura 45 y la tabla mostrada a continuación.

Paso 1	Conexión 1 UZ 31 A VX 26 A WY 28 A En total 85 A	Conexión 2 Z 30 A X 26 A Y 29 A En total 85 A	Conexión 3 Z 29 A X 27 A Y 29 A En total 85 A
Paso 2	Corriente promedio: $\frac{\text{Corriente total}}{3 \times 3} = \frac{85 + 85 + 85}{3 \times 3} = 28,3 \text{ A}$		
Paso 3	Máx. diferencia de amperios sobre promedio: Conexión 1 = 31 - 28,3 = 2,7 A Conexión 2 = 28,3 - 26 = 2,3 A Conexión 3 = 28,3 - 27 = 1,3 A		
Paso 4	% desequilibrio: Conexión 1 = 9,5 %, mala Conexión 2 = 8,1 %, mala Conexión 3 = 4,6 %, aceptable		
Paso 5	Si los desequilibrios de corrientes son superiores al 5 %, debe ponerse en contacto con la compañía eléctrica. Como alternativa, debería usarse un motor con la potencia máxima limitada o un motor industrial protegido mediante un MP 204. En el control remoto, podrá leer la corriente asimétrica real. Un desequilibrio de la corriente del 5 % se corresponde con un desequilibrio de la tensión de entre el 1 y el 2 %.		

Incluso un pequeño desequilibrio de la tensión produce un gran desequilibrio de la corriente. Este desequilibrio, a su vez, causa una distribución desigual del calor en los bobinados del estátor, que origina puntos calientes y sobrecalentamiento localizado. Los resultados clave se ilustran gráficamente a continuación.

Desequilibrio de la corriente

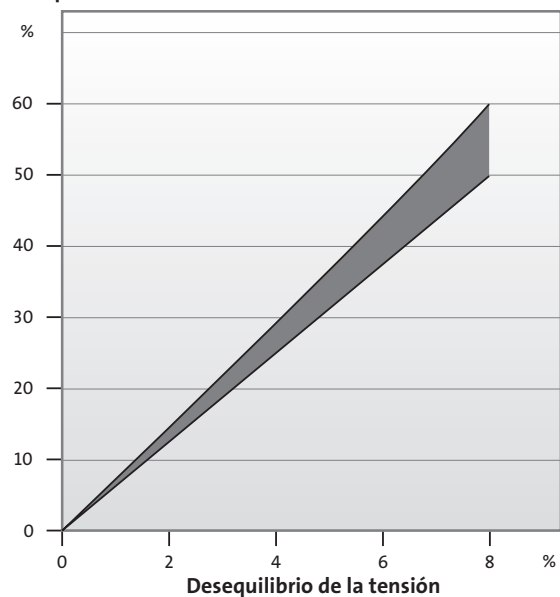


Figura 48: relación entre el desequilibrio de la tensión y el de la corriente

Incremento en la temperatura del bobinado en la fase más caliente

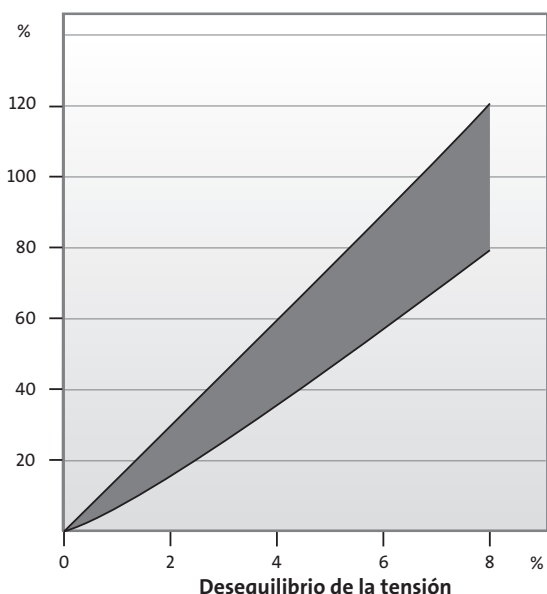


Figura 49: relación entre el desequilibrio de la tensión y la temperatura

El desequilibrio de la corriente puede estar originado por la colocación de los cables de descenso. Cuando se utilicen cables forrados no se prevé la aparición de ningún problema. Si se usan cables de un hilo, se recomienda colocar siempre los conductores trifásicos en un lado de la tubería ascendente y el cable del hilo de tierra en el lado diagonalmente opuesto.

Transitorios de tensión y rayos

Se supone que las líneas eléctricas proporcionan ondas de forma sinusoidal en las tres fases. Las ondas sinusoidales generadas en la central eléctrica se añaden a los transitorios en el sistema de distribución.

Fuentes de transitorios:

1. Variadores de frecuencia sin filtros
2. Sistemas de arranque suave
3. Contactores para conmutar grandes maquinarias
4. Condensadores para máquinas de proceso
5. Rayos

1. Variadores de frecuencia sin filtros

Los variadores de frecuencia modernos con filtro de salida pueden protegerse para que no produzcan picos de tensión por encima de 850 V conectados a cables de hasta 100 m entre el variador de frecuencia y el motor. Esta forma de actuar es totalmente válida y cualquier motor Grundfos con una potencia y refrigeración

correctas disfrutará de una vida útil aceptable. Los variadores de frecuencia con modulación por ancho de pulsos (PWM, por sus siglas en inglés) sin filtro LC o RC generan una tensión de salida que difiere considerablemente de la curva sinusoidal idónea, con transitorios de 600 V sobre 400 V de red y un DU/dt de 2000-2400 V/ μ s, medido en una longitud de cable de 1 m, en función del fabricante. Estos transitorios se incrementarán al aumentar la longitud del cable entre el variador de frecuencia y el motor. Con 200 m, por ejemplo, las corrientes transitorias se duplicarán en el enchufe del cable del motor; es decir, U_{pico} equivaldrá a 1200 V y el dU/dt será de 1200 V/ μ s (sobre 400 V de red). El resultado será la reducción de la vida útil del motor. En consecuencia, los variadores de frecuencia deberán contener al menos un filtro RC para garantizar la vida útil óptima del motor.

2. Un **dispositivo de arranque suave** conectado absorberá las corrientes no sinusoidales e incrementará algo el ruido en la red eléctrica. Esto no tiene prácticamente importancia con tiempos de aceleración y deceleración cortos, y no entra en conflicto con las normas relativas al ruido en la red. Si el tiempo de arranque es superior a tres segundos, los transitorios no sinusoidales recalentarán los bobinados del motor y, por consiguiente, afectarán a su vida útil.
3. La conexión de arranque DOL o en estrella-triángulo para **máquinas grandes** puede generar chispas e introducir transitorios considerables en la red cuando los contactores se abran. Estos picos pueden dañar el motor sumergible.
4. La compensación de fase de las plantas de proceso puede contener complicados controles con numerosos **condensadores** de gran tamaño que introduzcan picos transitorios en la red. Estos picos pueden ser perjudiciales para los motores sumergibles.
5. El impacto fuerte de un **rayo** directamente en la instalación de un pozo, o sobre un dispositivo de arranque o de alimentación, por lo general, destruirá todos los organismos vivos y la propia instalación. Los transitorios resultantes de dicho rayo serán de, al menos, entre 20 y 100 kV, generándose el calor suficiente como para derretir los materiales de aislamiento. El impacto de un rayo sobre una red de alta tensión generará transitorios que serán parcialmente absorbidos por los pararrayos existentes el sistema de la red. La función de un pararrayos es enviar la sobretensión a

tierra. Si un rayo impacta directamente sobre una red de baja tensión, existe el riesgo de que se generen corrientes transitorias de, al menos, entre 10 y 20 kV en el dispositivo de arranque del motor de la bomba. Si el arrancador y el motor no están debidamente protegidos por un pararrayos y una toma de tierra, la instalación puede resultar dañada, ya que está instalada en agua subterránea conductora de electricidad, que es la mejor toma de tierra existente.

Los daños producidos en los motores sumergibles a causa de los rayos pueden darse tanto a través del suministro eléctrico de los cables aéreos como de los subterráneos. En zonas donde los relámpagos sean habituales, la mejor protección, tanto para el dispositivo de arranque como para el motor sumergible, consiste en instalar pararrayos en el lado de descarga del interruptor principal del dispositivo de arranque; estos se conectarán a barras de puesta a tierra o, de ser posible, a la tubería ascendente principal del pozo, si es de acero.

En la boca del pozo, los pararrayos deben instalarse en el lado de salida del interruptor de aislamiento, conectado a tierra por medio de la tubería ascendente principal y el encofrado del pozo si este es de acero. En las instalaciones profundas, los pararrayos también pueden instalarse en el cable del motor, puesto que los transitorios duplican la tensión en los cables de descenso de 200 m. Pero, en general, los pararrayos deben colocarse de modo que su funcionamiento pueda comprobarse mediante mediciones periódicas de la resistencia del aislamiento, ya que se desgastan cuando están expuestos a rayos muy intensos. Si la alimentación eléctrica sufre transitorios generados por rayos intensos, póngase en contacto con la compañía eléctrica para que comprueben sus pararrayos en la estación transformadora.

Si un sistema ha sido expuesto a los rayos, deberían comprobarse a fondo todos los componentes del reóstato de arranque. Es posible que el contactor se haya quemado en una fase, lo que puede causar desequilibrios de tensión y corriente en el motor. El contactor o el relé térmico pueden estar quemados en varias fases, lo que puede producir situaciones tanto de subtensión como de desequilibrio. El relé térmico puede estar quemado, lo que implica que no puede activarse ni, por tanto, proteger los bobinados del motor. Solo algunos de los motores dañados por rayos quedan destruidos por el propio impacto; el resto se averían por sus consecuencias. Los motores sumergibles Grundfos de tipo MS 402 tienen un nivel de aislamiento de hasta 15 kV.





INSTALACIÓN Y FUNCIONAMIENTO



7.1 POZOS Y SUS CONDICIONES

Un pozo es un orificio que va desde la superficie de la tierra hasta el acuífero subterráneo, en el que se encuentra el agua subterránea. La profundidad del pozo puede variar desde unos cuantos metros hasta varios cientos.

Los pozos se excavan, generalmente, utilizando un equipamiento de perforación especializado capaz de penetrar a través de las diversas capas del suelo, tales como arena, arcilla, lechos de roca, etc. En el interior del agujero perforado se instala normalmente un encofrado (tubería), que evita que el pozo se derrumbe alrededor de la bomba.

Debajo del encofrado, alineado con el acuífero, se encuentra otro “encofrado” con ranuras finas. Se trata del filtro o pantalla del pozo, cuyas ranuras permiten que el agua se introduzca en él y evitan la entrada de arena y partículas más grandes. Consulte la figura 50.

Para mejorar la función de filtrado, el orificio perforado generalmente tiene un diámetro aproximadamente entre 5 y 7,5 centímetros más grande que el encofrado. Entre dicho encofrado y el acuífero se coloca un filtro de empaque de grava o arena fina, tal como se muestra en la figura 45. Algunos encofrados incluyen un filtro de empaque de grava prefabricado. Si se hace correctamente, este método de filtrado evita la entrada de arena y cieno en el pozo.

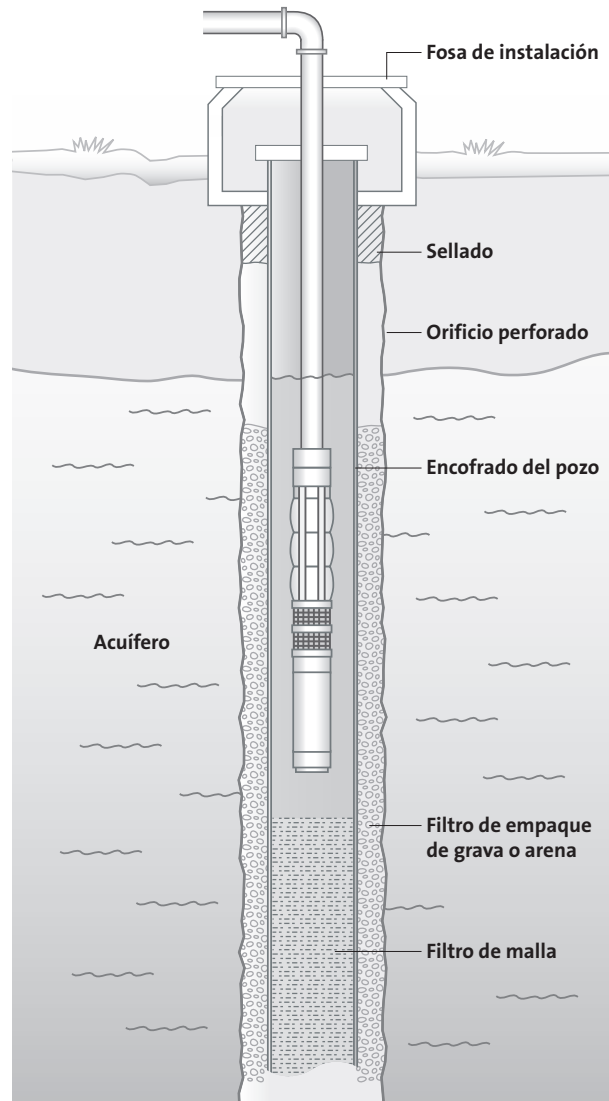


Figura 50: componentes típicos de un pozo de agua subterránea

Las recomendaciones sobre el contenido de arena varían de un país a otro.

La Asociación Nacional de Aguas Subterráneas de EE. UU. (NGWA, por sus siglas en inglés) recomienda los siguientes límites de arena en las aguas de pozo:

1. 10 mg/l in en agua usada para el procesamiento de alimentos y bebidas.
2. 50 mg/l en agua para uso doméstico, instituciones e industrias.
3. 10 mg/l en agua para riego con aspersores, enfriamiento industrial por evaporación y otras aplicaciones en las que un contenido moderado de sólidos no resulte particularmente dañino.
4. 15 mg/l en agua para riego por inundación.

Si la concentración de arena supera los 15 mg/l, se retirará tanto material del pozo que es posible que el acuífero y los estratos situados sobre este se derrumben y, por lo tanto, reduzcan la vida del pozo.

Grundfos permite un contenido de arena de entre 50 mg/l y 150 mg/l en función de la bomba. Con un contenido de 50 mg/l, la eficiencia de la bomba y su vida útil se mantendrán a un nivel aceptable hasta un máximo de 25.000-35.000 horas de funcionamiento, lo que equivale aproximadamente a 4 años de servicio durante 8 horas al día.

Si el agua del pozo tiene un contenido de arena superior a 50 mg/l, existe una bomba y motor especiales, disponibles previa solicitud.

Antes de que el pozo pueda entrar en servicio, este debe desarrollarse. Un pozo nuevo siempre generará algo de arena y cieno al principio; el desarrollo de un pozo nuevo consiste en el proceso de bombear hasta eliminar toda la arena y el cieno. Esta operación se realiza mediante un bombeo con un caudal muy alto, que arrastra las partículas finas del acuífero hacia el filtro del pozo. Poco a poco, este sistema hace que el filtro resulte más efectivo. Después de aproximadamente un día de bombeo el pozo suele quedar limpio, momento en el que estará listo para su funcionamiento normal.

