



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

Curso Académico:

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría aprovechar estas líneas para dar las gracias a todas las personas que han contribuido directa o indirectamente a la realización de este proyecto, y sobre todo a aquellos que me han apoyado a lo largo de los años que ha durado mi andadura por la Escuela Superior de Ingeniería Industrial.

Considero que el bachillerato es la etapa más importante de una carrera profesional. Es una etapa marcada por los sueños. Sueños que te permiten imaginarte hasta dónde te gustaría llegar. Sueños vinculados a la búsqueda de la felicidad dedicando tu tiempo a aquello que realmente te gusta.

La experiencia universitaria es un punto de madurez e inflexión en tu carrera profesional y, sobretodo, en tu carrera personal. En los años de experiencia en la universidad, se aprende algo más que los 240 créditos a los que equivale el grado. Se aprende que leer y estudiar, no solo va ligado al periodo académico, sino que son los cimientos de una carrera profesional, que siempre han de mantenerse renovados. Se aprende que el potencial de un grupo unido es siempre mayor que el de una sola persona. Y sobre todo, se aprende, que si deseas que algo esté bien hecho, encárgate tú de hacerlo.

ÍNDICE DEL TRABAJO

| | |
|--|-----------|
| AGRADECIMIENTOS | 1 |
| ÍNDICE DEL TRABAJO | 2 |
| ÍNDICE FOTOGRAFÍAS, GRÁFICOS Y TABLAS | 4 |
| MEMORIA DEL TRABAJO | 7 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 9 |
| 2. OBJETIVO | 11 |
| 3. METODOLOGÍA | 13 |
| 3.1 RECOGIDA DE DATOS | 16 |
| 3.2 MEDICIONES EN CAMPO | 18 |
| 3.2.1 BLOQUE 1. INSTALACIÓN ELÉCTRICA | 18 |
| 3.2.1.1 Pérdidas eléctricas. | 18 |
| 3.2.1.2 Factor de potencia | 25 |
| 3.2.1.3 Variador de Frecuencia | 28 |
| 3.2.2 BLOQUE 2. MOTOR | 29 |
| 3.2.2.1 Características generales del motor | 29 |
| 3.2.2.2 Tensiones de línea | 32 |
| 3.2.2.3 Potencia eléctrica absorbida por el motor (P_e). | 35 |
| 3.2.2.4 Factores de depreciación del rendimiento nominal | 37 |
| 3.2.2.5 Rendimiento real y pérdidas del motor | 37 |
| 3.2.3 BLOQUE 3. BOMBA | 39 |
| 3.2.3.1 Punto de funcionamiento | 39 |
| 3.2.4 BLOQUE 4. PÉRDIDAS DE CARGA | 52 |
| 3.2.4.1 Pérdidas de carga | 52 |
| 3.3 CÁLCULOS Y EVALUACIÓN | 55 |
| 3.3.1 BLOQUE 1. INSTALACIÓN ELÉCTRICA | 55 |
| 3.3.1.1 Pérdidas eléctricas. | 55 |
| 3.3.1.2 Factor de potencia | 56 |
| 3.3.2 BLOQUE 2. MOTOR | 57 |
| 3.3.2.1 Curva " $\eta_{\text{motor-nominal}}$ – Factor de Carga" | 57 |
| 3.3.2.2 $V_{\text{alimentación}}$ | 57 |
| 3.3.2.3 P_e | 58 |
| 3.3.2.4 Factores de depreciación del $\eta_{\text{motor-nominal}}$ | 58 |
| 3.3.2.5 Rendimiento real (η_{real}) y pérdidas del motor | 59 |
| 3.3.2.6 Clasificación eficiencia del motor | 61 |
| 3.3.2.7 Condiciones de diseño del motor | 62 |
| 3.3.2.8 Desgaste del motor | 62 |
| 3.3.3 BLOQUE 3. BOMBA | 63 |
| 3.3.3.1 Altura neta de bombeo (H) | 63 |
| 3.3.3.2 Caudal (Q) | 66 |
| 3.3.3.3 Rendimiento de la bomba (η_b) | 66 |

| | | |
|---------------------------|---|------------|
| 3.3.3.4 | Altura manométrica real _____ | 67 |
| 3.3.3.5 | Rendimiento de la bomba _____ | 68 |
| 3.3.3.6 | Punto de funcionamiento _____ | 69 |
| 3.3.3.7 | Desgaste de la bomba _____ | 70 |
| 3.3.4 | BLOQUE 4. PÉRDIDAS DE CARGA _____ | 71 |
| 3.3.4.1 | Pérdidas de carga _____ | 71 |
| 4. | OPORTUNIDADES DE MEJORA _____ | 72 |
| 4.1 | MEDIDAS PARA LA REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS ELÉCTRICAS _____ | 73 |
| 4.2 | MEDIDAS PARA INCREMENTAR LA EFICIENCIA EN LOS MOTORES _____ | 75 |
| 4.3 | MEDIDAS PARA INCREMENTAR LA EFICIENCIA EN LAS BOMBAS _____ | 79 |
| 4.4 | REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS DE CARGA _____ | 80 |
| 4.5 | MEJORAR LA OPERACIÓN _____ | 81 |
| 5. | APLICACIÓN PRÁCTICA _____ | 83 |
| 5.1 | POZO VALENCIA ESTE _____ | 84 |
| 5.2 | REBOMBEO VALENCIA ESTE _____ | 88 |
| 6. | CONCLUSIÓN _____ | 91 |
| <i>PRESUPUESTO</i> | _____ | 93 |
| 1. | PRESUPUESTO EQUIPOS DE MEDIDA _____ | 95 |
| 2. | PRESUPUESTO INSTALACIONES RENOVADAS _____ | 97 |
| | ANEXO 1. TABLAS DE INTERÉS _____ | 98 |
| | ANEXO 2. EFECTOS FÍSICOS INMEDIATOS Y NO INMEDIATOS DE UNA DESCARGA ELÉCTRICA_ | 103 |
| | ANEXO 3. GUÍA PARA EL USO DE LA HOJA DE CÁLCULO EXCEL _____ | 106 |
| | BIBLIOGRAFÍA _____ | 120 |

ÍNDICE FOTOGRAFÍAS, GRÁFICOS Y TABLAS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1.1. Ejemplo de balance de energía y resultados de una instalación de bombeo | 9 |
| Gráfico 1.2. Diagrama simple del balance | 10 |
| Gráfico 1.3. Ejemplo de Balance de Energía | 10 |
| Fotografía 1. Pozo con fecha de instalación desconocida | 11 |
| Fotografía 2. Placa de datos nominales motor MEB | 13 |
| Fotografía 3. Placa datos nominales bomba EBARA | 14 |
| Tabla 4.1. Descripción de la campaña de medición | 18 |
| Gráfico 3.2.1.1.1. Pérdidas en el transformador en función de la temperatura | 19 |
| Gráfico 3.2.1.1.2. Pozo sin derivación | 20 |
| Gráfico 3.2.1.1.3. Rebombado en paralelo con derivación en el CGD | 21 |
| Gráfico 3.2.1.1.4. Pozo con derivación en el seccionador y en el CGD | 21 |
| Gráfico 3.2.1.1.5. Posición pinza amperimétrica para medición corriente | 22 |
| Gráfico 3.2.1.1.6. Punto de medición de la corriente | 22 |
| Tabla 3.2.1.1.1. Resistividad de los conductores | 24 |
| Gráfico 3.2.1.1.7. Ejemplo de Recopilación información del sistema eléctrico | 24 |
| Tabla 3.2.1.1.2. Resistividad y pérdidas en conductores | 25 |
| Gráfico 3.2.1.2.1. Medición FP | 25 |
| Fotografía 3. Conexión medición Factor de Potencia | 26 |
| Gráfico 3.2.1.2.2. Método de los dos vatímetros o de Aron | 26 |
| Gráfico 3.2.1.2.3. Términos de penalización por exceso de reactiva consumida | 27 |
| Gráfico 4.1.3.1. Onda sinusoidal frente a onda PWM | 28 |
| Tabla 3.2.2.1.1. Características generales Motor ATURIA H10 180 | 29 |
| Gráfico 3.2.2.1.1. Curvas funcionamiento a Carga Parcial Motor ATURIA H10 180 | 30 |
| Tabla 3.2.2.1.2. Características generales Motor CAPRARI MAC 635/2A | 31 |
| Tabla 3.2.2.1.3. Ejemplo de recopilación datos nominales funcionamiento Motor MEB 160M1-2 | 31 |
| Tabla 4.2.1.4. Curva $\eta_{\text{motor-nominal}}$ – Factor de Carga | 31 |
| Fotografía 5. Posición de los conductores para medir tensión entre las líneas U-V. C.G.D. 1 | 32 |
| Fotografía 6. Imagen descriptiva del C.G.D. 2 | 33 |
| Fotografía 7. Posición de los conductores para medir tensión entre las líneas U-V. C.G.D. 2 | 33 |
| Fotografía 8. Posición de los conductores para medir tensión de la fase U. C.G.D 1 | 34 |
| Fotografía 9. Posición de los conductores para medir tensión de la fase U. C.G.D 2 | 35 |
| Gráfico 3.2.2.3.1. Posición pinza para medir Potencia de fase | 36 |
| Fotografía 10. Medición potencia de fase U | 36 |
| Tabla 3.2.2.4.1. Factores de depreciación | 37 |
| Gráfico 3.2.2.5.1. Rendimiento función del factor de carga para motor ATURIA H8.85 | 37 |
| Fotografía 11. CASO A: Pozo | 39 |