La bomba usada para el desarrollo del pozo se desgasta con relativa rapidez debido al alto contenido de arena y, por lo tanto, deberá sustituirse siempre por una bomba nueva tan pronto como el pozo deje de extraer arena.

La bomba debe estar instalada siempre por encima de la zona de filtro del encofrado. De este modo se asegura de obligar al agua a pasar a través del motor, proporcionando una refrigeración adecuada. Si la bomba no puede instalarse por encima del filtro de pantalla, se recomienda siempre una camisa de refrigeración para crear el caudal necesario en torno al motor para su correcta refrigeración. Consulte el capítulo 10.

7.2 UBICACIÓN DE LA BOMBA

Se entiende por ubicación de la bomba a la profundidad bajo tierra a la que se ha instalado. Esta debe tener capacidad para levantar el agua desde el acuífero hasta la superficie y proporcionar una presión mínima determinada.

Cuando la bomba esté instalada, siempre se deberá conocer el descenso del nivel del agua y su nivel dinámico. Mientras esté funcionando, el agua no debe descender nunca por debajo de la entrada de la bomba. El riesgo de cavitación es normalmente muy bajo en las bombas sumergibles. No obstante, debe comprobarse siempre el valor NPSH de cada bomba específica en su punto de trabajo.

Inmersión mínima de la entrada de la bomba en metros:
NPSH (m) – 10 (m).

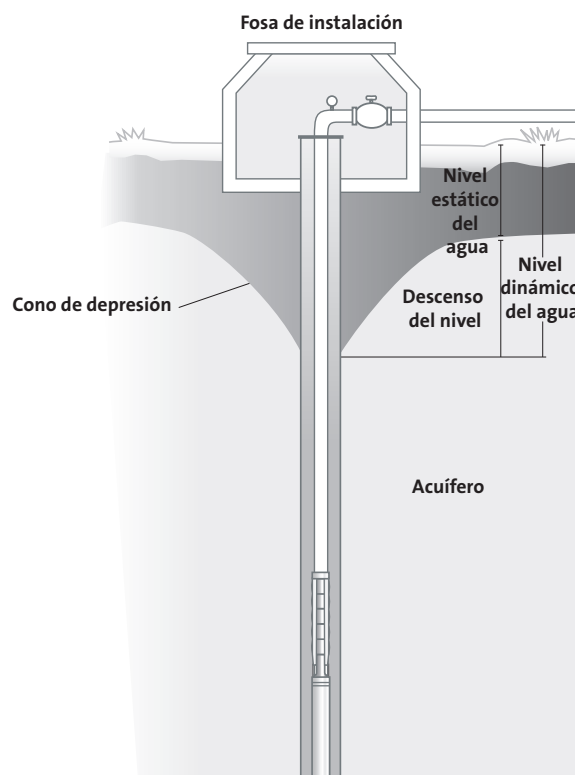


Figura 51: nivel estático y dinámico del agua

7.3 SELECCIÓN DE LA BOMBA Y EL MOTOR

Consulte el capítulo 4 para conocer los aspectos relativos al dimensionamiento y selección de las bombas sumergibles.

7.3.1 Punto de trabajo

El punto de trabajo de la bomba es el caudal para el que se obtiene su eficiencia óptima. La bomba deberá seleccionarse de modo que el caudal requerido quede lo más próximo posible al punto de trabajo o ligeramente a su derecha.



7.3.2 Diámetro del pozo

En general, cuanto mayor sea el diámetro de la bomba, mayor será su eficiencia.

No obstante, debe ser posible introducir la bomba en el pozo y, por lo tanto, siempre deberá existir un espacio mínimo determinado entre la superficie del motor y el diámetro interno de aquel.

En un pozo correctamente diseñado, con un filtro por debajo de la bomba y el motor, el agua deberá atravesar el espacio libre entre el encofrado y el motor. Esto originará pérdidas por fricción.

Si, al mismo tiempo, el motor tiene una posición excéntrica en el pozo, con un lado contra el encofrado, la entrada unilateral de agua a la bomba creará turbulencias y afectará a su rendimiento.

La figura 52 muestra las pérdidas por fricción para un espacio de entre 4 y 16 mm en un pozo de 6" y la figura 53 muestra lo mismo para un pozo de 8".

Tanto la turbulencia como las pérdidas por fricción acarrearán un rendimiento inferior al esperado, pudiendo en algunos casos llegar a ser extremo.

En los pozos con la zona del filtro situada por encima de la bomba, el agua tiene que atravesar el espacio entre la bomba y el encofrado, lo que causará pérdidas por fricción.

Si, al mismo tiempo, la bomba está situada en una posición excéntrica, contra el encofrado, se restringirá el caudal entrante a la mitad del interconector de aspiración. Este giro de 180 grados unilateral del agua creará turbulencias en la entrada de la bomba que afectarán a su funcionamiento.

En la figura 54 se muestra el peor caso de turbulencia y pérdidas por fricción en bombas de 6" en pozos de 6" de diferentes diámetros.

En la figura 55 se muestra el peor caso de turbulencia y pérdidas por fricción en bombas de 8" en pozos de 8" de diferentes diámetros.

La turbulencia y la fricción se pueden considerar como una disminución del rendimiento de la bomba.

7.3.3 Rendimiento del pozo

Muchas bombas tienen capacidad para bombear el pozo en exceso, lo que significa que se secará en un corto período de tiempo. La bomba deberá seleccionarse respetando la capacidad del pozo para evitar el bombeo excesivo. Por lo tanto, se recomienda realizar un control del nivel freático.

Pueden surgir numerosos problemas como resultado de un bombeo excesivo:

- Funcionamiento en seco y daños en la bomba
- Infiltración de agua no potable, es decir, agua marina
- Reacciones químicas en el pozo cuando el oxígeno entra en contacto con el acuífero seco

Un descenso excesivo del nivel también da lugar a un incremento en el consumo energético, puesto que debe compensarse mediante un empuje adicional de la bomba.

7.3.4 Eficiencia de la bomba

Todas las bombas alcanzan su eficiencia máxima en un margen de caudal relativamente estrecho. Este margen se utiliza normalmente como criterio para seleccionar la bomba. La bomba SP 46 de Grundfos alcanza su rendimiento máximo con un caudal de 46 m³/h o cercano a él; del mismo modo, la SP 60 lo hace alrededor de 60 m³/h, y así sucesivamente para las demás bombas SP.

Si el requisito del caudal se encuentra a medio camino de las especificaciones de dos modelos, por ejemplo, 66 m³/h, podría usarse tanto una SP 60 como una SP 77 con el mismo grado de eficiencia. Como consecuencia, entran en juego algunos de los demás criterios:

- Diámetro del pozo (consulte el capítulo 7.3.2)
- Rendimiento del pozo (consulte el capítulo 7.3.3)
- Capacidad libre

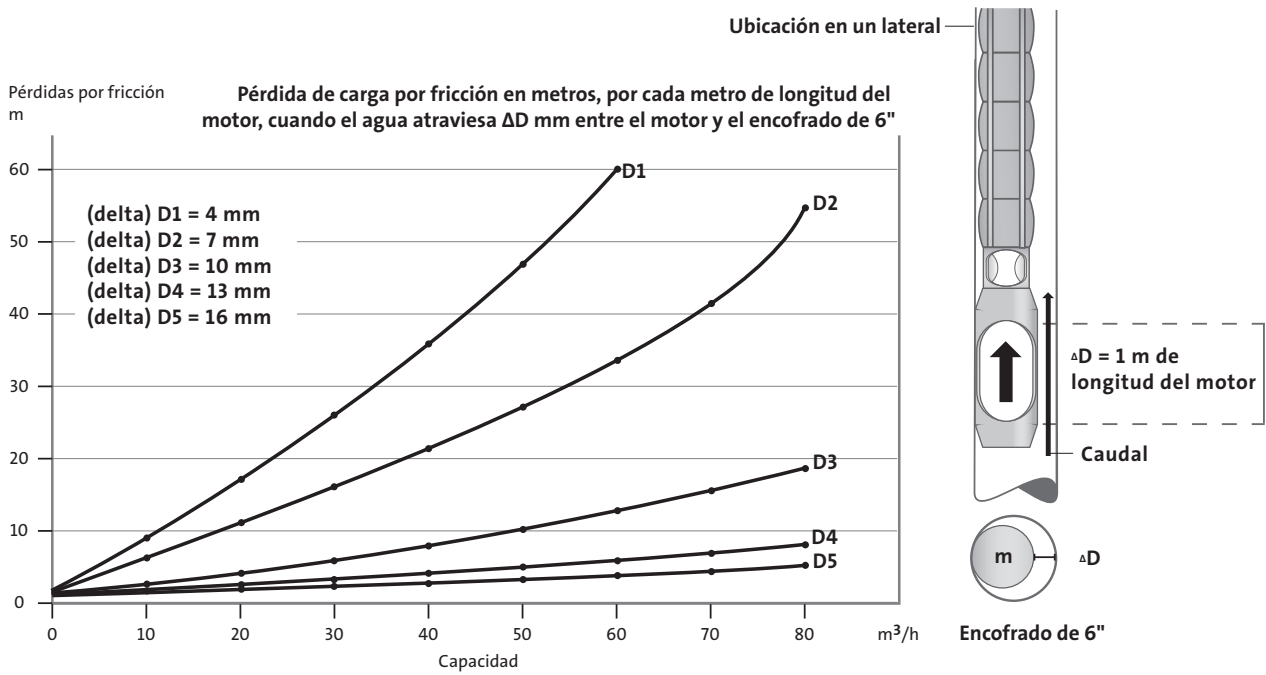


Figura 52: pérdidas por fricción, 6"

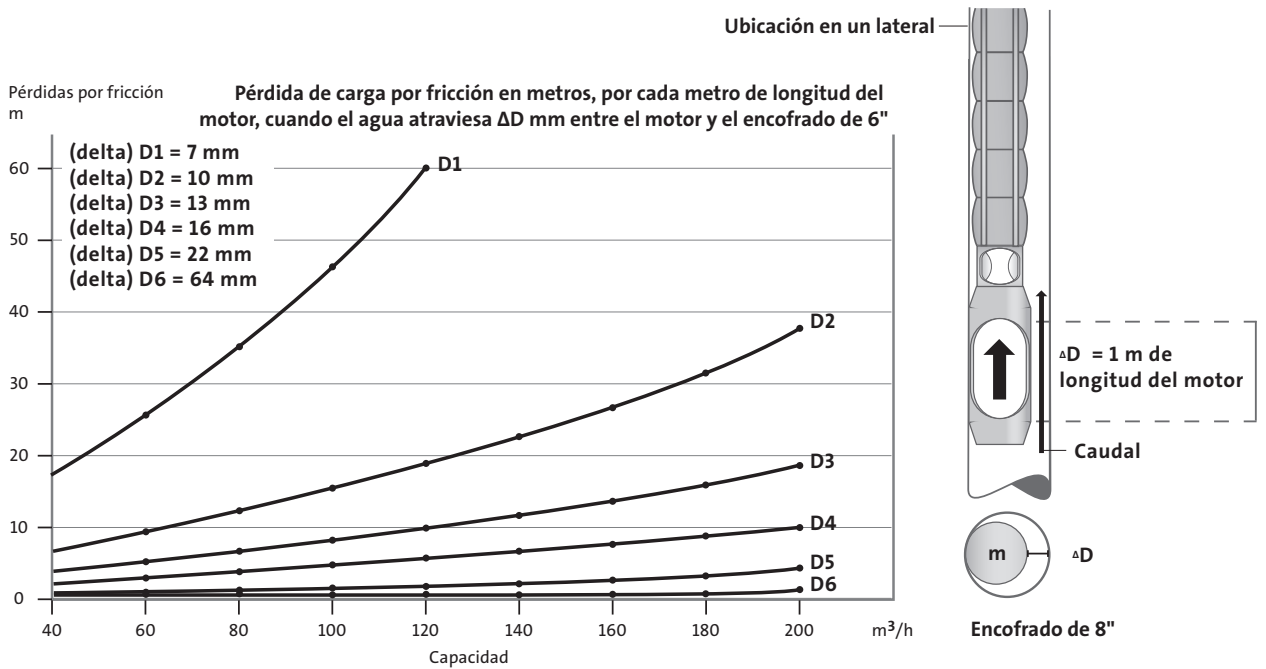


Figura 53: pérdidas por fricción, 8"

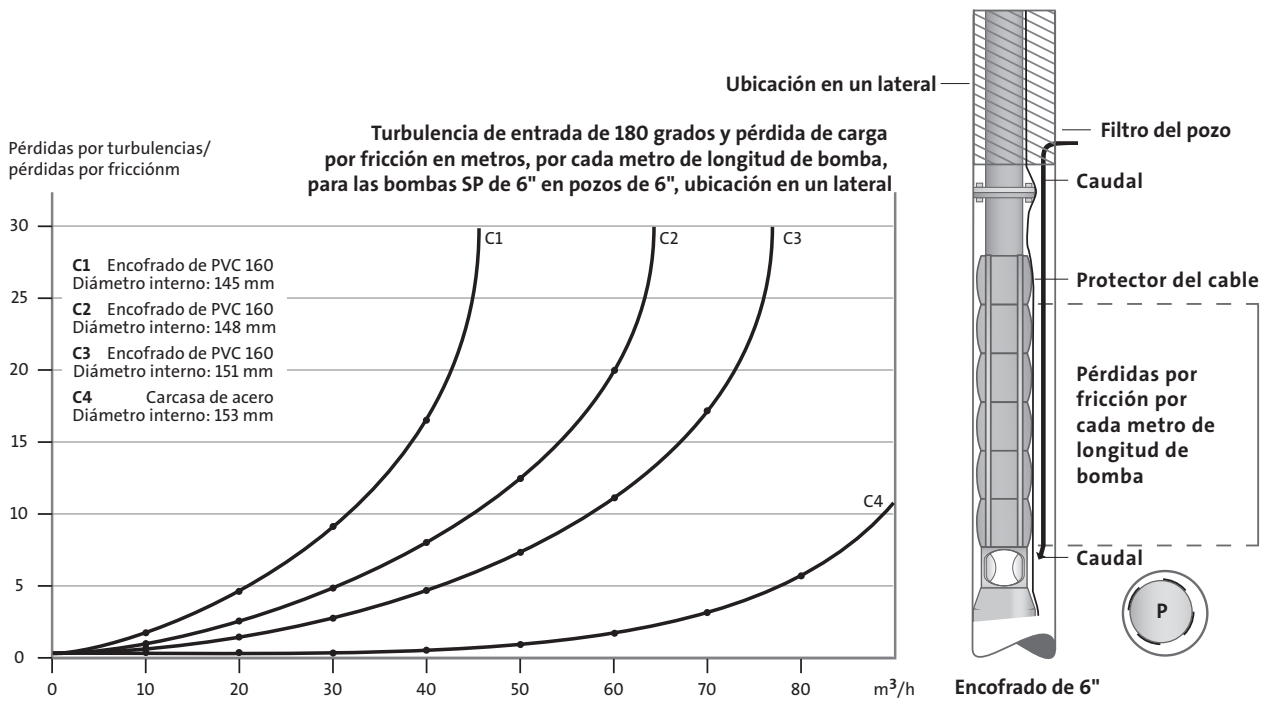


Figura 54: giro de 180°, 6"

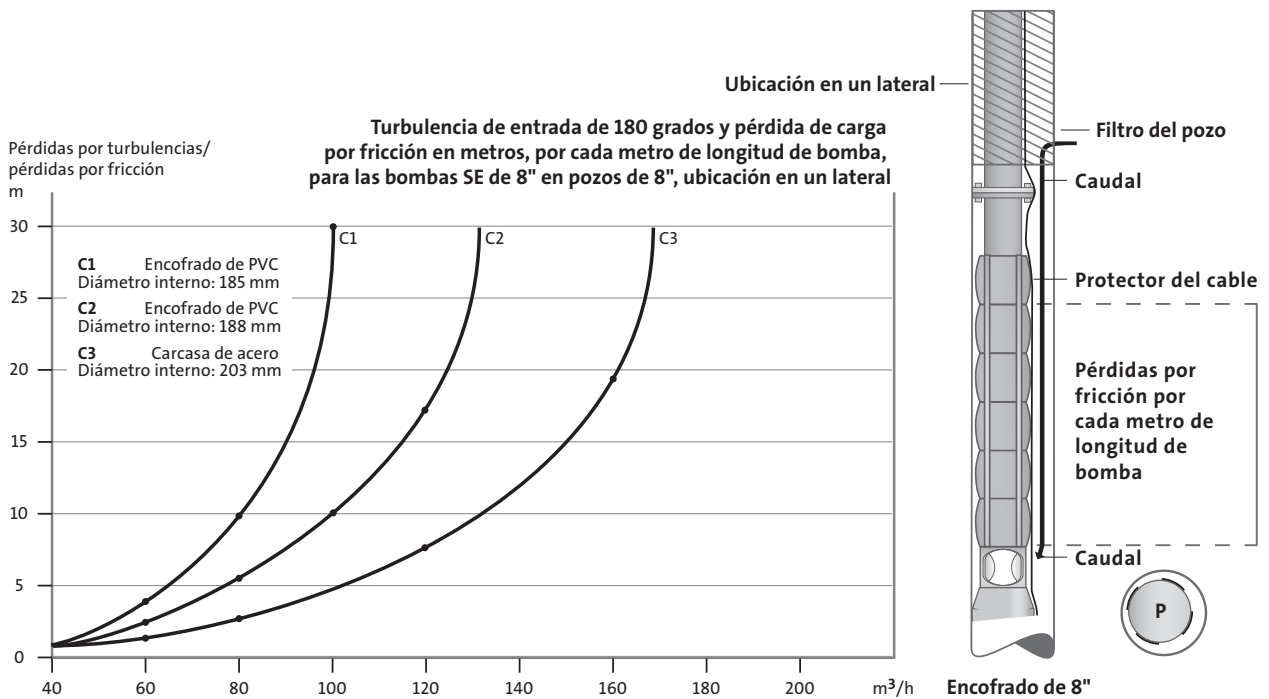


Figura 55: giro de 180°, 8"

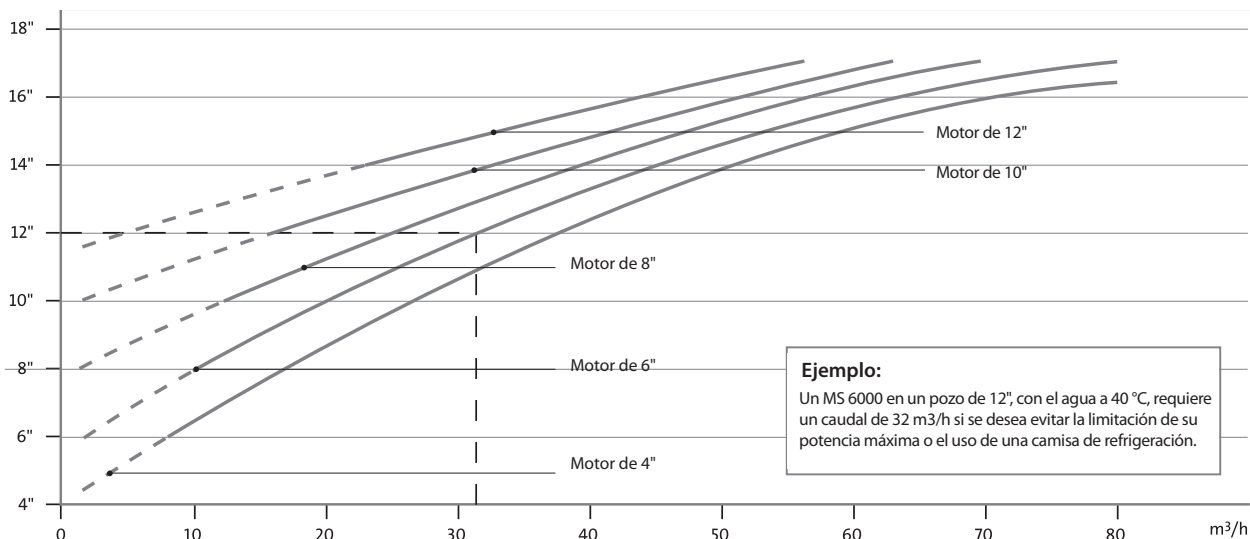


Figura 56: temperatura máxima del agua de refrigeración a carga completa

7.3.5 Temperatura del agua

El factor condicionante es el motor sumergible y su refrigeración. La refrigeración es la clave para una vida útil prolongada del motor.

Los motores sumergibles instalados a la temperatura máxima aceptable del agua deben refrigerarse con un caudal de, al menos, 0,15 m/s, lo que asegura un caudal turbulento. Esta velocidad se garantiza al impedir que el caudal de la bomba caiga por debajo de un valor mínimo determinado. Consulte la figura 56.

En los pozos o tanques de gran diámetro, puede que sea necesario emplear una camisa de caudal para incrementarlo en torno al motor hasta un mínimo de 0,15 m/s. Consulte también el capítulo 10.

En el diagrama mostrado a continuación, se asume que el motor está situado por encima de la ubicación del filtro.

Temperatura máxima del agua:

Motor Grundfos	Velocidad caudal en torno al motor [m/s]	Temperatura máx. líquido [°C]
MS 4" T40	0,15	40
MS 4" T60	0,15	60
MS 6000 T40	0,15	40
MS 6000 T60	1,00	60
MMS 6" con bobinados de PVC	0,15	25
	0,50	30
MMS 6" con bobinados de PE/PA	0,15	45
	0,50	50
MMS 8", 10", 12" rebobinables con bobinados de PVC	0,15	25
	0,50	30
MMS 8", 10", 12" rebobinables con bobinados de PE/PA	0,15	40
	0,50	45

Nota: Para los motores MMS 6" de 37 kW, MMS 8" de 110 kW y MMS 10" de 170 kW, la temperatura máxima del líquido es 5 °C inferior a los valores indicados en la tabla. Para los motores MMS 10" de 190 kW la temperatura es 10 °C inferior.

Temperaturas del agua por encima del límite establecido

Los motores MS 402 de Grundfos no deben usarse en líquidos que superen los 30 °C. Los motores MS 4000 y MS 6000 pueden funcionar en líquidos a temperaturas superiores al límite establecido (40 °C) si el motor tiene su potencia máxima limitada (véase la figura 57 en el capítulo 7.3.6).

Sin embargo, en general, este hecho reducirá la vida útil del motor. Es imposible afirmar exactamente en cuánto tiempo, ya que esto depende de otros varios parámetros, como son el suministro de tensión, la carga del motor, las condiciones de refrigeración del motor, etc. No obstante, si se siguen las recomendaciones de



este manual, se debería obtener un tiempo de vida útil aceptable. En estos casos, recomendamos realizar cada tres años un mantenimiento de la bomba y sustituir todas las piezas de goma para mantener una eficiencia constante y garantizar una vida útil normal.

En un funcionamiento por encima del límite de la temperatura, deberán acordarse siempre los aspectos que afectan a la garantía. No se otorgará ninguna garantía sin limitar la potencia máxima del motor e instalar un MP 204 como protección.

7.3.6 Reducción de la potencia máxima de los motores sumergibles

Multiplique el tamaño del motor (P2) por el factor de limitación de la potencia máxima. Esta operación proporciona la potencia máxima limitada del motor P2, que es la carga máxima que se puede aplicar sobre él. En muchos casos, esto proporciona un motor cuyo tamaño es el siguiente al inicialmente calculado.

Factores para la limitación de la potencia máxima

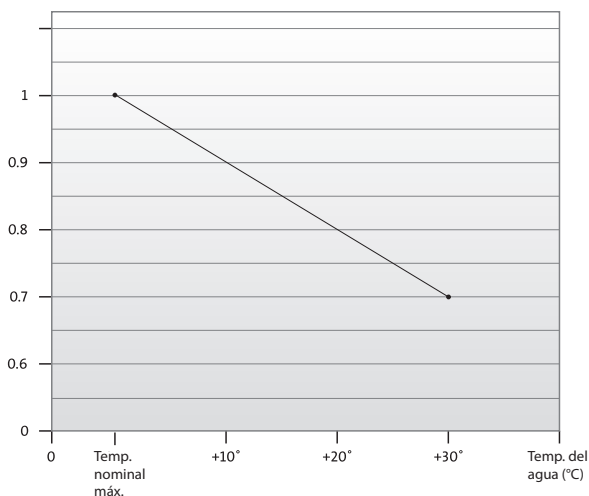


Figura 57: reducción de la potencia máxima de los motores sumergibles

Ejemplo:

Un MS 6000 con una potencia nominal máxima estándar, P2 = 30 kW, es capaz de producir 30 x 0,9 = 27 kW en agua caliente a 50 °C con un caudal de refrigeración de 0,15 m/s. El motor sumergible debe instalarse a la profundidad recomendada.

Tenga en cuenta que no se recomienda limitar la potencia máxima del MS 4000 T60 y del MS 6000 T60.

7.3.7 Protección contra la ebullición

Para proteger el motor contra la ebullición tras la parada de la bomba y, en consecuencia, tras la parada del agua de refrigeración, debe instalarse 5 m por debajo del nivel dinámico del agua. De esta manera, se incrementará el punto de ebullición.

Profundidad de instalación

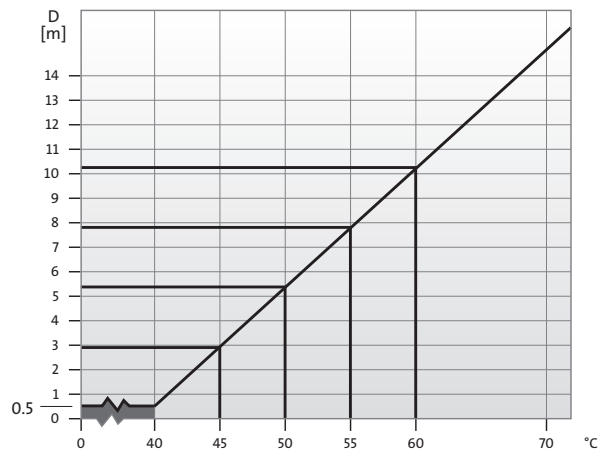


Figura 58: temperatura del agua/profundidad de instalación requeridas para el MS 4000 y el MS 6000

Para el MS 4000 y el MS 6000, la mejor protección, y la más simple, contra la sobrecarga y las temperaturas excesivas consiste en medir la temperatura del motor mediante un MP 204. En otros motores sumergibles, puede usarse un Pt 100/Pt 1000 para controlar la temperatura.

7.3.8 Refrigeración de la camisa

El caudal mínimo a través del motor debe ser de 0,15 m/s para garantizar su refrigeración adecuada.

Si este caudal mínimo no puede obtenerse de modo natural, Grundfos ofrece una gama de camisas de refrigeración, de fácil empleo, que garantizan un caudal y una refrigeración correctos. Las camisas de caudal suelen usarse cuando la bomba está instalada en un depósito o tanque, o en un pozo donde el agua fluya hasta la bomba desde arriba y, por lo tanto, no refrigere el motor. Debe existir un espacio razonable entre el encofrado y el diámetro externo para limitar la caída de presión.

El espacio mínimo recomendado entre el encofrado y la camisa de caudal puede calcularse a partir de la fórmula mostrada a continuación:

$$v = \frac{Q \times 354}{(D^2 - d^2)}$$

$v =$ m/s (debe ser máx. 3 m/s para limitar la pérdida de altura)

$Q =$ m³/h

$D =$ Diámetro interno del encofrado en mm

$d =$ Diámetro externo de la camisa de caudal en mm

1. Si el agua del pozo contiene grandes cantidades de hierro (y bacterias del hierro), manganeso y cal, estas sustancias se oxidarán y se depositarán en la superficie del motor. Esta reacción genera una temperatura entre 5 y 15 °C superior a la del agua entrante. En caso de un caudal lento en torno al motor, la acumulación de esta capa aislante del calor consistente en minerales y metales oxidados puede dar lugar a puntos calientes en el aislamiento del bobinado del motor. Este incremento de la temperatura puede alcanzar valores que reducirán la capacidad aislante y, en consecuencia, la vida útil del motor. Una camisa de refrigeración siempre proporciona un caudal turbulento en torno al motor. Un caudal turbulento ofrece una refrigeración ideal, independientemente de la naturaleza de los depósitos.

2. Si el agua subterránea es agresiva o contiene cloruro, la velocidad de corrosión se duplicará por cada aumento de 15 °C en la temperatura del agua. Por lo tanto, una camisa de refrigeración reducirá el riesgo de corrosión del motor.

3. En la parte superior del pozo, habrá agua bruta oxidada. Cada vez que el motor arranque, el nivel del agua del pozo bajará. Esta acción introducirá oxígeno nuevo en el pozo. Esta oxidación de las capas superiores es inofensiva salvo que el oxígeno alcance el filtro. Si el agua bruta con un bajo contenido de oxígeno que entra a través del filtro se mezcla con el agua que contiene nuevo oxígeno, el hierro, el manganeso y la cal se oxidarán y se depositarán en las ranuras del filtro. De esta manera, se reducirá la eficiencia y, por consiguiente, la capacidad del pozo. Cuando se apague un motor sumergible caliente que carezca de camisa de refrigeración el agua se calentará a su alrededor.

El efecto térmico hará que el agua caliente se desplace hacia la parte superior del pozo. Al mismo tiempo, el agua oxidada se desplazará hacia la ubicación del filtro. Al usar una camisa de refrigeración, el motor funcionará

a una temperatura más baja y, cuando se detenga, la camisa de refrigeración absorberá su calor residual y, por consiguiente, evitará que el agua se desplace hacia arriba como resultado del efecto térmico y que, a su vez, el agua oxidada se desplace hacia abajo. Este hecho contribuirá a prolongar los periodos entre cada limpieza de cal realizada en el pozo.

En estas aplicaciones debe considerarse el riesgo de calentamiento localizado, particularmente en las instalaciones horizontales y cuando existan varias bombas instaladas unas junto a otras. En tales casos, deberán usarse siempre camisas de refrigeración.