| | |
|--|----|
| <i>Fotografía 12. CASO B: Rebombear</i> | 40 |
| <i>Gráfico 3.2.3.1.1. Esquema gráfico de las medidas a realizar en un pozo</i> | 41 |
| <i>Gráfico 3.2.3.1.2. Esquema gráfico de las medidas a realizar en un rebombear</i> | 42 |
| <i>Tabla 3.2.3.1.1. Rugosidad de los materiales. Fuente: Facultad Agronomía Universidad Pública Uruguay</i> | 44 |
| <i>Tabla 3.2.3.1.2. Coeficiente k pérdidas menores</i> | 45 |
| <i>Tabla 3.2.3.1.3. Pérdidas en accesorios</i> | 45 |
| <i>Fotografía 13. Manómetro instalado en grifo de muestras</i> | 46 |
| <i>Fotografía 14. Accesorios brocal del pozo</i> | 47 |
| <i>Tabla 3.2.3.1.4. Ejemplo de medidas hidráulicas 1 manómetro</i> | 47 |
| <i>Tabla 3.2.3.1.5. Pérdidas en la tubería</i> | 48 |
| <i>Tabla 3.2.3.1.6. Pérdidas en accesorios</i> | 48 |
| <i>Fotografía 15. Rebombear y accesorios hidráulicos</i> | 49 |
| <i>Fotografía 16. Rebombear y accesorios hidráulicos</i> | 49 |
| <i>Gráfico 3.2.3.1.3. Ejemplo de medidas hidráulicas instalación con 2 manómetros</i> | 50 |
| <i>Tabla 3.2.3.1.7. Pérdidas en la tubería</i> | 50 |
| <i>Tabla 3.2.3.1.8. Pérdidas en accesorios</i> | 51 |
| <i>Fotografía 17. Bombeo Pozo</i> | 53 |
| <i>Fotografía 18. Rebombear</i> | 54 |
| <i>Tabla 3.3.2.1.1. Curva Rendimiento nominal del motor – Factor de Carga</i> | 57 |
| <i>Gráfico 3.3.2.5.1: Proceso iterativo</i> | 59 |
| <i>Gráfico 3.3.2.5.2 Ficha “Recolección datos”</i> | 60 |
| <i>Gráfico 3.3.2.7.1. Ejemplo de variaciones del Rendimiento en función del Factor de Carga</i> | 62 |
| <i>Gráfico 3.3.3.1.1. Cambios de unidades</i> | |
| <i>Tabla 3.3.3.1.1. Ejemplo de hoja “Recolección datos”. Caso 1 manómetro en la descarga</i> | 64 |
| <i>Tabla 3.3.3.1.2. Ejemplo de hoja “Cálculos”. Caso 1 manómetro en la descarga</i> | 64 |
| <i>Tabla 3.3.3.1.3. Ejemplo hoja “Recolección datos”. Caso 2 manómetros a la aspiración y descarga</i> | 65 |
| <i>Tabla 3.3.3.1.4. Ejemplo hoja “Cálculos”. Caso 2 manómetros a la aspiración y descarga</i> | 65 |
| <i>Gráfico 3.3.3.6.1. Curvas Rendimiento-Caudal y Potencia absorbida-Caudal</i> | 69 |
| <i>Gráfico 4.2.1. Curva de comportamiento de los motores Factor de Carga – Factor de Potencia</i> | 74 |
| <i>Tabla 4.2.1. Medidas para incrementar la eficiencia de los motores</i> | 75 |
| <i>Tabla 4.2.1. Clases de rendimiento EUMEPS, IE, CEMP y US EpAct</i> | 77 |
| <i>Tabla 4.2.2. Características generales de Motres trifásicos SIEMENS nivel de eficiencia CEMEP “EFF2”.</i> | 77 |
| <i>Gráfico 4.3.1. Curva más plana</i> | 79 |
| <i>Gráfico 4.3.2. Curva más pronunciada</i> | 79 |
| <i>Fotografía 19. Variador de frecuencia instalado en rebombear directo a red</i> | 81 |
| <i>Fotografía 20. Variador de frecuencia instalado en pozo que bombea a depósito</i> | 82 |
| <i>Gráfico 5.1.1. Hoja 1. “Recolección datos” Pozo</i> | 84 |
| <i>Gráfico 5.1.2. Hoja 2. “Cálculos” Pozo</i> | 85 |

| | |
|--|------------|
| Gráfico 5.2.1. Hoja 1. "Cálculos" Rebombero | 88 |
| Gráfico 5.2.2. Hoja 2. "Cálculos" Pozo | 89 |
| Gráfico 6.1. Ejemplo 1 de balance de energía y resultados de una instalación de bombeo hidráulico | 91 |
| Gráfico P1.1. Comparación proveedores pinzas amperimétricas | 96 |
| Tabla A1.1. Resistividad conductores eléctricos clase 5 | 98 |
| Tabla A1.2. Resistividad conductores eléctricos clase 6 | 99 |
| Gráfico A1.1 Clasificación IE motores de 4 polos a 50 Hz | 100 |
| Tabla A1.3. Valores mínimos de rendimiento para los 4 niveles de eficiencia. Motores AC a 50 Hz | 100 |
| Tabla A2.1. Efectos sobre el organismo de la intensidad | 103 |
| Tabla A2.2. Tiempo máximo de corte frente a la intensidad de contacto | 104 |
| Gráfico A3.1. Habilitar cálculo iterativo | 106 |
| Gráfico A3.2. Hoja "Recogida de datos" | 108 |
| Gráfico A3.3. Hoja "Cálculos", página 1 | 112 |
| Gráfico A3.3. Hoja "Cálculos", página 1 | 116 |
| Gráfico A3.3. Hoja "Condiciones Resultados" | 118 |

MEMORIA DEL TRABAJO

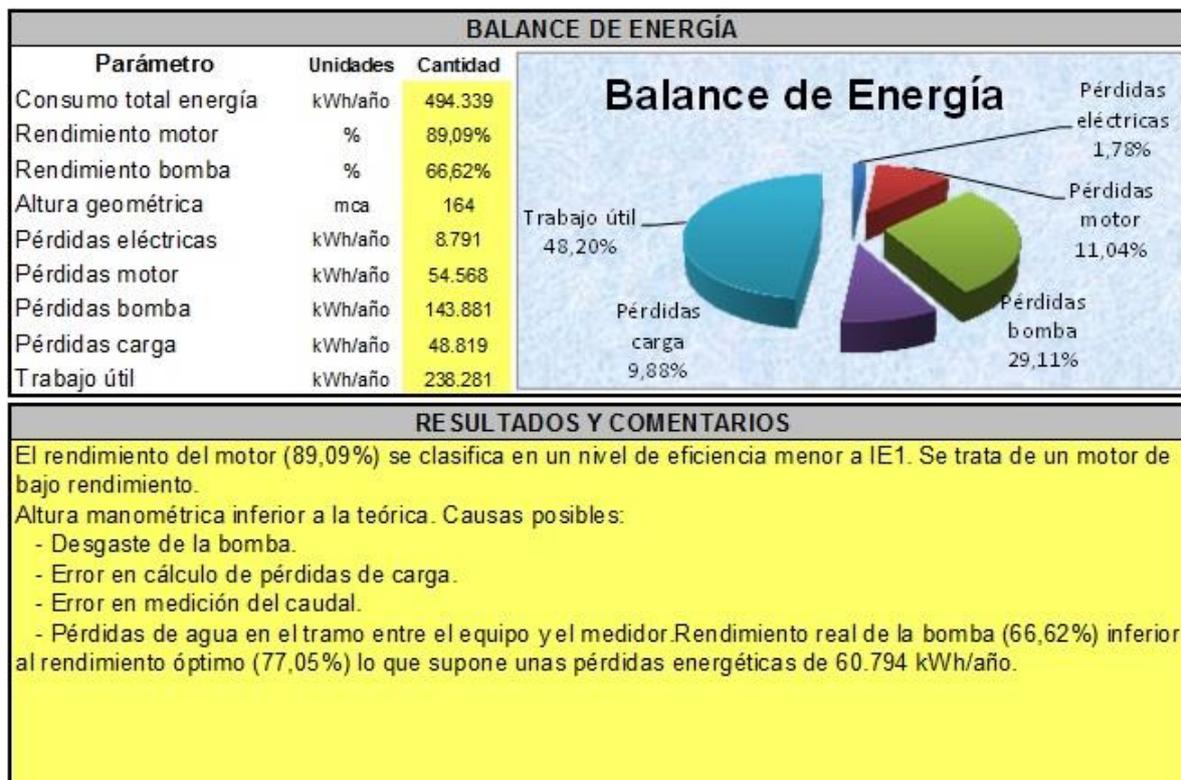
1. INTRODUCCIÓN

En el presente documento se describe un protocolo para realizar una auditoría energética (AE) en un equipo electromecánico de bombeo, con el objetivo de poder identificar medidas rentables para el ahorro de energía en dichas instalaciones. Este protocolo ha sido diseñado y puesto en práctica para el análisis del funcionamiento de varias instalaciones de bombeo.

El objetivo principal de este proyecto es auditar energéticamente las principales instalaciones de bombeo gestionadas por la empresa TECVASA (Técnicas Valencianas del Agua S.A.). Para ello, es imprescindible el desarrollo de una hoja de cálculo Excel. La hoja de cálculo Excel permite obtener el análisis del funcionamiento de las instalaciones.