7.4 ELECCIÓN DE LA TUBERÍA ASCENDENTE

La elección de la tubería ascendente principal depende de varios factores diferentes:

- Presión de descarga y profundidad de la instalación
- Agresividad del agua subterránea
- Pérdidas por fricción/costes de funcionamiento
- Accesibilidad y coste de otras alternativas
- Prioridad de los costes iniciales en relación con los costes de mantenimiento y reparación en fases posteriores

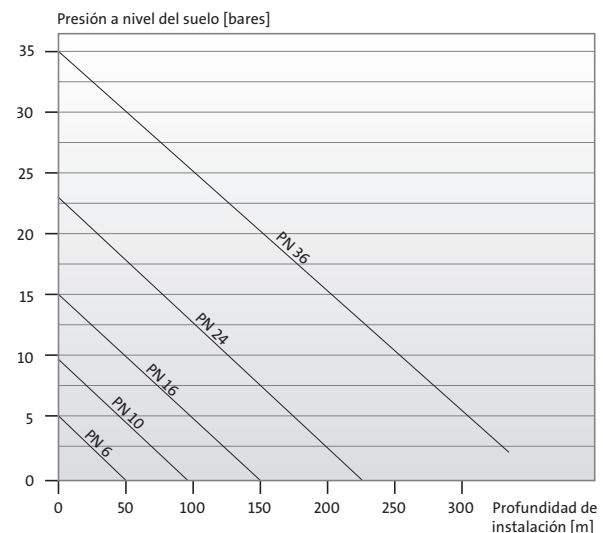


Figura 59: clase de presión requerida por la tubería en diferentes profundidades de instalación y presión real a nivel del suelo

La agresividad de la mayoría de las aguas subterráneas es tan moderada que el empleo de tuberías de acero galvanizado o recubierto es completamente aceptable. Las tuberías ascendentes PEL o PEM se usan fundamentalmente en aplicaciones domésticas. En el



caso de agua que sea tan agresiva que ataque incluso al mejor de los aceros inoxidable, deben instalarse ánodos de cinc reemplazables para proteger el motor y la bomba. En estas instalaciones, resultará demasiado costoso proteger contra la corrosión una tubería ascendente principal de acero inoxidable.

En tales casos, se recomienda el uso del Wellmaster (consulte el capítulo 10).

Pérdidas por fricción en la tubería ascendente principal

Las pérdidas por fricción en tuberías o mangueras contribuye significativamente al consumo energético de una bomba sumergible. Una tubería de acero de diámetro reducido resulta atractiva desde el punto de vista de los costes, pero crea mucha fricción interna y, con el tiempo, esta no hará más que aumentar. El resultado es un consumo energético y unos costes más elevados.

Una tubería de acero inoxidable de mayor diámetro supone una mayor inversión, pero la menor pérdida de carga por rozamiento requiere una menor energía de bombeo. Su superficie interna se mantiene suave con más facilidad, lo que requiere un menor mantenimiento para su limpieza.

Ejemplo:

El caudal es de 54 m³/h, o 15 l/s.

Las pérdidas por fricción en 100 m de una tubería de 3" y en 100 m de otra tubería de 4" se calculan a partir de una tabla de pérdidas por fricción.

Tubería de 3": 14 m
Tubería de 4": 3,8 m

La elección de una tubería de 4" en lugar de una de 3" ahorra más de 10 m de altura por cada 100 m de tubería. El ahorro de energía se calcula del siguiente modo:

$$\text{kWh} = \frac{Q \times H}{367 \times \eta} = \frac{54 \times 10,2}{367 \times 0,6} = 2,45 \text{ kWh}$$

Las mangueras flexibles diseñadas especialmente para agua a presión, como las Wellmaster, son una alternativa a las tuberías de acero inoxidable. Algunos tipos también están homologados para su uso con agua potable.

En general, esta solución suele ser recomendable como tubería ascendente para las bombas sumergibles.

Debido al diseño de la manguera, su diámetro se expandirá ligeramente cuando se encuentre bajo presión, lo que reducirá las pérdidas por fricción. Al mismo tiempo, evita la acumulación de cal en la superficie, ya que el cambio constante del diámetro fuerza el desprendimiento de la cal.

Además, la solución de la manguera acelera la extracción de la bomba en comparación con la solución de tubería tradicional y, por tanto, se recomienda también cuando se requieren extracciones frecuentes con fines de mantenimiento.

No utilice nunca mangueras contra incendios, mangueras de nailon o similares, puesto que envejecen rápidamente y no poseen la gama de presiones necesarias. Existe el riesgo de que la bomba y el motor caigan dentro del pozo, lo que obligará a la perforación de un pozo nuevo. Recuerde acoplar un cable a todas las instalaciones de manguera para evitar que la bomba caiga dentro del pozo.

La desventaja de las soluciones basadas en una manguera flexible es que, en ocasiones, resulta difícil evitar que las mangueras entren en contacto con el suelo. Esto puede causar su contaminación por bacterias y gérmenes, los cuales no pueden eliminarse salvo que se utilice un costoso equipamiento especial. Al calcular el tamaño de las tuberías ascendentes principales y de las tuberías de aguas brutas mediante diagramas o programas informáticos, deberá emplear una rugosidad superficial de la tubería de 1 mm.

7.5 ELECCIÓN DE CABLES Y TAMAÑOS

El cable de descenso es el que baja desde la boca del pozo hasta el cable conectado al motor sumergible.

En general, los cables de descenso tienen cuatro hilos, uno de los cuales es un conductor de puesta a tierra. En algunas zonas, el hilo de puesta a tierra no es necesario. Compruebe siempre la legislación local relativa a la protección de puesta a tierra antes de seleccionar el tipo de cable.

Otros criterios que intervienen en la elección del cable de descenso son:

1. Capacidad de transporte de corriente
2. Caída de tensión
3. Temperatura y calidad del agua
4. Requisitos para la homologación del agua potable
5. Normativa

Capacidad de transporte de corriente

El cable de descenso de la bomba sumergible nunca se dimensiona para la corriente de arranque, ya que este se produce en menos de una décima de segundo. Deberá basarse siempre en la corriente a plena carga según se especifique en la placa de características. El cable de descenso no está sumergido en toda su longitud, por lo que es posible que necesite refrigeración adicional a la del agua.

Caída de tensión

El tamaño del cable debe ser tal que las caídas de tensión no excedan el 3 %. Bajo ninguna circunstancia la tensión en los terminales del motor debe ser inferior a la tensión mínima para el motor, que es la tensión nominal menos el 10 %.

La longitud máxima se calcula según las fórmulas que se muestran a continuación:

Longitud máxima del cable de una bomba sumergible monofásica:

$$L = \frac{U \times \Delta U}{I \times 2 \times 100 \times (\cos\varphi \times \frac{\rho}{q} + \sin\varphi \times XI)} \text{ [m]}$$

Longitud máxima del cable de una bomba sumergible trifásica:

$$L = \frac{U \times \Delta U}{I \times 1,73 \times 100 \times (\cos\varphi \times \frac{\rho}{q} + \sin\varphi \times XI)} \text{ [m]}$$

U = Tensión nominal [V]

ΔU = Caída de tensión [%]

I = Corriente nominal del motor [A]

ρ = Resistencia específica: 0,02 [mm²/m]

q = Sección transversal del cable de descenso sumergible [mm²]

XI = Resistencia inductiva: 0,078 x 10⁻³ [Ω/m]

Temperatura y calidad del agua

El mejor material para los cables en agua limpia es el EPR (EPM o EPDM). Este material tiene buenas propiedades eléctricas combinadas con una buena resistencia al agua. Este tipo de cable se recomienda siempre que el agua bombeada no se encuentre contaminada con hidrocarburos, puesto que el EPR ofrece una resistencia limitada a ellos.

En soluciones de hidrocarburos más ligeras se puede emplear cable de cloropreno.

En concentraciones más pesadas de hidrocarburos es posible que haya que usar un cable forrado de PTFE (teflón). La versión SPE de las bombas SP incluye como opción de serie un cable de motor de PTFE, lo que las hace aptas para bombear agua con un alto contenido de hidrocarburos.

Una solución más económica es un cable de cloropreno de tipo estándar. Puede solicitar las especificaciones técnicas a Grundfos.

Cuando la temperatura del agua aumente, deberá limitarse la capacidad máxima del cable. La capacidad de transporte de corriente de los cables de descenso suele ser válida a 30 °C. A temperaturas más elevadas, esta capacidad debe compensarse de acuerdo con la tabla mostrada a continuación.

Tipo de cable	TML-A-B	H07RN
Material de aislamiento	EPR	NR/SR
Temp. ambiente °C	Factor de corrección	Factor de corrección
10	1,18	1,29
15	1,14	1,22
20	1,10	1,15
25	1,05	1,05
30	1,00	1,00
35	0,95	0,91
40	0,89	0,82
45	0,84	0,71
50	0,77	0,58
55	0,71	0,41
60	0,63	-
65	0,55	-
70	0,45	-

Homologación del agua potable

Todos los motores Grundfos que salen de fábrica con destino a cualquier país, salvo Norteamérica y Japón, se entregan de fábrica con cables de motor homologados para agua potable. Además, si la bomba se usa para bombear agua potable, Grundfos recomienda siempre el empleo de un cable de descenso homologado para agua potable.

Normativa

Debe comprobarse y observarse siempre la normativa local.



7.6 MANEJO

7.6.1 Montaje de la bomba y el motor

Todas las bombas y los motores sumergibles Grundfos están fabricados de acuerdo con la normativa NEMA. Del mismo modo, son totalmente compatibles con las bombas y los motores que cumplan dicha normativa. Grundfos recomienda siempre usar bombas Grundfos solamente en conjunción con motores Grundfos y viceversa.

Para obtener instrucciones de montaje detalladas, consulte las instrucciones de instalación y funcionamiento específicas para las bombas SP.

7.6.2 Empalme o conexión del cable del motor al cable de descenso

Las uniones defectuosas o no homologadas de los cables son causa frecuente de que se quemen los motores. Deben elegirse productos recomendados por Grundfos, o de calidad similar, y seguirse las instrucciones del fabricante. Todas las uniones de cable deben ser impermeables y disponer de una resistencia de aislamiento de al menos 10 megaohmios, medidos en estado sumergido, una vez transcurridas 24 horas en el agua. Para obtener este dato, todas las partes del cable deben encontrarse completamente limpias y cumplirse los demás requisitos indicados en el manual de instalación y en los vídeos de mantenimiento correspondientes. Una unión de cables puede hacerse de cuatro maneras.

1. Tubo termorretráctil

Consiste en un tubo de plástico cuyo interior está recubierto con pegamento. Al exponerlo al calor, el tubo se encoge y el pegamento se funde, dando lugar a un empalme impermeable. La ventaja de este sistema es que es fácil de hacer, no requiere tiempo de secado, se puede usar inmediatamente tras su realización y proporciona una conexión segura. Grundfos recomienda este tipo de terminación de cable. La serie termorretráctil "KM" de Grundfos cubre todos los tipos de cable de motor para conectar a cables de descenso.

2. Resina

El sellado mediante resina es un tipo de unión antiguo. Este tipo de unión es difícil de realizar correctamente en instalaciones en agua templada y líquidos con una elevada conductividad. Grundfos recomienda, por tanto, el empleo de tubo termorretráctil.

3. Conexión por enchufe

Es importante no utilizar conjuntos o cinta para unión de cables con más de tres años de antigüedad. Este límite debe reducirse a un año si se almacena por encima de los 15 °C. Compruebe siempre la unión del cable durante el mantenimiento.

Enchufe del cable del motor

El enchufe del cable del motor debe estar siempre conectado al par indicado en la documentación. En caso de lubricarlo, se debe usar un material no conductor (por ejemplo, pasta de silicona). No deben reutilizarse enchufes con más de tres años de antigüedad, ya que podrían haber perdido la capacidad para crear una conexión segura y estanca.

7.6.3 Conexiones de las tuberías ascendentes

Las bombas sumergibles están disponibles tanto con roscas RP y NPT, así como con bridas de diversas normas.

No obstante, Grundfos recomienda instalar primero en la bomba una tubería de 50 cm de longitud. Esto facilita un manejo cómodo de la bomba durante su instalación, puesto que el conjunto no resulta demasiado largo. Asimismo, deja espacio para la abrazadera que sujeta la bomba hasta que se haya instalado la siguiente tubería.

Como alternativa a las conexiones roscadas, existen diversos tipos de bridas: bridas Grundfos, bridas JIS y bridas DIN.

Conexiones e instalación de las tuberías

Las bridas estándar de Grundfos han sido especialmente fabricadas para su instalación en pozos. Esto significa que no cumplen ninguna normativa nacional ni internacional; han sido dimensionadas para soportar las presiones de las bombas Grundfos.

El uso de las bridas estándar de Grundfos ofrece numerosas ventajas frente al empleo de otras bridas. No solo son más baratas, sino que, además, debido a su tamaño, son más fáciles de instalar en el pozo.

Grundfos puede proporcionar contrabridas para las bridas de Grundfos, las cuales pueden soldarse a la primera tubería.

7.7 BOMBAS FUNCIONANDO EN PARALELO

El bombeo en paralelo suele usarse frecuentemente con patrones de consumo variable. El funcionamiento con una sola bomba requeriría que esta fuera de alta capacidad, teniendo en cuenta que la capacidad libre solo se usaría durante un período de tiempo limitado. La inversión necesaria sería muy alta y el rendimiento operativo demasiado bajo. Es posible que los picos resulten en una disminución adicional del nivel dinámico del agua, dando lugar a una serie de problemas relacionados con la calidad del agua y del pozo. Estos problemas suelen evitarse aplicando una de las siguientes medidas:

1. Varias bombas más pequeñas funcionando en cascada (arranques y paradas de las bombas adicionales de acuerdo con los cambios en la demanda)
2. Control de la frecuencia de la bomba mediante un transductor de presión
3. Una combinación de las opciones 1 y 2

Para elegir la bomba correcta, se deberán conocer las características del pozo, bien a partir del registro del pozo o de un bombeo de prueba.

7.8 BOMBAS FUNCIONANDO EN SERIE

Cuando la profundidad de ubicación de la bomba sea mayor que la capacidad de altura máxima de una bomba SP estándar, la bomba podrá conectarse en serie con una bomba BM (una SP con camisa). Consulte la figura 60.

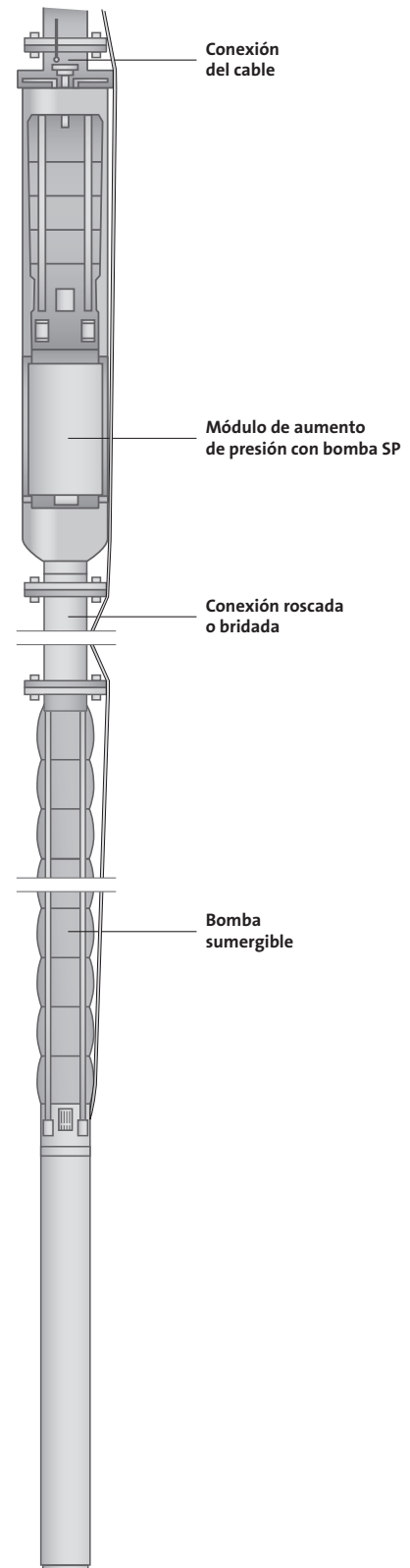


Figura 60: bomba sumergible conectada en serie



7.9 NÚMERO DE ARRANQUES Y PARADAS

Para obtener la máxima vida útil de las bombas sumergibles, debe limitarse el número de arranques. Generalmente, el factor condicionante suele ser el motor. También es necesario arrancar el motor al menos una vez al año para evitar que se gripe.

La tabla mostrada a continuación indica el número máximo de arranques recomendados para los diferentes tipos de motor:

Incluye las versiones N, R y RE	Mín. arranques por año	Máx. arranques por hora	Máx. arranques por día
MS 402	1	100	300
MS 4000	1	100	300
MS 6/MS 6000	1	30	300
MMS 6000	1	15	360
MMS 8000	1	10	240
MMS 10000	1	8	190
MMS 12000	1	5	120

7.10 ARRANQUE DE LA BOMBA

Para obtener información detallada sobre los métodos para reducir la corriente de arranque, consulte el capítulo 5.

Debe seguir siempre las instrucciones relativas al arranque incluidas en los manuales de instalación y funcionamiento de cada bomba.

En las bombas conectadas en serie, recuerde arrancarlas en la secuencia correcta: la bomba con la presión ambiente más baja debe arrancarse primero.

En las bombas que funcionen en paralelo, recuerde que el sistema ya lleva integradas las posibilidades de ventilación de aire. Esto evitará el bloqueo por aire.

7.11 FUNCIONAMIENTO DE LOS VDF

Consulte el capítulo 5.

7.12 FUNCIONAMIENTO DE LOS GENERADORES

Los generadores para motores sumergibles se suelen ofrecer de acuerdo con condiciones estándar, por ejemplo:

- Altitud máx. sobre el nivel del mar: 150 m
- Temperatura máx. admisión de aire: 30 °C
- Humedad máx.: 60 %

Si se sobrepasan estos límites, se tendrán que reducir las especificaciones máximas del motor diésel estándar, y posiblemente del generador, para suministrar al motor de la bomba la suficiente potencia.

Al realizar el pedido de un generador, deben proporcionarse al fabricante los datos de la altitud, la temperatura de admisión de aire y la humedad máxima para limitar en fábrica la potencia máxima del generador. Los generadores para los motores sumergibles trifásicos deben poder soportar una reducción del 35 % de la tensión durante el arranque.

Para conocer los generadores con regulación interna disponibles, consulte la tabla mostrada a continuación para un desglose en kW de los motores monofásicos y trifásicos con arranque DOL.

Ejemplos de factores de reducción para motores diésel estándar	Ejemplos de factores de reducción para generadores estándar
Altitud: 3,5 % por cada 300 m por encima de 150 m sobre el nivel del mar (2,5 % para motores turbo).	Altitud: 2,5 % por cada 300 m por encima de 1000 m sobre el nivel del mar.
Temperatura de admisión de aire: 2 % por cada 5,5 °C por encima de 30 °C (3 % para motores turbo).	Temperatura de admisión de aire: 5 % por cada 5 °C por encima de 40 °C.
Humedad: 6 % al 100 % de humedad.	

Nota: es necesario confirmar los detalles con el fabricante del generador, especialmente en cuanto al tamaño del alternador y las cargas bajas.

Si el generador y el motor diésel se reducen de acuerdo con la tabla, serán de aplicación los siguientes criterios:

1. La caída de tensión en el generador no será superior al 10 % durante el arranque. Esto quiere decir que incluso se puede usar la protección contra subtensión más rápida del mercado en el reóstato de arranque del motor de la bomba.
2. El generador y su motor diésel tendrán una duración normal, ya que el nuevo motor, a pleno rodaje, solamente estará cargado aproximadamente al 70 % de la corriente continua nominal del motor de la bomba. En general, cualquier motor diésel alcanzará su rendimiento máximo (menor consumo de combustible por kW de descarga) entre el 70 y 80 % de la carga máxima.
3. Cuando se efectúan los arranques con autotransformador o se instala un MP 204 de Grundfos para protección contra subtensiones, es posible elegir un generador y un motor diésel un 20 % menores de lo indicado en la tabla. Sin embargo, esta elección supone un mantenimiento frecuente del filtro de aire y las boquillas de inyección, la limpieza del enfriador y cambios de aceite. Es más, se producirán caídas de tensión durante el arranque de hasta el 20 %. Si se añade la pérdida en el cable de descenso y en el cable del motor por encima del 15 %, la pérdida total de tensión en el motor será superior al 35 %. Este hecho no supone un problema en los motores trifásicos, pero sí en ocasiones en los motores monofásicos, que a menudo necesitarán un condensador sobredimensionado al arrancar con bajas tensiones.

Existen dos tipos de generadores: los regulados internamente y los regulados externamente.

Los generadores regulados internamente disponen de bobinado adicional en el estátor del generador y también se denominan autoexcitados. El bobinado adicional detecta la corriente de salida e incrementa automáticamente la tensión de salida.

Los generadores regulados internamente, por lo general, demuestran tener el mejor rendimiento durante la marcha.

Los generadores regulados externamente emplean un regulador de tensión externo que es sensible a la tensión de salida. A medida que esta cae durante el arranque del motor, el regulador incrementa la tensión de salida del generador.

Valor del motor sumergible para las versiones monofásicas y trifásicas [kW]	Valor del generador		Elevación máxima de 150 m y humedad del 100 %		Elevación máxima de 750 m y humedad del 100 %	
			Valor del motor diésel a una temperatura ambiente de:			
	[KVA]	[kW]	30 °C [kW]	40 °C [kW]	30 °C [kW]	40 °C [kW]
0,25	1,5	1,0	1,25	1,3	1,4	1,43
0,37	2,0	1,5	2,0	2,1	2,3	2,3
0,55	2,5	2,0	2,5	3,1	2,8	2,86
0,75	3,0	2,5	3,0	3,1	3,4	3,44
1,1	4,0	3,0	4,0	4,2	4,5	4,58
1,5	5,0	4,0	5,0	5,2	5,6	5,73
2,2	7,0	6,0	7,0	7,3	7,8	8,0
3,7	11,0	9,0	10,0	10,4	11,1	11,5
5,5	16,0	12,5	14,0	14,6	15,6	16,0
7,5	19,0	15,0	17,0	17,7	19,0	20,0
11,0	28,0	22,0	25,0	26,0	28,0	29,0
15,0	38,0	30,0	35,0	36,0	39,0	40,0
18,5	50,0	40,0	45,0	47,0	50,0	52,0
22,0	55,0	45,0	50,0	52,0	56,0	57,0
30,0	75,0	60,0	65,0	68,0	72,0	75,0
37,0	95,0	75,0	83,0	86,0	92,0	95,0
45,0	110,0	90,0	100,0	104,0	111,0	115,0
55,0	135,0	110,0	120,0	125,0	133,0	137,0
75,0	185,0	150,0	165,0	172,0	183,0	189,0
90,0	220,0	175,0	192,5	200,0	215,0	220,0
110,0	250,0	200,0	220,0	230,0	244,0	250,0
132,0	313,0	250,0	275,0	290,0	305,0	315,0
150,0	344,0	275,0	305,0	315,0	335,0	345,0
185,0	396,0	330,0	365,0	405,0	405,0	415,0

Un generador regulado externamente se dimensionará aproximadamente un 50 % por encima de los valores kW/kVA nominales para proporcionar el mismo par de arranque que un generador regulado internamente.

La frecuencia del generador extremadamente importante, puesto que la velocidad del motor varía con la frecuencia (Hz). Debido a las leyes de afinidad, una bomba que funcione entre 1 y 2 Hz por debajo de la frecuencia de la placa de características del motor no cumplirá con su curva de rendimiento. De manera inversa, una bomba que funcione entre 1 o 2 Hz por encima puede disparar el relé de sobrecarga.



Funcionamiento del generador

Arranque siempre el generador antes que el motor y detenga el motor siempre antes de parar el generador. Los cojinetes de empuje del motor podrían resultar dañados si se permite la desaceleración del generador al pararlo con el motor conectado. La misma situación se produce cuando los generadores dejan de funcionar por falta de combustible.



8 COMUNICACIONES





8.1 FINALIDAD DE LAS COMUNICACIONES Y REDES DE DATOS

Existen dos finalidades principales para el uso de las comunicaciones y redes de datos en relación con los equipos y la maquinaria de todas las instalaciones industriales como, por ejemplo, las de suministro de agua: **la centralización de la supervisión y la centralización del control.**

Hay constancia suficiente de que la mayor parte de los sistemas de automatización pueden beneficiarse de manera sustancial de la centralización de estos dos elementos. Los aspectos mencionados con más frecuencia son:

- Optimización del rendimiento (por ejemplo, ahorro en energía y materiales)
- Optimización de la calidad del proceso (acciones correctivas)
- Mejor mantenimiento (servicio según demanda)
- Reducción de los costes de funcionamiento (por ejemplo, reducción de plantilla)
- Reacción organizada y rápida frente a los fallos (minimización de los tiempos de inactividad)
- Fácil acceso a los datos actuales y posibilidad de almacenar información en bases de datos (generación de informes)

Los sistemas enfocados a este tipo de gestión centralizada se denominan *sistemas SCADA* (Supervisory Control and Data Acquisition).

8.2 SISTEMAS SCADA

8.2.1 Componentes principales de SCADA

Las tres partes principales de un sistema SCADA típico son:

1. Una estación maestra

Se trata de un ordenador (por ejemplo, un PC con Windows o Unix) que cuenta con una interfaz de usuario (HMI, por sus siglas en inglés) y una base de datos. Existen numerosos paquetes especializados de software HMI/SCADA disponibles que han sido desarrollados por terceros. Entre ellos se encuentran iFix de GE Fanuc, CitectSCADA de Citect, SIMATIC de Siemens o Wonderware de Invensys.

2. Varias estaciones externas

Una estación externa representa frecuentemente un *subsistema* autónomo. Por autónomo se entiende que, si la

conexión con el sistema SCADA se interrumpe, el subsistema es capaz de seguir funcionando solo y cumplir con su propósito (por ejemplo, suministrar agua a un depósito). El diseño general del sistema (elección de tecnología y equipos) debería buscar la autonomía de los subsistemas siempre que sea posible y en cualquier caso, sin excepción, asegurarse de que estos sean a prueba de fallos y puedan volver a un estado predecible, bien definido y seguro en caso de que la comunicación con SCADA se interrumpa. La estación externa generalmente constará de:

- Un controlador lógico programable (PLC, por sus siglas en inglés)
- Un controlador digital directo (DDC, por sus siglas en inglés)
- Una puerta de enlace a otra red (subyacente)

3. Una infraestructura de comunicaciones

Esta es la que lo conecta todo. Con frecuencia, se utilizará una combinación de tecnologías, ya que no existe una sola de ellas (bien sea red o protocolo) que abarque todas las demandas de las aplicaciones más complejas.

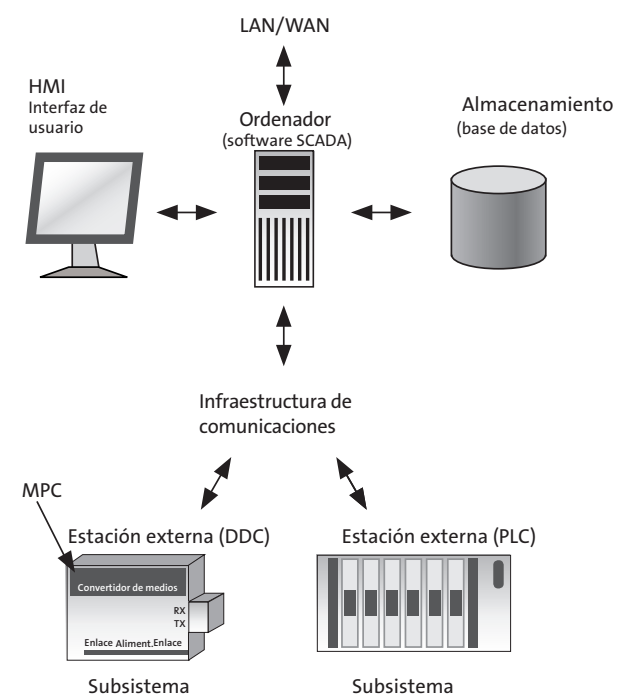


Figura 61: ilustración de las principales partes de un sistema SCADA

8.2.2 Funciones de SCADA

A continuación se muestra una lista de las funciones comúnmente disponibles en los paquetes de software

del sistema SCADA. Esta lista se ha ordenado colocando las funciones más importantes al principio. Con frecuencia, el software SCADA dispone de capacidad para actuar como servidor de red, lo que significa que, si el PC maestro se encuentra conectado a una red de área local o a Internet, será posible acceder al sistema de manera remota desde otro PC conectado a la red. A pesar de que este software conforma un paquete estándar (disponible a través de numerosos proveedores de software diferentes), ofrece un alto grado de adaptación personalizada (datos, funciones, gráficos, etc.).

1. Establecimiento de la salud del sistema
 - ¿El sistema se encuentra bien? (funcionando conforme a lo previsto y cumpliendo con su finalidad)
 - ¿El sistema necesita mantenimiento? (causa y tipo)
 - ¿El sistema está averiado? (causa)
2. Visualización de las variables y condiciones del sistema
 - Las condiciones (como encendido/apagado) se ilustran con gráficos y colores
 - Las variables importantes aparecen en el diagrama del sistema (presión, caudal, etc.)
 - Las variables importantes del sistema se muestran gráficamente
3. Registro y enrutamiento de alarmas
 - Gestionar las listas de turnos
 - Enrutamiento de mensajes (por ejemplo, SMS)
4. Registro de datos y recuperación de los datos registrados
 - Interfaz con la base de datos (por ejemplo, Microsoft SQL)
 - Procesamiento de datos, almacenamiento de datos y representación gráfica
5. Control
 - Funcionamiento manual
 - Funcionamiento automático
 - Sistema de control de lazo cerrado (poco habitual)
6. Configuración
 - Mostrar los principales parámetros de configuración
 - Modificar los principales parámetros de configuración
7. Información de mantenimiento
 - Plan e historial de mantenimiento
 - Lista de repuestos
 - Manuales, fotografías y vídeos instructivos
8. Sistema experto
 - Inteligencia artificial
 - Diagnóstico de fallos
 - Apoyo a la toma de decisiones
9. Interfaz con el sistema de planificación de recursos empresariales (ERP, por sus siglas en inglés)

8.2.3 SCADA vía web

Un software del sistema SCADA que se ejecuta en un servidor web en lugar de hacerlo en un PC normal con Windows se denomina *sistema SCADA vía web*. Todos los datos se encuentran accesibles a través de Internet mediante el uso de un navegador web (por ejemplo, Internet Explorer).