Una vez implementada la hoja Excel, se pasó a una etapa práctica. Esta etapa consiste en la visita a las instalaciones reales y la toma de datos in situ. Un total de 15 municipios y alrededor de 40 instalaciones fueron visitadas. Con los parámetros medidos, se pasa a otra etapa de análisis de datos y consulta de documentos que permitan realizar un estudio válido de las instalaciones. Tras esta etapa, la herramienta Excel desarrollada permite visualizar un balance de energía y unas conclusiones del funcionamiento de la instalación (véase *Gráfico 1.1*).

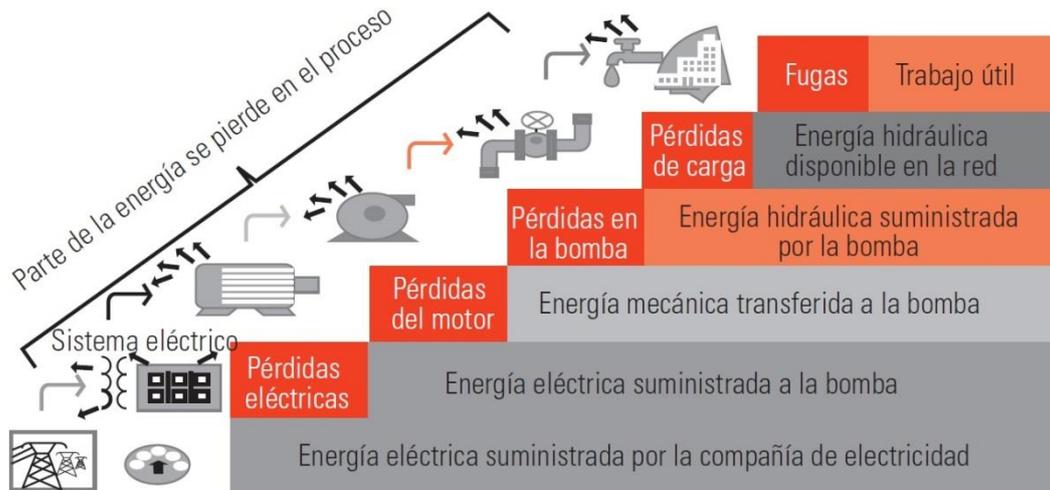
Gráfico 1.1. Ejemplo de balance de energía y resultados de una instalación de bombeo



El punto de partida para el desarrollo de este proyecto, ha sido el documento del BID (Banco Internacional de Desarrollo), "Evaluación para sistemas de bombeo de agua: Manual de Eficiencia Energética". No obstante, para unas conclusiones profesionales de carácter más riguroso, se han hecho uso de normas y clasificaciones energéticas, como la clasificación IEC.

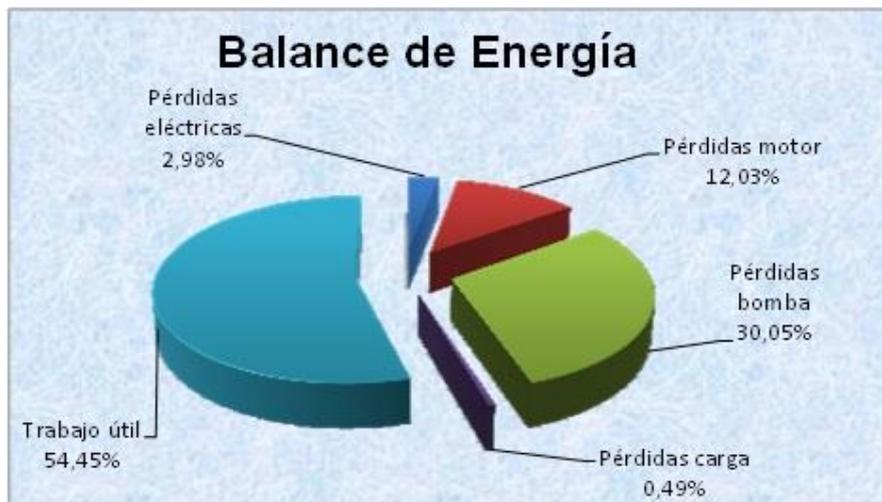
El principio conceptual de la AE es el balance de energía (véase *Gráficos 1.2 y 1.3*). Éste se basa en determinar la energía consumida, las pérdidas en cada componente del proceso de bombeo y la energía útil transferida al agua. Este método permite distinguir cuánta energía suministrada se convierte en trabajo útil, que es el mínimo trabajo para bombear el agua estrictamente necesaria hasta los puntos del sistema de distribución.

Gráfico 1.2. Diagrama simple del balance



La energía que no se convierte en trabajo útil representa pérdidas y, por tanto, áreas de oportunidad de ahorro. Mediante este documento se pretende identificar las áreas de mayores pérdidas y cuánto de esas pérdidas se puede ahorrar, sin dejar ninguna parte del sistema sin evaluar.

Gráfico 1.3. Ejemplo de Balance de Energía



2. OBJETIVO

En la actualidad, existe un amplio abanico de empresas que gestionan el agua de los municipios. Generalmente, estas empresas se encargan de la captación, el tratamiento, la distribución y la depuración del agua que reciben los consumidores finales. Para realizar estas actividades, es necesario aportar presión a la red hidráulica mediante equipos electromecánicos de bombeo. Por tanto, uno de los gastos más importantes que debe asumir la empresa durante su gestión del agua, es el gasto energético necesario para bombear el agua a los diferentes puntos de consumo, tratamiento o depuración, a una presión mínima.

En general, cada cierto periodo de tiempo sale a concurso en los municipios la gestión del servicio de suministro de agua. Las empresas presentan un proyecto junto con un “canon”. A posteriori, la gestión es concedida a aquella empresa que mejores “condiciones” ofrezca al municipio. Las instalaciones que pasa a gestionar la empresa, generalmente, son propiedad del municipio. Por lo tanto, en la mayoría de situaciones, tendrán una edad y un uso considerables (véase *Fotografía 1*).

Fotografía 1. Pozo con fecha de instalación desconocida



En muchos casos, las instalaciones de bombeo que pasa a gestionar la empresa han sufrido un desgaste considerable; las condiciones de diseño de la instalación son incorrectas debido a un mal dimensionamiento o un cambio en las condiciones de la red; o bien, son equipos anticuados con

rendimientos muy bajos. Todas estas condiciones se traducen en un derroche energético y, por ende, en un gasto económico más elevado.

El objetivo de este trabajo, es analizar el funcionamiento real de las instalaciones de bombeo de agua potable. Se analizarán los equipos de bombeo que trabajen en las actividades de captación, tratamiento y distribución. Los equipos de bombeo que trabajan en depuración no se analizan en este estudio ya que el agua a depurar tiene, en general, propiedades diferentes al agua “limpia” captada, tratada y distribuida.

El estudio energético realizado, está enfocado a realizar un análisis más exhaustivo en los equipos de mayor consumo energético. En una instalación de bombeo hidráulico, los principales equipos consumidores son el motor y la bomba. En ellos se centra el estudio energético. No obstante, también se analizará el comportamiento de los conductores eléctricos y las pérdidas de carga en la instalación.

Mediante el análisis, se halla el rendimiento real con el que están funcionando el motor y la bomba y, por tanto, se conocen las pérdidas energéticas presentes en cada uno de ellos. Conocidos estos parámetros, se pueden comparar con los datos teóricos de funcionamiento de los equipos. Esta comparación permite conocer el estado de funcionamiento del motor y la bomba.

Conocer el funcionamiento real de los equipos puede ser clave para una empresa. Como ya se ha comentado previamente, en la mayoría de los municipios, la gestión del agua sale a concurso cada periodo de “x” años. Para una empresa que acaba de ganar la concesión del agua de un municipio o bien, tiene por delante varios años gestionando el agua del municipio, le es muy interesante realizar este estudio energético. Aunque las instalaciones de bombeo sean propiedad del ayuntamiento, en muchos casos, los periodos de retorno que presenta la sustitución de un motor por otro de alto rendimiento o la instalación de una bomba que trabaje alrededor de su zona de máximo rendimiento son muy bajos. Una vez recuperada la inversión, la empresa comienza a gastar menos en el consumo energético de la instalación y, por tanto, a generar beneficios.

Este estudio se realizó para la empresa TECVASA (Técnicas Valencianas del Agua S.A.), analizando cerca de 40 instalaciones. De ellas, solo se pudo completar la Auditoría Energética en 11 instalaciones gracias a los equipos de medidas hidráulicas instalados. En el presente trabajo se exponen alguna de las instalaciones auditadas.

3. METODOLOGÍA

La Auditoría Energética (AE) en un equipo electromecánico de bombeo es la aplicación de un conjunto de técnicas para determinar cómo se administra la energía, así como también para comprobar la eficiencia en cada uno de los componentes consumidores de la instalación (bomba hidráulica y motor eléctrico). El objetivo final es la identificación de rentables para el ahorro de energía.

Para realizar la AE, es conveniente seguir una secuencia ordenada que lleve a mejores resultados. Esta secuencia requiere realizar trabajos de campo y oficina. La metodología consiste en realizar los trabajos en dos etapas: una primera con trabajos de campo y una segunda con trabajos de oficina. Se definen a continuación.