Los subsistemas pueden supervisarse y controlarse desde cualquier PC en cualquier lugar del mundo que disponga de acceso a Internet. No hay necesidad de instalar un costoso sistema de software en uno o más PC.

El software del sistema SCADA y todos los datos residen en el servidor web, que podría ser controlado por un contratista (integrador de sistemas) o por el cliente (por ejemplo, un servidor web central para todo el municipio).

El cliente o usuario no necesita preocuparse acerca de la tecnología de la información, las comunicaciones, el hardware ni el software, sino que puede concentrarse en el uso práctico de los datos y en el mantenimiento del subsistema.

El empleo de contraseñas garantiza que solamente el personal autorizado reciba acceso para controlar subsistemas específicos.

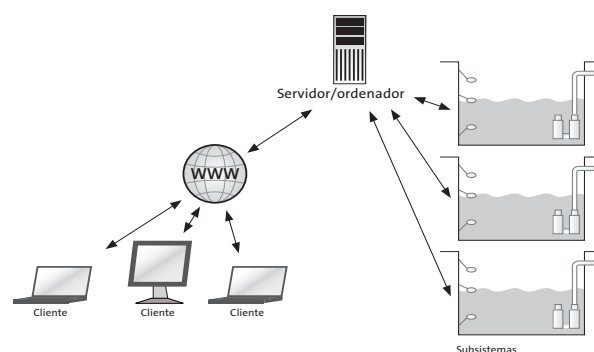


Figura 62: ilustración del principio de funcionamiento de SCADA vía web

8.3 ASPECTOS BÁSICOS DE LAS COMUNICACIONES DE RED

8.3.1 Topología de red

Se refiere a la forma en que se encuentra conectada la red de dispositivos en comunicación. Cada topología es adecuada para tareas específicas y ofrece sus propias ventajas y desventajas.

En una *red en estrella*, todo el cableado parte de un punto central (por ejemplo, un concentrador o un controlador central). Cuenta con la mayor longitud de trazado de cable de todas las topologías y, consecuentemente, es la que requiere más cableado. Las redes Ethernet se basan generalmente en la topología en estrella.

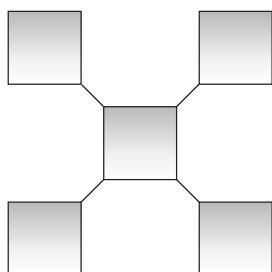


Figura 63: topología en estrella

Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> • Agregar nuevos dispositivos es fácil • Control centralizado, monitorización de red/concentrador 	<ul style="list-style-type: none"> • El fallo de un concentrador paraliza todos los dispositivos conectados a él

La *red en anillo* es una topología en la que cada uno de los dispositivos de la red se conecta exactamente a otros dos, formando una ruta circular para las señales. Los datos viajan de dispositivo en dispositivo, y cada uno de los dispositivos debe manejar todos los paquetes de datos. Tanto el antiguo estándar LAN de IBM, Token Ring, como el bus de campo industrial Interbus utilizan la topología en anillo.

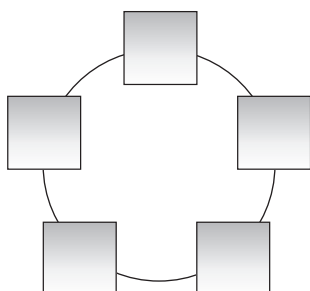


Figura 64: topología en anillo

Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> • Igual acceso para todos los dispositivos • Cada dispositivo dispone de acceso al anillo a la máxima velocidad • Al aumentar el número de dispositivos no hay una gran caída del rendimiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Cableado costoso • Conexiones difíciles y caras

En una *red en bus*, todos los dispositivos se conectan al mismo segmento de cable. El cableado suele realizarse de punto a punto en forma de cadena o mediante cables de derivación. El cable cuenta con terminaciones en ambos extremos. Los mensajes transmitidos a través del cable son visibles para todos los dispositivos conectados a él. La mayor parte de buses de campo (Profibus, DeviceNet, GENIbus, etc.) usan la topología en bus, pero, a pesar del nombre, también pueden basarse en otras.

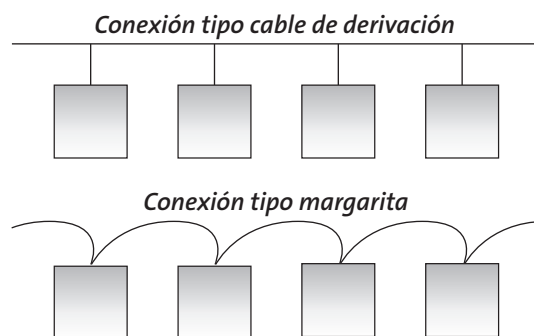


Figura 65: topología en bus

Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> • Fácil de llevar a cabo • Bajo coste 	<ul style="list-style-type: none"> • Límites en cuanto a longitud de cable y número de dispositivos • Es difícil aislar los fallos de red • El fallo de un cable afecta a todos los dispositivos • La red se ralentiza al aumentar el número de dispositivos

Muy a menudo, se aplica una combinación de estas tres topologías básicas, con lo que hablamos de *topología mixta*. Cuando la tecnología de red empleada permite cualquier topología, ello se denomina *topología libre*.

8.3.2 Protocolo de comunicaciones

El *protocolo de comunicaciones* abarca las reglas que especifican cómo un dispositivo funcional conectado a una red puede intercambiar datos con otros dispositivos que formen parte de ella. Especifica los detalles relativos a los aspectos físicos del hardware, como la impedancia y las señales eléctricas. Especifica los detalles relativos a la transferencia de datos, como la tasa de baudios, la sincronización y el formato de los paquetes, y especifica cómo debería funcionar el direccionamiento de los dispositivos, la solicitud de los datos y la respuesta a estas las solicitudes.

El protocolo de comunicaciones es el administrador de la línea de comunicaciones. Decide el control de quién tiene permiso para transmitir, cuánto y durante cuánto tiempo. En los protocolos maestro-esclavo (como el GENIbus, el Modbus o el Profibus), las reglas de arbitraje del protocolo de controlan quién es el maestro y quién el esclavo.

Es responsabilidad del protocolo que todo funcione de forma fiable y que los datos se logren comunicar sin errores. No obstante, en los casos en que algo falle, lo que en términos de protocolo se denomina *excepciones*, es también su responsabilidad detectar dichas excepciones, reaccionar ante ellas (por ejemplo, comunicar el error, repetir la transmisión, etc.) y finalmente recuperarse de cualquier estado de error, incluyendo el fallo completo de la red.

8.3.3 Perfil funcional

El *perfil funcional* de un dispositivo de red se refiere a la especificación de su interfaz funcional dentro de la red. Se trata, básicamente, de una descripción de los datos de entrada y salida del dispositivo. Estos datos se denominan habitualmente puntos de datos, o elementos de datos, del dispositivo. El perfil funcional describe los elementos de datos, su formato (8 bits, 16 bits, etc.) y su escalado (resolución e intervalo), limitaciones y relación mutua.

Además de la descripción de los elementos de datos, el perfil funcional también describe cómo usar el dispositivo a través de la red cuando este se usa en las aplicaciones. Documenta la relación entre sus funciones, los elementos de datos y el comportamiento de la aplicación o sistema en el que funciona.

Se denomina *interoperables* a aquellos dispositivos que emplean el mismo protocolo de comunicaciones e inter-

cambian datos de acuerdo con un perfil funcional definido y compartido.

8.3.4 Bus de campo

Las redes utilizadas en los sistemas de automatización industrial para interconectar sensores, actuadores y controladores se denominan *buses de campo*, en contraposición a las redes usadas para fines administrativos en entornos de oficina, a las que normalmente se refiere como *redes de área local (LAN)*.

Los buses de campo están ideados para trabajar en entornos hostiles, literalmente en el campo, y usan equipos y cableado de grado industrial. Es más, un protocolo de bus de campo, por lo general, fomenta características distintas a las de una LAN, ya que las exigencias son bastante diferentes.

El bus de campo suele transferir pequeñas cantidades de datos, pero estos se transfieren con mucha frecuencia (a menudo suelen requerirse unas tasas de muestreo elevadas). Además, el bus de campo debe ser capaz de gestionar transferencias de datos en los que el tiempo es crucial, por lo que tiene que satisfacer unos requisitos muy estrictos en ese respecto (unos retardos mínimos en el acceso al bus y la respuesta de los datos, así como un rápido procesamiento de estos).

La red de área local, en cambio, transfiere enormes cantidades de datos (archivos, etc.) entre ordenadores y servidores, pero la frecuencia de transmisión es escasa. Además, la capacidad de respuesta no necesita ser muy rápida, ya que interactúa con seres humanos, y no con procesos físicos en los que el tiempo sea crucial.

8.4. GENIbus

GENIbus (acrónimo de “Grundfos Electronics Network Intercommunications bus”) es un bus de campo desarrollado por Grundfos para satisfacer la necesidad de transferir datos y comunicarse en red en las aplicaciones de bombeo de agua más comunes para edificios, suministro y purificación de agua e industria.

8.4.1 Contexto

GENIbus se introdujo por vez primera en el mercado en 1991 como una interfaz de bus de campo para la bomba circuladora UPE. Esta era la primera bomba de agua del



mundo con variador de frecuencia integrado y también la primera en incorporar una interfaz de bus de campo.

El cometido original de la interfaz GENIbus era permitir la conexión en red de las bombas circuladoras con control de velocidad dentro de subsistemas, donde un dispositivo maestro pudiera manejar varios lazos de control con bombas conectadas hidráulicamente en paralelo y, al mismo tiempo, presentar en una pantalla datos de bombeo importantes como la presión, el caudal y las alarmas.

Desde entonces, GENIbus ha evolucionado hasta convertirse en un avanzado pero, aun así, asequible estándar de facto de Grundfos, que se encuentra disponible para prácticamente todos los productos Grundfos que incluyan componentes electrónicos. Sus principales campos de aplicación son:

- Las comunicaciones de red entre bombas, dispositivos auxiliares y controladores dentro de subsistemas Grundfos (por ejemplo, Hydro MPC y PPD)
- La integración en sistemas de automatización (por ejemplo, SCADA, el modelo CIM/CIU de Grundfos, etc.)
- La conexión a herramientas de PC a través de un adaptador para labores de configuración, localización de fallos, seguimiento de parámetros, registro de datos, etc.

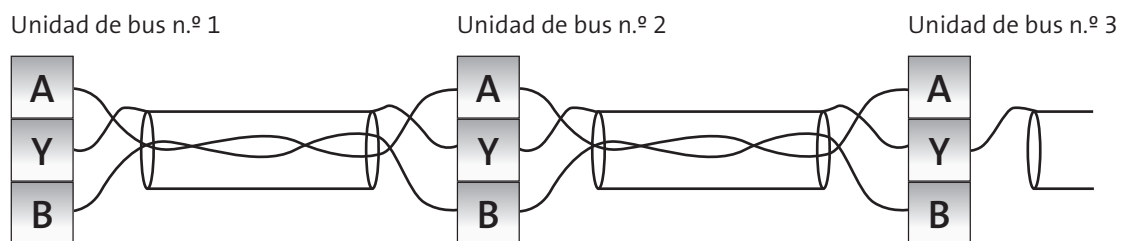
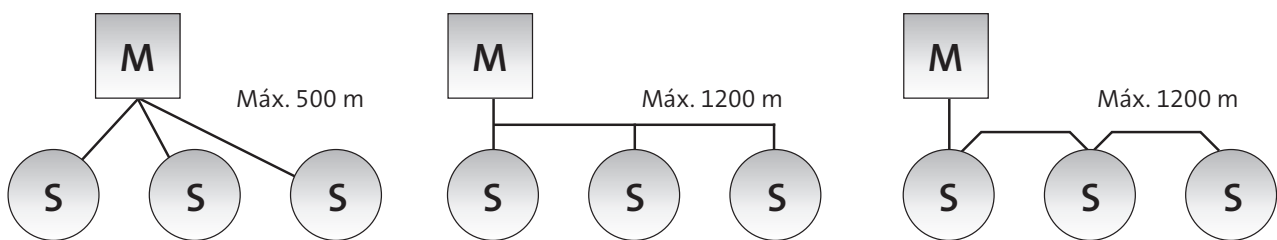
8.4.2 Pautas de cableado

En general:

- Use cables de par trenzado blindados
- Conecte el blindaje en ambos extremos
- La conexión de tipo margarita es el método preferido para conectar varias unidades
- Evite cabos largos
- Mantenga los cables lo más cortos posible
- Separe los cables del bus de los cables de tensión si es posible

Interfaz GENIbus

- No use resistencias de terminación
- Se suelen poder lograr comunicaciones en distancias de hasta 1200 m
- La distancia puede ampliarse mediante repetidores
- Si surgiesen problemas con el ruido, pruebe a desconectar el blindaje que hay en un extremo de cada unidad del bus



Conexión de tipo margarita, la forma idónea de cablear una red GENIbus

8.5 PRODUCTOS GRUNDFOS GENIBUS PARA APLICACIONES CON BOMBAS SP

El empleo del dispositivo electrónico de protección del motor MP 204 hace posible la monitorización remota de la bomba SP:

- Corriente y tensión de las tres fases
- Ángulos y cosenos (θ) de las tres fases
- Corriente de arranque
- Asimetría de la corriente
- Resistencia del aislamiento
- Consumo eléctrico y de energía
- Frecuencia del suministro
- Temperatura del motor
- Alarmas y avisos actuales
- Alarmas registradas
- Hora de encendido y contador de tiempo de funcionamiento
- Contador de arranques (totales y por hora)
- Contador de rearranques (totales y por día)
- Modo de funcionamiento del dispositivo de protección del motor MP 204

Usando el dispositivo electrónico de protección del motor MP 204 como actuador de encendido y apagado se puede controlar de forma remota el arranque y parada de la bomba SP. También es posible restablecer las alarmas actuales, las registradas y varios contadores como el de horas de funcionamiento y el de número de arranques.

El empleo del dispositivo CIU 251, solo o en conjunción con un MP 204 o una unidad CUE, permite monitorizar los siguientes valores:

- Valor del sensor de temperatura Pt 100
- Valor de la entrada del contador de pulsos
- Valor de la entrada analógica de 4-20 mA
- Límite de alarma superado (para las entradas anteriores)
- Hora de encendido
- Alarmas registradas

Tanto el MP 204 como el IO 112 disponen de interfaz GENIbus. El MP 204 cuenta con el apoyo de la puerta de enlace G100, que puede gestionar simultáneamente la conexión de hasta 32 dispositivos MP 204 y es compatible con las comunicaciones a través de Modbus (RS-232, radio o GSM) o de Profibus (consulte su ficha técnica mediante la herramienta en línea Grundfos Product Center). Incorpora además un registro de datos con capacidad para unas 300.000 entradas fechadas.

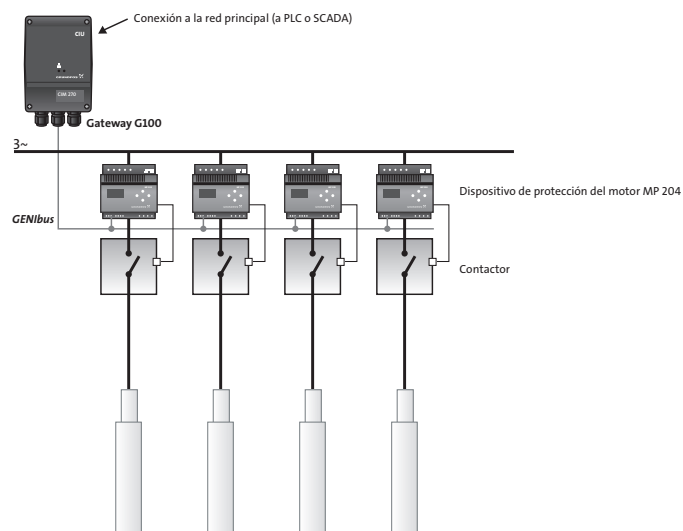
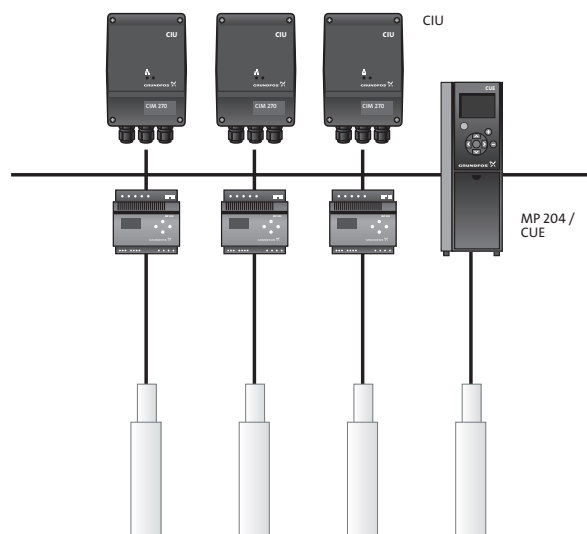


Figura 66: ilustración del control y la monitorización remota de instalaciones con bombas SP



**Grundfos GO Remote**

Las bombas Grundfos están diseñadas para la comunicación inalámbrica con la aplicación remota Grundfos GO Remote, que se comunica con ellas mediante señales de radio. Las comunicaciones de radio entre la bomba y Grundfos GO Remote están cifradas para protegerlas de un uso indebido.

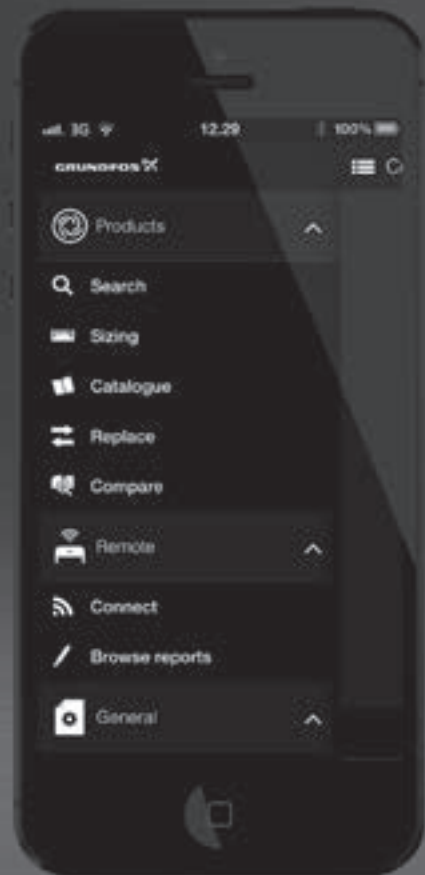
Grundfos GO Remote se encuentra disponible en el App Store de Apple y en el Android Market, y debe usarse conjuntamente con uno de los dispositivos de interfaz móvil MI 202, MI 204 o MI 301.

El MI 202 y el MI 204 son módulos acoplables con comunicaciones de radio e infrarrojos integradas. El MI 202 puede usarse con los dispositivos de Apple que disponen de conector de 30 patillas (iPhone 4, 4S y iPod touch 4G). El MI 204 puede usarse con los dispositivos de Apple que cuentan con Lightning.

El concepto representado por la aplicación Grundfos GO Remote reemplaza al control remoto Grundfos R100. Esto significa que todos los productos compatibles con el R100 son ahora compatibles con Grundfos GO Remote.

Si desea obtener más información sobre su funcionamiento y conexión a la bomba, consulte las instrucciones de instalación y funcionamiento correspondientes al tipo de configuración deseada con Grundfos GO Remote.

CONSEJOS Y SOLUCIONES





Avería	Causa	Solución
<p>Fuertes ruidos en las tuberías en el domicilio o en el edificio.</p> <p>Los indicadores de presión dejan de funcionar tras un breve período de tiempo.</p> <p>Roturas en tuberías y accesorios.</p>	<p>Golpes de ariete al arrancar y detener el motor.</p>	<p>Instale un tanque de diafragma de 50 litros en el que se unan la tubería ascendente principal y la tubería de descarga horizontal.</p> <p>El agua procedente de este tanque de diafragma se descargará al apagar la bomba, evitando con ello la formación del vacío.</p>
<p>Entrada de aire en las tuberías de aspiración así como en las tuberías presurizadas.</p>	<p>Vacío creado por el golpe de ariete</p>	<p>Introduzca un arranque/parada suave, un VDF o amortiguación de presión mediante depósito.</p>
<p>Descenso rápido del rendimiento de la bomba.</p>	<p>Desgaste y rotura debido a la entrada de arena o cieno en el pozo.</p>	<p>Identifique los pozos problemáticos, selle las secciones problemáticas del pozo o reduzca el rendimiento de la bomba a menos de la mitad de la capacidad problemática.</p>
<p>Los contactores fallan con demasiada frecuencia y los motores tienen un consumo excesivo de kWh por m³ bombeado.</p>	<p>Frecuencia de arranque elevada.</p>	<p>Reduzca la capacidad de la bomba, instale una VDF o un depósito de mayor capacidad.</p>
<p>El consumo energético del motor es excesivo y se desgastan las conexiones acanaladas del eje y los acoplamientos.</p>	<p>Empuje vertical.</p>	<p>Desacelere el rendimiento de la bomba en torno al mejor punto de eficiencia o reduzca el número de impulsores de la bomba.</p>
<p>Cojinetes de empuje desgastados.</p>	<p>Empuje vertical resultado de un funcionamiento intermitente.</p>	<p>Establezca el control de caudal necesario durante el arranque.</p>
<p>Fallo en los cojinetes de empuje de los motores de tipo encapsulado.</p> <p>Fallos en las resistencias de aislamiento de los motores rebobinables.</p>	<p>Cavitación.</p>	<p>Elimine las restricciones de caudal de la bomba y compruebe el rendimiento en torno al punto de mejor eficiencia.</p>
<p>La temperatura del motor aumenta con el tiempo; el rendimiento de la bomba desciende.</p>	<p>Depósitos (calcio, hierro, etc.) sobre la superficie del motor y en las piezas hidráulicas de la bomba.</p>	<p>Extraiga la bomba y el motor para limpiarlos; limpie las tuberías y el filtro del pozo e instale una camisa de refrigeración en el motor.</p>
<p>Se reduce el rendimiento de la bomba.</p>	<p>Aguas agresivas (corrosión de la bomba y las tuberías).</p>	<p>Realice una prueba de presión en las tuberías desde el nivel del suelo. Si existe una fuga, extraiga y sustituya la bomba y las tuberías por una clase con mayor resistencia a la corrosión.</p>
<p>El agua desaparece por las tuberías al detener la bomba.</p>	<p>Corrosión en la tubería ascendente principal.</p>	<p>Extraiga la bomba y sustituya el material de las tuberías por una clase con mayor resistencia a la corrosión.</p>
<p>El rendimiento de la bomba es demasiado bajo. El motor presenta un consumo escaso de kWh.</p>	<p>Evacuación de gas.</p>	<p>Baje la bomba cuando esté equipada con una camisa para la evacuación de gas.</p>
<p>El nivel de agua del pozo se reduce constantemente.</p>	<p>Bombeo excesivo del pozo.</p>	<p>Reduzca la capacidad de la bomba hasta que el nivel del agua se mantenga constante durante un año.</p> <p>Perfore más pozos y otros acuíferos.</p>



10

ACCESORIOS



A continuación se presentan los accesorios disponibles actualmente para la bomba sumergible SP de Grundfos. Las referencias de los productos se encuentran en el catálogo técnico de la SP.

10.1 CAMISAS DE REFRIGERACIÓN

En general, se recomienda el uso de camisas de refrigeración cuando la refrigeración del motor no es suficiente. Los motores sumergibles Grundfos siempre requieren un caudal mínimo de 0,15 m/s en torno al motor.

En las aplicaciones con depósitos es normal requerir el uso de una camisa de refrigeración. Es posible que también sea necesaria en pozos profundos, donde existe el riesgo de que el agua fluya hacia la entrada de la bomba desde arriba y no pase automáticamente en torno al motor.

Otras aplicaciones en las que debería usarse una camisa de refrigeración son:

- Cuando el motor está expuesto a una carga térmica alta, por ejemplo, debido a una temperatura ambiente elevada, o por un desequilibrio o sobrecarga de la corriente.
- Cuando se bombean líquidos agresivos, puesto que la corrosión se duplica por cada 10 °C de incremento de la temperatura.
- Cuando se produce sedimentación o depósitos en torno al motor o sobre él.

Al usar camisas de refrigeración, el caudal a lo largo del motor reducirá su temperatura y, consecuentemente, se prolongará la vida útil del motor.

$$v = \frac{Q \times 353}{D^2 - d^2} \text{ [m/s]}$$

Q	m ³ /h	Caudal
D	mm	Diámetro de camisa
d	mm	Diámetro de la bomba

Las camisas de refrigeración Grundfos están diseñadas para que la velocidad del caudal en torno al motor sea de un mínimo de 0,5 m/s y un máximo de 3 m/s, a fin garantizar unas condiciones de funcionamiento óptimas para la bomba y el motor.

10.2 PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN EN AGUAS MARINAS

El acero inoxidable puede resultar dañado por las grietas y picaduras de corrosión que padece al sumergirlo en aguas cloradas.

Las probabilidades de aparición de corrosión dependen de:

- El grado del material usado (GG – AISI 304 – AISI 316 – AISI 904L)
- La concentración de cloruro en el agua
- El potencial electroquímico del metal expuesto al fluido
- La temperatura
- La concentración de oxígeno
- La velocidad del fluido en contacto con la superficie metálica
- El valor del pH

Cuando se sumerge un metal en agua, forma una celda electroquímica, con un ánodo y un cátodo sumergidos en un electrolito (por ejemplo, agua clorada). Este sistema recibe también la denominación de celda galvánica. Puede hablarse del ánodo como de la parte activa y del cátodo como de la parte noble.

Los metales pueden clasificarse según su actividad relativa en el entorno marino. Si la superficie de metal se convierte en el ánodo de la celda electroquímica, se produce la corrosión.

10.2.1 Protección catódica

La protección catódica es una técnica utilizada para controlar la corrosión de una superficie de metal determinada al convertirla intencionadamente en el cátodo de la célula electroquímica.

Esta operación puede efectuarse de dos modos:

- **Galvanización:** mediante el uso de un metal de sacrificio.
- **Diferencia de potencial eléctrico:** mediante el uso de un suministro eléctrico de corriente continua y un ánodo inerte.

10.2.2 Sistemas de protección catódica por galvanización

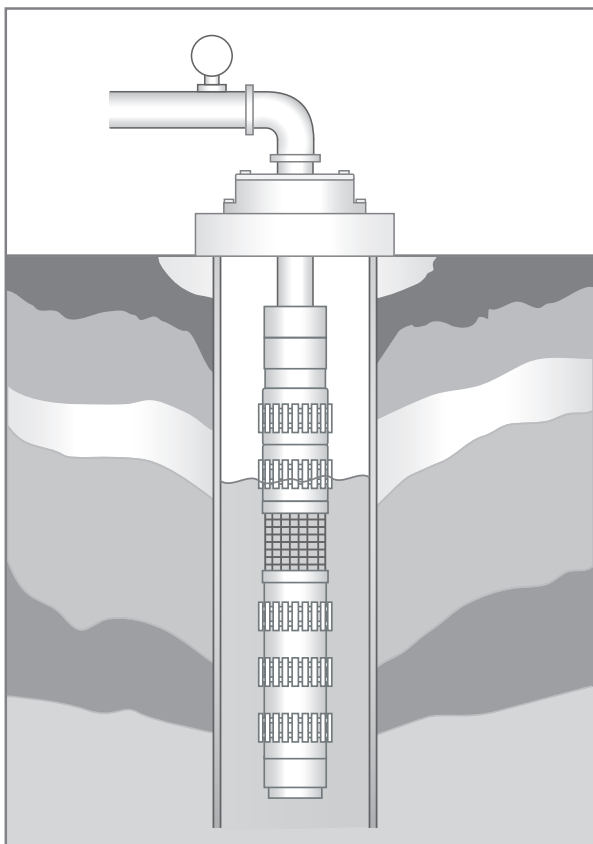


Figura 67: conjunto de bomba sumergible con ánodos de sacrificio de cinc

Grundfos ofrece una serie de ánodos de sacrificio de cinc para las bombas y motores sumergibles. En las tuberías ascendentes metálicas se recomiendan las soluciones corrientes para tuberías.

El uso de ánodos de sacrificio tiene un impacto medioambiental que siempre deberá tenerse en cuenta. Es importante considerar en todos los casos el efecto de la formación de sales en el proceso de galvanización.

Debe realizarse un seguimiento del sistema y encontrar el momento adecuado para reemplazar los ánodos de sacrificio.

La ventaja es que el sistema se autorregula, ya que el deterioro del ánodo de protección refleja las necesidades de protección del sistema.

En los sistemas de mayor tamaño y más complejos, es necesario aplicar principios de ingeniería para hacer

la elección correcta en cuanto a protección contra la corrosión. Los aspectos a tener en cuenta incluyen:

- Material del ánodo de sacrificio
- Forma
- Extensión
- Conexión

10.2.3 Sistemas de protección catódica por diferencia de potencial eléctrico

Este sistema requiere el uso de alimentación eléctrica de corriente continua y conocer el potencial real entre el metal que necesita protección y un electrodo de referencia. Debe tenerse en cuenta el riesgo de desarrollo orgánico en la parte metálica que puede, a lo largo del tiempo, modificar la diferencia de potencial.

Estos sistemas requieren un diseño individual, por lo que Grundfos remite a proveedores externos de este tipo de equipamiento, de los cuales se pueden obtener diseños y consejos. El intervalo normal de alimentación eléctrica de corriente continua será de 50 V con 10-100 A.

La ventaja de este método es que es inerte, es decir, no libera ningún agente químico al medioambiente. Este proceso necesita energía en forma de alimentación eléctrica.