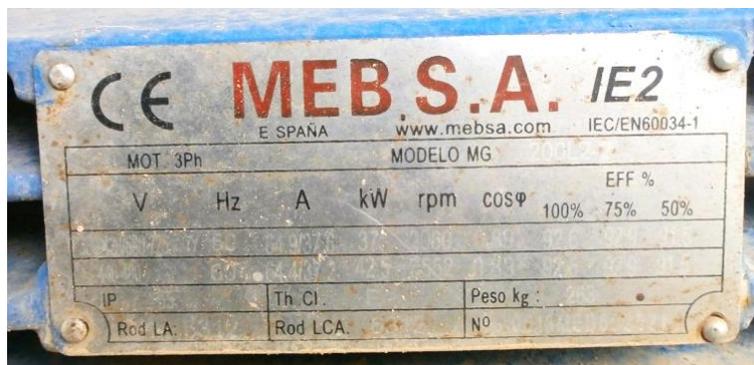
ACTIVIDADES DE CAMPO

Recolección de datos. Se deben recolectar los datos básicos de los sistemas que componen la instalación:

- **Sistema eléctrico:** Conductores, cuadro general, sistema de arranque, banco de condensadores.
- **Bombeo:** Datos técnicos y curvas de funcionamiento de la bomba.
- **Motor:** Datos técnicos y curvas de funcionamiento del motor.
- **Conducciones:** Tuberías de conducción y elementos auxiliares de regulación y control instalados en las inmediaciones del equipo de bombeo.

Los datos técnicos del motor y la bomba sirven para hallar sus curvas de funcionamiento. Éstos deben ser recolectados en la oficina. Si no se dispone de ellos, en la visita a campo se intentarán recuperar de las placas del motor y la bomba (véase *Fotografías 2 y 3*).

Fotografía 2. Placa de datos nominales motor MEB



Fotografía 3. Placa datos nominales bomba EBARA



Mediciones de campo. Se debe realizar una campaña de mediciones de campo de los parámetros eléctricos e hidráulicos que permitirán realizar los cálculos de pérdidas y el balance energético. De este modo identificar los equipos con mayor potencial de ahorro. Las mediciones deben realizarse con la instalación trabajando en su punto de funcionamiento habitual. Si se trata de un bombeo directo a red, se analizará la instalación partiendo de un punto cualquiera de funcionamiento.

ACTIVIDADES DE OFICINA

- 1. Evaluación de la eficiencia.** Una vez recolectada la información, ésta debe ser analizada con la finalidad de obtener las pérdidas en cada uno de los componentes de la instalación y el rendimiento con el que están funcionando la bomba y el motor. De este modo conseguir el balance de energía de la instalación. Con esto se determinan los elementos con un alto índice de pérdidas o menor eficiencia, a fin de centrar en ellos las medidas de ahorro.
- 2. Oportunidades de mejora.** Con el análisis de la información y la evaluación de los elementos de mayor consumo de energía, se determinan las medidas de ahorro que pueden incluir una o varias de las siguientes:
 - Medidas para la reducción de pérdidas en las instalaciones eléctricas.
 - Medidas para incrementar la eficiencia de los motores.
 - Medidas para incrementar la eficiencia de las bombas.
 - Reducción de pérdidas de carga.
 - Mejorar la operación.
 - Mejorar el mantenimiento.

En los capítulos siguientes se detalla cada una de las etapas de la AE citadas.

ESTRUCTURA DEL TRABAJO

Atendiendo al balance de energía descrito en el apartado “1. Introducción” y en aras a simplificar el análisis de la instalación, los capítulos de “3.2 Mediciones en Campo” y “3.3 Cálculo y Evaluación” se estructuran en 4 bloques como se muestra a continuación:

- Bloque 1. Instalación eléctrica.
- Bloque 2. Motor.
- Bloque 3. Bomba.
- Bloque 4. Pérdidas de carga.

En el apartado “3.1 Recogida de datos” se describen los datos básicos a obtener. En el apartado “3.2 Mediciones en Campo” se encuentra el proceso paso por paso de la toma de datos y mediciones realizadas para cada uno de los 4 bloques. En el apartado “3.3 Cálculo y Evaluación” se detallan los cálculos realizados para obtener las pérdidas y rendimientos en cada componente de la instalación y también los resultados que muestra la AE tras el análisis de cada bloque. En el apartado “4. Oportunidades de mejora” se incluyen diferentes aspectos genéricos que permiten una optimización de la instalación. En el apartado “5. Aplicación práctica” se presentan dos ejemplos de instalaciones analizadas. Por último, en el apartado “PRESUPUESTO” se realiza un breve estudio económico del coste de los equipos de medición y la renovación de la bomba en una de las instalaciones planteadas en el apartado “5. Aplicación práctica”.

En el apartado de mediciones eléctricas se hace mención a un equipo concreto (AMPROBE 50NAV), pudiendo emplearse otros de características similares capaces de obtener los datos eléctricos necesarios en la hoja de cálculo Excel.

3.1 RECOGIDA DE DATOS

No se puede realizar un estudio o procedimiento de auditoría sin la obtención de los datos necesarios o la recopilación de los mismos, por lo que a continuación se describen los datos básicos así como también la forma o las técnicas más usuales para obtenerlos.

- **Datos del sistema eléctrico**

Se deben recopilar los siguientes datos del sistema eléctrico:

- **Diagrama unifilar.** Es sumamente importante esquematizar el diagrama unifilar de las conexiones del equipo, la acometida, el cableado, el transformador, el interruptor principal, tipo de arranque, etc.
- **Conductores.** Los datos necesarios se refieren al calibre y a la longitud de los conductores en dos tramos. El primer tramo es el que se encuentra aguas arriba de la medición y el segundo el que se encuentra aguas debajo de la medición.
- **Tipo.** Es la descripción de cómo van agrupados dichos conductores. En particular, indicar cuántos conductores unipolares activos van en el cable.
- **Calibre.** Es el calibre del conductor (mm^2); este puede obtenerse en la cubierta del conductor.
- **Longitud.** La longitud total de los conductores en el tramo descrito.

- **Datos nominales de la bomba**

Se deberá obtener la información de los datos nominales de la bomba que se deben leer directamente en las placas de la misma o en la documentación de archivo del equipo. De esta forma se tendrán que recabar los siguientes datos:

Datos de placa nominales

- **Marca.** Marca o fabricante de la bomba.
- **Modelo.** Modelo de la bomba.
- **Tipo.** Simplificando, diremos que las bombas hidráulicas pueden ser de tres tipos: Horizontal, vertical o sumergible.
- **Etapas.** Número de impulsores puestos en serie.
- **Altura manométrica.** Altura que aporta la bomba en el punto de trabajo a rendimiento óptimo.
- **Caudal.** Caudal que trasiega la bomba en el punto de trabajo a rendimiento óptimo

- **Datos nominales del motor**

Se deberá obtener la información de los datos nominales del motor que se deben leer directamente en las placas de los mismos o en la documentación de archivo del equipo. De esta forma se tendrán que recabar los siguientes datos:

Datos de placa nominales

- **Marca.** Marca o fabricante del motor.
- **Modelo.** Modelo del motor.
- **Potencia.** Potencia del motor (kW).
- **Intensidad nominal.** Corriente o intensidad nominal del motor (A).
- **Tensión nominal.** Tensión nominal del motor (V).
- **Velocidad nominal.** Velocidad nominal del motor en revoluciones por minuto (rpm).
- **Cosφ.** Factor de potencia del motor a plena carga.
- **Rendimiento nominal.** Rendimiento nominal del motor a plena carga.

Datos del historial del motor

- **Años.** Número de años en funcionamiento del motor.
- **Número de rebobinados.** Número de veces en que el motor ha sido reparado y rebobinado.

- **Datos del fluido**

- **Temperatura del fluido.** Si no es posible medir este dato, se tomará 16°C como temperatura aproximada para acuíferos y si se trata de un depósito se estimará en función de la época del año en la que se realicen el resto de medidas hidráulicas y eléctricas.

- **Datos topográficos**

Los datos topográficos que se desean obtener se tendrán que recabar de la documentación existente o utilizando el visor 3D de Terrasit. Se necesitan los siguientes datos:

- **Cota del equipo.** Altura sobre el nivel del mar del punto exacto donde se encuentra el equipo. En el caso de los pozos se hace referencia a la cota del brocal y para los rebombes a la cota del equipo.
- **Cota del punto de entrega más alto.** Altura sobre el nivel del mar del punto más elevado de la instalación en la que trabaja el equipo.

- **Datos de operación**

- **Número de horas de funcionamiento.** La operación del equipo debe estar registrada por lo que las horas de funcionamiento totales en un año es un dato que se tiene en documentación archivada.

3.2 MEDICIONES EN CAMPO

Una vez obtenidos los datos básicos, y con la información proporcionada, se debe planear y ejecutar una campaña de medición de parámetros eléctricos e hidráulicos para realizar la auditoría de la instalación electromecánica en los sistemas de bombeo, según se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 4.1. Descripción de la campaña de medición

| Campaña de medición | Actividad | Objetivo | Equipo y herramientas |
|---|---|---|---|
| Electromecánica en una instalación de bombeo hidráulico | Medición de los parámetros eléctricos | Determinar el rendimiento del motor y la potencia que consume | Pinza amperimétrica o analizador de redes |
| | Medición del caudal | Determinar el caudal real de operación | Contador o caudalímetro |
| | Medición de la presión en la descarga de la bomba | Obtener la altura manométrica real que aporta la bomba | Manómetro |
| | Mediciones de niveles de referencia en los bombes | Obtener la altura manométrica real que aporta la bomba | Flexómetro y sonda piezométrica |

3.2.1 BLOQUE 1. INSTALACIÓN ELÉCTRICA

ASPECTOS A ANALIZAR

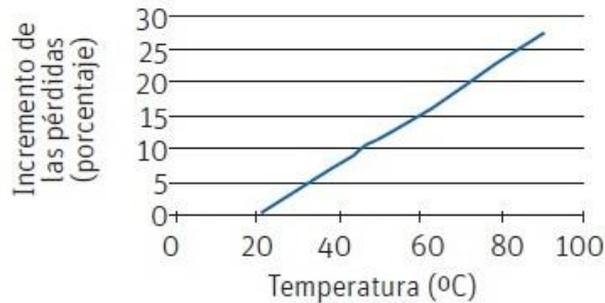
1. Pérdidas eléctricas → Pérdidas en conductores.
2. Factor de Potencia → $\cos\phi$.
3. Variador de frecuencia.