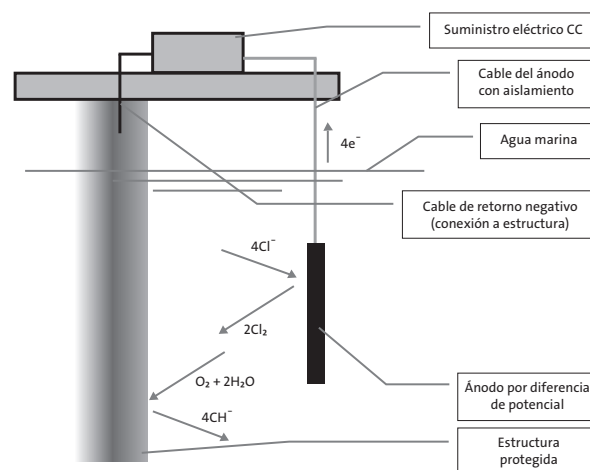


Figura 68: esquema de sistema de protección catódica por diferencia de potencial eléctrico



10.3 CABLE DE DESCENSO

Grundfos puede proporcionar diferentes tipos de cables de descenso dependiendo de la aplicación en la que vaya a utilizarse la bomba. En el capítulo 7.5 se describen las pautas generales.

Existen cables especialmente desarrollados para ser usados con bombas sumergibles. Algunos de ellos están homologados para transportar agua potable. Son muchos los fabricantes que producen estos cables, que se pueden emplear con las bombas sumergibles.

Grundfos recomienda siempre obtener del fabricante del cable la garantía de que puede cumplir con el estándar GS418A0010 de Grundfos, que consiste en una prueba adicional de resistencia del aislamiento con el cable sumergido en agua.

La funcionalidad del cable depende del sellado impermeable. El compuesto de sellado debe tener la capacidad de adherirse a la superficie del cable y a cada conductor individual. Por tanto, la limpieza de su superficie antes de realizar el sellado resulta esencial. Algunos fabricantes de cables usan lubricantes líquidos como aceite de silicona en sus procesos internos. Es prácticamente imposible eliminar estos fluidos de la superficie, por lo que resulta casi imposible crear un sellado impermeable. Por eso, asegúrese siempre de que la unión del cable es adecuada tanto para el cable de descenso como para el del motor.

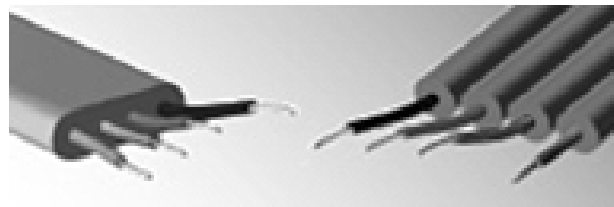
10.4 UNIONES DE CABLE

Independientemente del tipo de sellado, la adhesión entre el sellador y el cable es la clave para lograr un sellado impermeable. Tal como se indica en la sección 10.3 anterior, es necesario disponer de una superficie limpia y sin aceite en el cable.

No deben aplicarse nunca disolventes, puesto que podrían dañar el cable de modo permanente. Solo debe aplicarse una limpieza mecánica, como el secado con un paño limpio o el uso de papel de lija para crear una superficie libre de materiales.

Grundfos ofrece una gama homologada de juntas de cable que incluye tanto los cables de descenso de cuatro hilos como el conector de un solo hilo al cable del motor: tanto por resina como termorretráctiles.

Grundfos recomienda siempre utilizar juntas de cable termorretráctiles "KM".



10.5 TUBERÍAS ASCENDENTES

Grundfos comercializa el Wellmaster, una tubería ascendente flexible, como alternativa a las tuberías corrientes de acero y plástico. Se trata de una manguera de malla trenzada con un forro de poliuretano, homologada para su uso con agua potable en diversas áreas, que se ofrece en tamaños que van de 1 a 8". Está disponible en longitudes de hasta 200 metros.

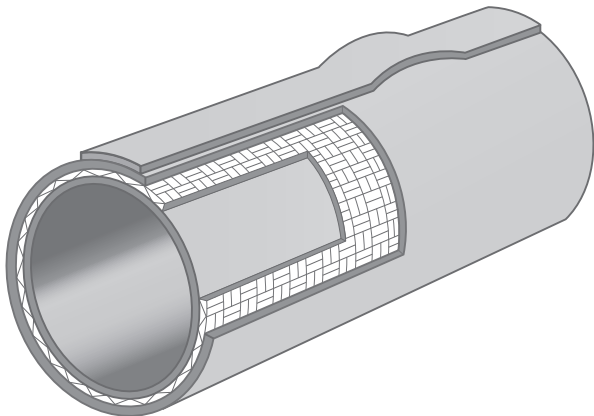


Figura 69: corte transversal de una manguera Wellmaster

10.6 CONEXIÓN DE TUBERÍAS

Las bombas SP siempre se suministran con roscas RP o NPT; en caso de que esta rosca normalizada no resulte aceptable, Grundfos le ofrece una gama de accesorios de conexión que le permiten acoplar cualquier rosca RP/NPT a una brida DIN normalizada.



10.7 PROTECCIÓN DEL MOTOR

Para la protección del motor, Grundfos ofrece el MP 204, que puede recibir la señal de la temperatura si el motor cuenta con Tempcon. Si el motor no dispone de Tempcon, se recomienda un dispositivo Pt 100 o Pt 1000. El MP 204 también puede recibir esta señal.

El MP 204 es un dispositivo electrónico ideado para proteger los motores y bombas sumergibles.

Cuenta con las siguientes ventajas:

- Apto para motores monofásicos y trifásicos
- Protección contra la marcha en seco
- Protección contra las temperaturas elevadas del motor
- Protección contra sobrecarga
- Muy alta precisión

10.8 VARIADOR DE FRECUENCIA CUE

Los dispositivos CUE de Grundfos son una serie de variadores de frecuencia externos ideados para el control de la velocidad en los motores sumergibles Grundfos.

Cuando se usa un CUE, el motor no requiere de protección adicional y ofrece las siguientes ventajas:



- Presión constante
- Nivel constante
- Caudal constante
- Curva constante
- Condiciones de funcionamiento óptimas (ahorro de energía)

Cuando se emplean variadores de frecuencia es necesario un filtro de salida. Grundfos ofrece dos tipos distintos de filtros de salida: los dU/dt y los sinusoidales.





GRUNDFOS

Products | Industries & solutions | Cases | Service & support | Training | About us | Search

GRUNDFOS
PRODUCT CENTER

Grundfos in the
palm of your hand

Read more

Smart Product Center
Search and filter tool to help you
make the right choice

Education
Easy product ordering

Search

How we think and act

Products

Find the right product for your need

Find products

Service

Get information on the correct service
offerings

Service with confidence

INFORMACIÓN ADICIONAL



SMART Water treatment
Grundfos provides the smartest, high-quality products and services for water treatment.
Our broad and comprehensive portfolio allows us to be the preferred provider of water treatment solutions.



Thinking Buildings Initiative
Explore the new Thinking Buildings Universe and get updated on the latest application solutions, tools that make your working tasks easier and our products that suit your specific application needs within Commercial buildings.



NO COMPROMISE
Pumps designed to withstand wastewater pumps with Grundfos 65/3. 3.5 hp require no special pumps and reduce slugging and downtime considerably.
Grundfos 65/3 pumps with 3.5 hp require...



Meet the energy challenge NOW
Pumps are the key to energy efficiency.
Grundfos high efficiency pumps and power technology can reduce the average pump energy consumption by up to 50%. That is why we are making the potential of pump life and clean energy meet the Energy Challenge now.

Latest News

13/06/2014
Grundfos - the perfect match in Brazil
World-class sports events call for world-class waterwastings fitted with the very best pump solutions. When the referee says the ball rolling in Brazil this summer, there will not only be adrenaline...

05/06/2014
Whole Energy is nearly accomplished
An energy awareness campaign on national Indian television is reaching its finale. Grundfos has played a central role throughout the course of the campaign, and will continue at the close.

03/06/2014
New agreement in Singapore opens doors for sustainable future
Singapore's National Water Agency, NWS, and Grundfos entered into a strategic and collaborative water solution together.

02/06/2014
We put water on the agenda in Singapore
Grundfos offers its expertise when it comes to water solutions in particular and important matters in the water industry and the course of Singapore's sustainable water future.

GRUNDFOS Holding A/S
Fjordhuset, Jernbanen 104 T
DK-8850 Grindsted, Denmark
Tel: +45 8700 1400 | Fax: +45 8700 1402
CVR no: 34 55 42 99

Legal notice | Contact Grundfos |

Subscribe to newsletter
To get the latest news on products, services and offers for information, fill in your e-mail address and click on subscribe.

Subscribe



Si desea obtener más información acerca de Grundfos, visite:

www.grundfos.es

Grundfos Product Center

La herramienta online Grundfos Product Center le permite dimensionar sus bombas, hojear el catálogo de productos Grundfos y encontrar tanto las bombas de repuesto adecuadas como las bombas necesarias para cada tipo de fluido. En Grundfos Product Center puede encontrar toda la información que necesita sobre cada bomba, incluyendo curvas de rendimiento, especificaciones técnicas, diseños CAD, repuestos disponibles, vídeos de instalación y cualquier otra documentación: todo en un único lugar, dentro de la página de producto de la propia bomba.

Grundfos Product Center le ofrece un diseño racionalizado que le ayuda a encontrar lo que busca de manera fácil y rápida. Puede encontrar la información sobre cada bomba a través de las siguientes funciones:

- **Búsqueda rápida:** busque una bomba específica y encuentre información sobre los tamaños y los repuestos.
- **Guía sobre líquidos:** introduzca el fluido, la temperatura y la concentración para encontrar las bombas que pueden manejarlo.
- **Dimensionamiento rápido:** simplemente introduzca la altura y el caudal de la bomba requerida y el sistema encontrará todas las bombas Grundfos que cumplan con esos criterios.
- **Resultados personalizados:** los resultados de la búsqueda se podrán ordenar de acuerdo con los criterios de las bombas más económicas, las bombas con el menor consumo energético o las bombas con el menor coste de ciclo de vida.

Como usuario registrado de Grundfos Product Center, usted puede acceder con rapidez a los elementos que haya guardado y a los recientemente consultados, incluyendo proyectos completos, directamente desde la página principal. Y el sistema completo está optimizado para su visualización en dispositivos móviles, por lo que usted puede acceder a él desde su smartphone o tableta en cualquier momento.

Índice alfabético	capítulo	página
Accesorios.....	10	83
Información adicional.....	11	87
Aire y gas en el agua.....	3.4	20
Aplicaciones.....	3	17
Autotransformador (AT).....	5.4.3	39
Contexto.....	8.5.1	76
Módulos de aumento de presión.....	3.7	24
Uniones de cable.....	10.4	85
Elección de cables y tamaños.....	7.5	63
Empalme o conexión del cable del motor al cable de descenso.....	7.6.2	65
Pautas de cableado.....	8.5.3	77
Protección catódica.....	10.2.1	83
Comunicaciones.....	8	71
Tecnología de comunicaciones y redes.....	8.2	71
Protocolo de comunicaciones.....	8.4.2	75
Camisas de refrigeración.....	10.1	83
Protección contra la corrosión en aguas marinas.....	10.2	83
Agua corrosiva (agua marina).....	3.5	22
Variador de velocidad CUE para bombas SP.....	5.6	43
Corriente asimétrica.....	6.6	50
Reducción de la potencia máxima de los motores sumergibles.....	7.3.6	60
Drenaje.....	3.2	19
Directo en línea (DOL).....	5.4.1	36
Cables de descenso.....	10.3	84
Frecuencia.....	6.3	48
Variadores de frecuencia (variador de velocidad).....	5.4.6	40
Suministro de agua dulce.....	3.1	17
De fuentes de agua dulce.....	2.3.1	14
De fuentes de agua marina y salada.....	2.3.2	14
Perfil funcional.....	8.4.3	75
Sistemas de protección catódica por galvanización.....	10.2.2	83
Introducción general.....	8.1	71
Funcionamiento del generador.....	7.12	67
GENIbus.....	8.5	76
Conexión a la red.....	6.5	49
Aguas subterráneas.....	2.2	9
Agua subterránea requerida.....	2.2.3	10
Pozos de agua subterránea.....	2.2.1	9
Productos Grundfos GENIbus para aplicaciones con bombas SP.....	8.6	78
Manejo.....	7.6	65
Aplicación horizontal.....	3.3	20
Agua caliente y aguas geotérmicas.....	3.6	23
Sistemas de protección catódica por diferencia de potencial.....	10.2.3	84
Instalación y funcionamiento.....	7	53
Introducción.....	1	7
Minería.....	3.2.1	19
Cables de motor y juntas, referencia a cables de descenso.....	5.2	35
Dispositivos para la protección del motor.....	5.3	36
Tipos de motor, descripción general.....	5.1	33
Motores y controles.....	5	33
Aspectos básicos de las comunicaciones de red.....	8.4	74
Topología de red.....	8.4.1	74
Número de arranques y paradas.....	7.9	67
Funcionamiento con un variador de frecuencia.....	5.5	42

Índice alfabético	capítulo	página
Sobretensión y subtensión.....	6.2.2	47
Generación de energía.....	6.1	47
Alimentación eléctrica.....	6	47
Arranque mediante resistencia primaria (RR).....	5.4.4	39
Protección contra la ebullición.....	7.3.7	61
Montaje de la bomba y el motor.....	7.6.1	65
Selección de la bomba y el motor.....	7.3	56
Curvas y tolerancias de las bombas.....	4.4	29
Eficiencia de la bomba.....	7.3.4	57
Principios de bombeo.....	4.1	27
Selección de la bomba.....	4.3	28
Ubicación de la bomba.....	7.2	56
Arranque de la bomba.....	7.10	67
Bombas.....	4	27
Bombas funcionando en paralelo.....	7.7	66
Bombas funcionando en serie.....	7.8	66
Reducción de la corriente de arranque.....	5.4	36
Agua bruta de pozo requerida y capacidad de tratamiento de aguas.....	2.2.4	11
Recursos.....	2.1	9
Conexiones de las tuberías ascendentes.....	7.6.3	66
Elección de la tubería ascendente.....	7.4	62
Tuberías ascendentes.....	10.5	85
Filtración en cauces fluviales.....	2.2.2	9
Funciones de SCADA.....	8.3.2	72
Componentes principales de SCADA.....	8.3.1	72
Sistemas SCADA.....	8.3	72
Refrigeración de la camisa.....	7.3.8	61
Arranque suave (SS).....	5.4.5	39
Estrella-triángulo (SD).....	5.4.2	38
Aguas superficiales.....	2.3	14
Descripción técnica.....	8.5.2	76
Punto de trabajo.....	7.3.1	56
Bus de campo.....	8.4.4	75
Consejos y soluciones.....	9	73
Variadores de frecuencia.....	6.4	48
Funcionamiento de los VFD.....	7.11	67
Tensión.....	6.2	47
Desequilibrio de la tensión.....	6.2.1	47
Suministro de agua.....	2	9
Temperatura del agua.....	7.3.5	60
Piezas desgastadas.....	4.2	28
SCADA vía web.....	8.3.3	73
Diámetro del pozo.....	7.3.2	57
Rendimiento del pozo.....	7.3.3	57
Rendimiento de los pozos y eficiencia operativa.....	2.2.5	12
Pozos y sus condiciones.....	7.1	55