3.2.1.1 Pérdidas eléctricas.

El estudio eléctrico a realizar constituye todo el equipo electromecánico de bombeo. Este conjunto está compuesto por los conductores eléctricos, el banco de condensadores (si existe), el cuadro eléctrico y sistema de arranque (variador de frecuencia, arrancador estático, arrancador directo, estrella triángulo, etc). En este apartado nos centraremos en las pérdidas eléctricas en los conductores.

En los casos que la instalación disponga de un transformador de tensión se tomará como ideal (es decir, sin pérdidas eléctricas), puesto que el análisis eléctrico de un transformador tiene que ser realizado por un personal especializado. Solo se realizará una breve observación del cuarto donde se ubica el centro de transformación para hacer una breve evaluación de la ventilación en su interior.

Gráfico 3.2.1.1.1. Pérdidas en el transformador en función de la temperatura



Por lo tanto, el estudio eléctrico del conjunto de la instalación se realizará corriente abajo del transformador.

Para realizar las mediciones eléctricas, se hará uso de una pinza amperimétrica, que sea capaz de obtener las mediciones de corriente, tensión, potencia y factor de potencia además de otras que nos podrán dar información útil (frecuencia, distorsión armónica, etc.).

Es habitual que este tipo de instrumento de medición tenga su rango de máxima precisión trabajando entre 50 y 60 Hz para mediciones de corriente, tensión, potencia y factor de potencia. Por ello, es muy importante identificar si la instalación de bombeo funciona con variador de frecuencia o no. Tendremos 2 situaciones:

- 1. Sin variador de frecuencia:** las mediciones se realizan a la salida del C.G.D. (véase *Fotografía 3*). Las mediciones obtenidas serán bastante precisas y las daremos por válidas.
- 2. Con variador de frecuencia:** comprobar en qué punto trabaja éste. Si el display del variador de frecuencia no ofrece a qué frecuencia está inyectando corriente al motor, la pinza amperimétrica puede medir el valor de la frecuencia en un rango entre 20 y 99,99 Hz. Se coloca el selector en la posición "A" y con la tecla de navegación se selecciona el modo "Hz". Una vez conocida la frecuencia existen dos situaciones:
 - El variador de frecuencia trabaja a plena carga (50 Hz): Las mediciones se pueden hacer antes o después del CGD ya que el motor trabaja aproximadamente a 50 Hz. Los valores obtenidos se darán por válidos.
 - El variador de frecuencia trabaja a carga parcial (<50 Hz): Las mediciones se deben realizar antes del CGD. Se deberá tener precaución en los valores obtenidos, puesto que si la frecuencia dista mucho de 50 Hz, es posible que la pinza muestre unos valores poco coherentes y con grandes fluctuaciones. En estos casos, los valores medidos no se podrán dar por válidos.

Cuando la instalación trabaja con variador de frecuencia, se incluye a posteriori en los cálculos, las pérdidas que incorpora este instrumento en el sistema eléctrico (en conductores y motor). Estas pérdidas las estimaremos en un aumento global del 3% en las pérdidas eléctricas y en las pérdidas en el motor¹.

Durante el proceso de medición, se debe tener especial precaución de no acercarnos a ninguna parte metálica que pueda estar en tensión. En el “Anexo 2” se presentan los efectos físicos inmediatos y no inmediatos que una descarga eléctrica puede producir sobre el organismo.

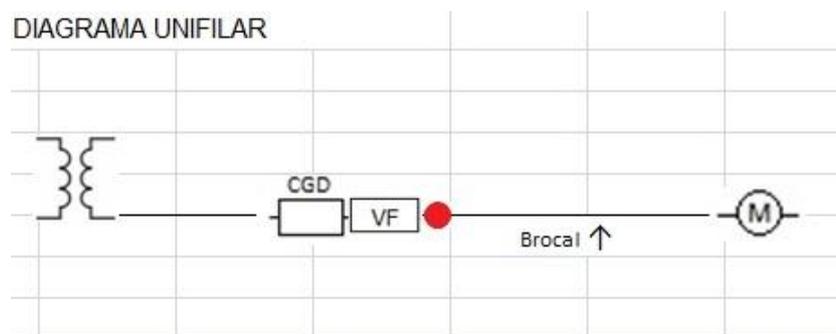
- **Identificación de tramos**

En general, un tramo es una distancia en la que no varía la sección del cableado, la tensión o la corriente. En los equipos de estudio, no habrá más de 4 tramos diferentes desde los contadores hasta el motor o desde el transformador hasta el motor. Un caso particular para la identificación de tramos serán los pozos, donde existe un tramo diferenciado desde el brocal hasta la bomba dado que no podemos medir la longitud in situ.

A continuación, se observan diferentes tipos de instalación y sus diferentes tramos:

- **Ejemplo 1:** Esquema de un pozo.

Gráfico 3.2.1.1.2. Pozo sin derivación



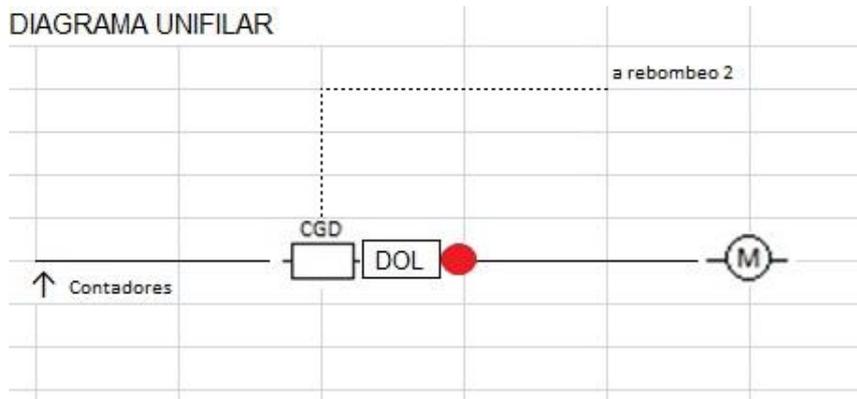
En esta instalación diferenciaríamos tres tramos:

1. Transformador – C.G.D.
2. C.G.D. – Brocal
3. Brocal – Motor

¹ Para más información acerca de las pérdidas que incluyen en el sistema los variadores de frecuencia, ver el documento “Electric Motor Efficiency under Variable Frequencies and Loads” de los autores “Charles M. Burt Xianshu Piao Franklin Gaudi Bryan Busch y N. F. N. Taufik”.

- **Ejemplo 2:** Esquema de un rebombeo.

Gráfico 3.2.1.1.3. Rebombeo en paralelo con derivación en el CGD

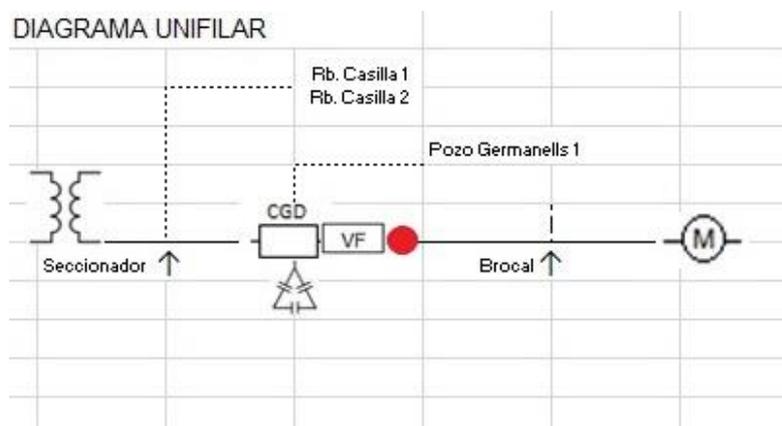


En esta instalación diferenciamos 2 tramos:

1. Contadores – C.G.D.
2. C.G.D. – Motor

- **Ejemplo 3:** Esquema de un pozo con derivación

Gráfico 3.2.1.1.4. Pozo con derivación en el seccionador y en el CGD



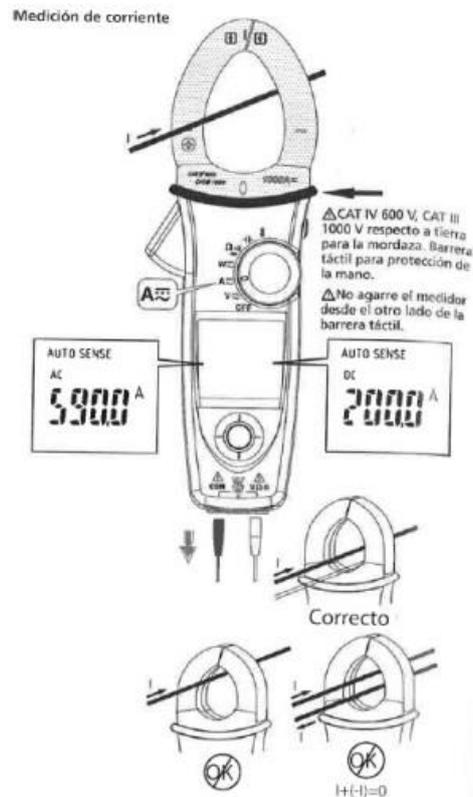
En esta instalación diferenciamos 4 tramos:

1. Transformador – Seccionador
2. Seccionador – C.G.D.
3. C.G.D. – Brocal
4. Brocal – Motor

- **Medida de la corriente**

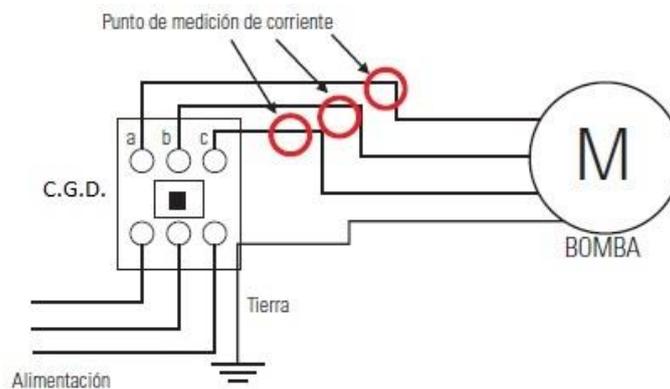
La medición de la corriente eléctrica se efectúa con la pinza amperimétrica como se observa en el *Gráfico 3.2.1.1.5*. Una vez puesto el selector en la posición “A” debe abrazar el conductor de forma que el éste pase aproximadamente por el centro de la pinza. Repetir este proceso para cada una de las 3 líneas.

Gráfico 3.2.1.1.5. Posición pinza amperimétrica para medición corriente



En general las mediciones se realizan a la salida del C.G.D. como se observa en el *Gráfico 3.2.1.1.6*:

Gráfico 3.2.1.1.6. Punto de medición de la corriente



Realizando la medición con la pinza en cada una de las 3 líneas podremos obtener la $I_{promedio}$ que circula por nuestra instalación:

$$I_{promedio} = \frac{I_a + I_b + I_c}{3}$$

En las instalaciones que desde el transformador o punto de acometida hasta el motor en estudio exista una derivación hacia otro punto de consumo (véase el *Gráfico 3.2.1.1.3* y el *Gráfico 3.2.1.1.4*) es conveniente realizar un análisis más exhaustivo. Así pues, para contabilizar correctamente las pérdidas en el cableado corriente arriba de la derivación es necesaria una segunda medición de corriente en ese tramo. Si la derivación conduce a un consumo que está fuera de funcionamiento en el momento de la toma de medidas, entonces no será necesaria una segunda medición.

- **Longitud de cada tramo (m)**

En la visita a campo tomaremos la medición más aproximada posible de la longitud de cada uno de los tramos. Si es necesario, haremos uso del flexómetro.

En el caso de los pozos no podremos medir in situ el tramo “Brocal – Motor”. De este tramo trataremos de hallar el calibre del cableado que llega al motor. La longitud la obtendremos de los registros.

- **Resistividad (Ω/km)**

Internacionalmente, La fabricación de conductores para cables eléctricos aislados se ajusta a las prescripciones de la Norma IEC 60228 y EN 60228, que tienen exacta correspondencia con la Norma UNE-EN60228. En el “Anexo 1” se muestran valores de resistividad extraídos de la Norma UNE-EN60228.

La formación de un conductor se define por el número de alambres que lo componen y por el diámetro nominal de los mismos. El grado de rigidez o flexibilidad viene definido por las diferentes clases que se indican en las Normas mencionadas:

- Clase 1: Conductores compuestos por un solo alambre.
- Clase 2: Conductores de varios alambres cableados.
- Clases 5 y 6: Conductores flexibles.

En nuestro caso, las instalaciones que se analizan estarán equipadas con conductores de Cobre de la clase 5, exceptuando algunas instalaciones en las que se ha instalado tramos de conductores de Aluminio.

La resistividad de los cables eléctricos es una variable que depende del calibre y material de los conductores. En la visita a campo se tiene que registrar ambas variables en cada uno de los tramos. Conocido el material y el calibre, el valor de la resistividad se como se observa en la *Tabla 3.2.1.1.1*:

Tabla 3.2.1.1.1. Resistividad de los conductores

**4.2 RESISTENCIA MÁXIMA DEL
CONDUCTOR EN OHM/KM A 20°C, EN
CORRIENTE CONTINUA**

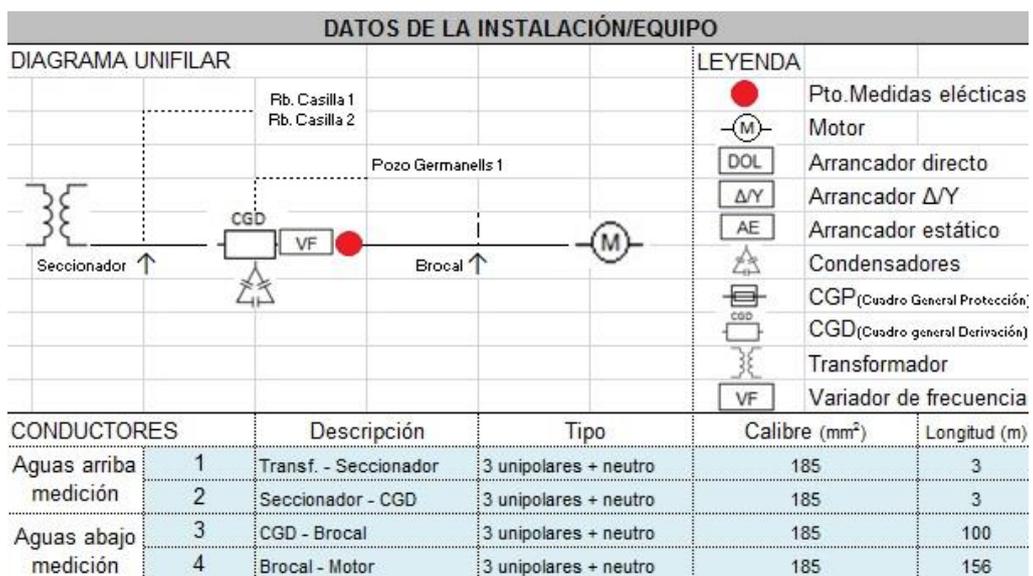
TABLA 2

| SECCIÓN NOMINAL mm² | CLASE: 1 Y 2 | | | CLASE: 5 | |
|---------------------|----------------------|--------------------|-------------------------|----------------------|--------------------|
| | CONDUCTORES DE COBRE | | CONDUCTORES DE ALUMINIO | CONDUCTORES DE COBRE | |
| | ALAMBRES DESNUDOS | ALAMBRES ESTANADOS | | ALAMBRES DESNUDOS | ALAMBRES ESTANADOS |
| 1,5 | 12,1 | 12,2 | - | 13,3 | 13,7 |
| 2,5 | 7,41 | 7,56 | - | 7,98 | 8,21 |
| 4 | 4,61 | 4,70 | - | 4,95 | 5,09 |
| 6 | 3,08 | 3,11 | - | 3,30 | 3,39 |
| 10 | 1,83 | 1,84 | - | 1,91 | 1,95 |
| 16 | 1,15 | 1,16 | 1,91 | 1,21 | 1,24 |
| 25 | 0,727 | 0,734 | 1,20 | 0,780 | 0,795 |
| 35 | 0,524 | 0,529 | 0,868 | 0,554 | 0,565 |
| 50 | 0,387 | 0,391 | 0,641 | 0,386 | 0,393 |
| 70 | 0,268 | 0,270 | 0,443 | 0,272 | 0,277 |
| 95 | 0,193 | 0,195 | 0,320 | 0,206 | 0,210 |
| 120 | 0,153 | 0,154 | 0,253 | 0,161 | 0,164 |
| 150 | 0,124 | 0,126 | 0,206 | 0,129 | 0,132 |
| 185 | 0,0991 | 0,100 | 0,164 | 0,106 | 0,108 |
| 240 | 0,0754 | 0,0762 | 0,125 | 0,0801 | 0,0817 |

Los valores de esta tabla coinciden con los publicados en la UNE-EN60228. Las tablas publicadas por la Norma UNE-EN60228 se muestran en el “Anexo 1.Tablas de interés” → “Resistividad de los conductores eléctricos”.

En general, se seguirá el procedimiento previo expuesto para conocer la resistividad de los conductores en cada tramo. El resultado de la recopilación de información en este punto debe quedar como se observa en el gráfico 3.2.1.1.7:

Gráfico 3.2.1.1.7. Ejemplo de Recopilación información del sistema eléctrico



A continuación, en función del calibre se lee la resistividad del conductor en la *Tabla 3.2.1.1.1* y se inserta en las casillas azules de la *Tabla 3.2.1.1.2*. Si el conductor fuese de Aluminio se debe indicar en el apartado “Tipo” del *Gráfico 3.2.1.1.7*.

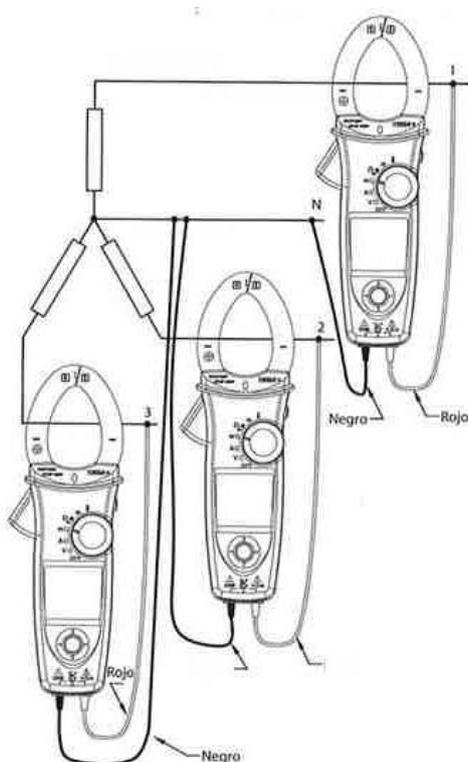
Tabla 3.2.1.1.2. Resistividad y pérdidas en conductores

| EVALUACIÓN DE LOS CONDUCTORES ELÉCTRICOS | | | | | | | |
|--|-----------------|----------|-------------|------|-----------|----------|-----|
| Tramo | Calibre | Longitud | Resistencia | | Corriente | Pérdidas | |
| | mm ² | | m | Ω/km | | Ω | kW |
| 1 | 6 | 11 | 3,39 | 0,04 | 23,24 | 0,06 | 529 |
| 2 | 0 | 0 | | 0,00 | 23,24 | 0,00 | 0 |
| 3 | 2,5 | 5 | 8,21 | 0,04 | 23,24 | 0,07 | 582 |
| 4 | 0 | 0 | | 0,00 | 23,24 | 0,00 | 0 |

3.2.1.2 Factor de potencia

Según se aprecia en el *gráfico 3.2.1.2.1* analizaremos las tres fases con la pinza amperimétrica. Primero se coloca el selector en la posición “W”. A continuación, con la tecla de navegación se selecciona el modo “PF”. La línea que se pretende analizar, ha de estar abrazada por la pinza y en contacto con el conductor rojo. Este contacto, lo podremos realizar en los bornes de los fusibles, o en cualquier parte metálica del C.G.D. en la que se conecte la línea que se pretende analizar. El conductor negro tiene que estar en contacto con el neutro o con la tierra (*véase Fotografía 4*).

Gráfico 3.2.1.2.1. Medición FP



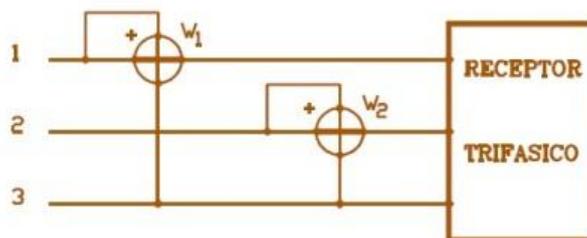
Fotografía 3. Conexión medición Factor de Potencia



En caso de que no se tenga acceso al neutro o a la tierra, el FP se puede obtener por otra vía, siguiendo el método de los dos vatímetros o de Aron (véase Gráfico 3.2.1.2.2).

- Método de los dos vatímetros o de Aron:

Gráfico 3.2.1.2.2. Método de los dos vatímetros o de Aron



- **Potencia Activa (P_a):** $P_a = W_1 + W_2$
- **Potencia Reactiva (Q_r):** $Q_r = \sqrt{3} \times (W_1 - W_2)$
- **Factor de potencia (FP):** $FP = \frac{P_a^2}{\sqrt{P_a^2 + Q_r^2}}$

- **Penalizaciones por exceso de Energía Reactiva²:**

La penalización por consumo de energía reactiva viene contemplada en el BOE, concretamente en la *orden ITC 1723/2009* y la aplican todas las distribuidoras, se trata de un coste que se traslada íntegramente al cliente en la factura.

Existe penalización:

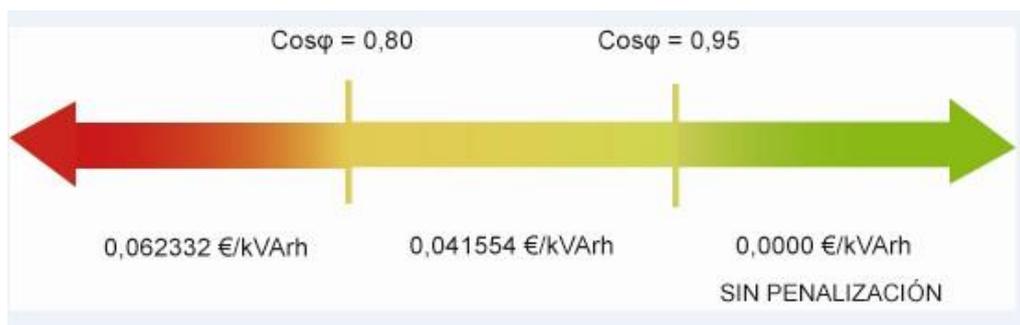
- Tarifas 3.0A y 3.1A (excepto en periodo “3” o “valle”).
- Tarifas 6.X (excepto en periodo “6”).

En cada periodo (salvo el 3 y el 6 en función de la tarifa) únicamente se penaliza el consumo de reactiva supere 33% con respecto a la energía activa. El exceso a penalizar se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Exceso Reactiva (kVArh)} = \text{Energía Reactiva (kVArh)} - 0,33 * \text{Energía Activa (kWh)}$$

El término de penalización varía en función del FP de la instalación como se ve en el *gráfico 3.2.1.2.3*:

Gráfico 3.2.1.2.3. Términos de penalización por exceso de reactiva consumida



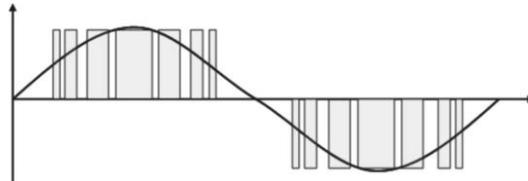
PENALIZACIÓN si FP ≤ 0,95

² Información extraída de: "<http://blog.gesternova.com/energia-reactiva-en-la-factura-de-la-luz-de-tu-empresa-algunos-consejos-y-como-calcularla/>"

3.2.1.3 Variador de Frecuencia³

En los equipos electromecánicos de bombeo que funcionan con variador de frecuencia, se deben tener en cuenta las pérdidas que estos instrumentos añaden en el sistema eléctrico. Los variadores de frecuencia cambian la onda sinusoidal por una PWM (Pulse Width Modulation) lo que conlleva unas pérdidas energéticas:

Gráfico 4.1.3.1. Onda sinusoidal frente a onda PWM



En general, la eficiencia relativa del sistema eléctrico con un variador de frecuencia debe ser aproximadamente un 3% menor que la eficiencia relativa de un diseño semejante sin variador de frecuencia. Si tenemos en cuenta el funcionamiento del conjunto electromecánico de bombeo con variador de frecuencia, este 3% del aumento de pérdidas en el sistema eléctrico nos podría resultar engañoso frente a los ahorros que conseguimos ajustándonos al punto óptimo de funcionamiento hidráulico al trabajar con el variador de frecuencia. No obstante, se deberán seguir contabilizando dichas pérdidas sobre el sistema eléctrico.

En resumen, un variador de frecuencia repercute en el equipo electromecánico de bombeo del siguiente modo:

1. El variador de frecuencia siempre funcionará con rendimientos muy buenos (próximos a la unidad) que apenas se verán afectados por el motor, carga o frecuencia de trabajo. Se tomará un incremento del 3% en las pérdidas del sistema eléctrico (Pérdidas en motor).
2. Los variadores de frecuencia proporcionan un aumento considerable del factor de potencia, frente a la misma instalación funcionando sin variador de frecuencia.
3. La eficiencia del motor que opera con un variador de frecuencia apenas se ve afectada. Algunos cálculos del rendimiento en motores de inducción muestran como el rendimiento puede bajar en un 10% cuando la carga cae del 60 al 20%. Cuando la carga cae del 100 al 60% el cambio es prácticamente insignificante. Cuando el motor trabaja en torno al 40% de carga, la propia eficiencia del motor es más importante que la variación debida al variador de frecuencia.

³ Para más información acerca de las pérdidas que incluyen en el sistema los variadores de frecuencia, ver el documento "Electric Motor Efficiency under Variable Frequencies and Loads" de los autores "Charles M. Burt Xianshu Piao Franklin Gaudi Bryan Busch y N. F. N. Taufik".

3.2.2 BLOQUE 2. MOTOR

ASPECTO A ANALIZAR

- Rendimiento del motor.

$$\eta_{real} = F_{desb} \times (\eta_{nominal} - F_{reb} - F_{ant} - F_{\Delta V})$$

Determinar para ello:

1. Características generales del motor.
2. Tensiones de línea.
3. Potencia eléctrica absorbida por el motor (P_e).
4. Factores de depreciación del rendimiento nominal:
 - Antigüedad del motor $\rightarrow F_{ant}$.
 - Nº de rebobinados $\rightarrow F_{reb}$.
 - $U_{alimentación}$ VS $U_{nominal}$ $\rightarrow F_{\Delta V}$.
 - Desbalance de tensión $\rightarrow F_{desb}$.
5. Rendimiento real y pérdidas del motor.

3.2.2.1 Características generales del motor

Para realizar una evaluación del rendimiento del motor es imprescindible conocer sus datos nominales de funcionamiento (véase *Tabla 3.2.2.1.1* y *3.2.2.1.2*) y sus curvas de comportamiento para diferentes puntos de carga (véase *Gráfico 3.2.2.1.1*).

Tabla 3.2.2.1.1. Características generales Motor ATURIA H10 180

| Tipo Type Type | Potencia nominal Motor rating Puissance nominale | | Tensione Voltage Tension | Rendim. Efficiency Rendement | Fattore di potenza Power factor Fact. de puissance | Corrente assorbita Absorbed Current Intensité absorbée | Giri/min R.P.M. Tours/1' | la/ln | Ca/Cn | J (1/4 PD ²) |
|----------------------|--|-----|--------------------------------|------------------------------------|--|--|--------------------------------|-------|-------|-----------------------------|
| | kW | HP | Volt | η % | Cos φ | Amp | | | | (Kgm ²) |
| H 10100 | 75 | 100 | 380 | 86,6 | 0,86 | 152 | 2898 | 5,2 | 1,50 | 0,0780 |
| | | | 400 | 86,8 | 0,84 | 149 | 2910 | | | |
| | | | 415 | 86,8 | 0,81 | 149 | 2917 | | | |
| H 10125 | 92 | 125 | 380 | 87,0 | 0,85 | 188 | 2899 | 5,2 | 1,50 | 0,1045 |
| | | | 400 | 87,2 | 0,82 | 185 | 2911 | | | |
| | | | 415 | 87,1 | 0,79 | 186 | 2918 | | | |
| H 10150 | 110 | 150 | 380 | 87,4 | 0,86 | 222 | 2903 | 5,5 | 1,50 | 0,1325 |
| | | | 400 | 87,6 | 0,84 | 217 | 2914 | | | |
| | | | 415 | 87,5 | 0,81 | 218 | 2920 | | | |
| H 10180 | 132 | 180 | 380 | 87,6 | 0,87 | 264 | 2901 | 5,4 | 1,45 | 0,1580 |
| | | | 400 | 87,8 | 0,84 | 258 | 2912 | | | |
| | | | 415 | 87,8 | 0,81 | 257 | 2919 | | | |

Gráfico 3.2.2.1.1. Curvas funcionamiento a Carga Parcial Motor ATURIA H10 180

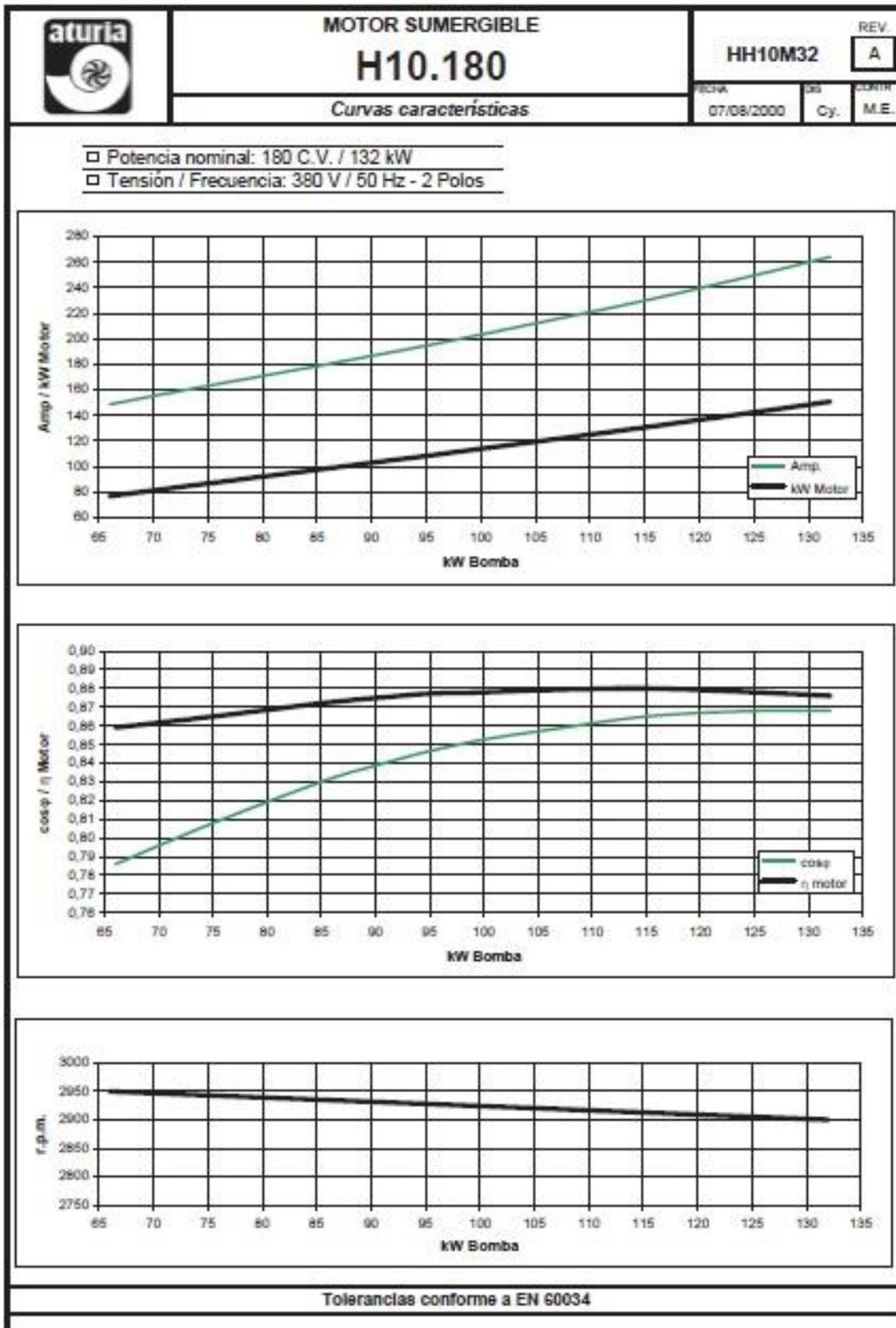


Tabla 3.2.2.1.2. Características generales Motor CAPRARI MAC 635/2A

| Motor type Moteur type Motore tipo | Motor power Puiss. moteur Potenza motore | | Max water temperature Température max eau Temperatura max acqua | Starts / hour max Max démarrages / heure Max avviamenti/ora | Revolutions per minute Tours minute Giri al minuto | Efficiency Rendement Rendimento | | Power factor Facteur de puissance Fattore di potenza | | Nominal current Intensité nominale Corrente nominale | | Starting Démarrage Avviamento | | | |
|--|--|------|---|---|--|---------------------------------------|-------|--|-------|--|------|-------------------------------------|---|---------------------------------|-------------------|
| | [kW] | [HP] | | | | [°C] | [No.] | [n ⁻¹] | 3/4 | 4/4 | 3/4 | 4/4 | Fully loaded A pleine charge A pieno carico | Not loaded A vide A vuoto | Direct Directo |
| | | | | (1) | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 |
| HT HI-TECH | | | | | | | | | | | | | | | |
| MAC65/2A | 4 | 5,5 | 30 | 15 | 2825 | 67,5 | 70,0 | 0,695 | 0,800 | 10,3 | 8,4 | 1,5 | 3 | 1,00 | 2,10 |
| MAC67/2A | 5,5 | 7,5 | 30 | 15 | 2815 | 71,5 | 72,0 | 0,720 | 0,805 | 13,7 | 9,3 | 1,5 | 3,2 | 1,05 | 2,25 |
| MAC610/2A | 7,5 | 10 | 30 | 15 | 2830 | 75,5 | 75,5 | 0,720 | 0,800 | 17,9 | 11,7 | 2 | 4,1 | 1,40 | 2,90 |
| MAC612/2A | 9,2 | 12,5 | 30 | 15 | 2840 | 77,5 | 77,5 | 0,710 | 0,800 | 21,3 | 14,4 | 1,7 | 4 | 1,32 | 2,80 |
| MAC615/2A | 11 | 15 | 30 | 15 | 2835 | 78,5 | 77,5 | 0,755 | 0,825 | 24,8 | 14,2 | 2,5 | 5,2 | 1,70 | 3,60 |
| MAC617/2A | 13 | 17,5 | 30 | 15 | 2840 | 78,0 | 79,0 | 0,685 | 0,800 | 29,7 | 23,4 | 2,6 | 5 | 1,65 | 3,50 |
| MAC620/2A | 15 | 20 | 30 | 15 | 2855 | 81,0 | 80,5 | 0,720 | 0,800 | 33,7 | 18,6 | 1,95 | 5 | 1,70 | 3,50 |
| MAC625/2A | 18,5 | 25 | 25 | 15 | 2840 | 81,5 | 81,0 | 0,735 | 0,820 | 40,2 | 22,4 | 2,5 | 5,4 | 1,80 | 3,80 |
| MAC630/2A | 22 | 30 | 25 | 13 | 2820 | 82,5 | 80,5 | 0,755 | 0,825 | 48,0 | 23,4 | 1,7 | 4,5 | 1,50 | 3,20 |
| MAC635/2A | 26 | 35 | 25 | 13 | 2850 | 84,0 | 83,0 | 0,740 | 0,815 | 55,6 | 28,4 | 2 | 5,3 | 1,75 | 3,70 |

En función del fabricante, las curvas de comportamiento a carga parcial vienen dadas en archivos diferentes a las características generales (ATURIA, véase Tabla 3.2.2.1.1 y Gráfico 3.2.2.1.1) o bien, vienen dadas en un mismo archivo (CAPRARI, véase Tabla 3.2.2.1.1).

A partir de los archivos de características generales mostrados (véase Tablas 3.2.2.1.1 y 3.2.2.1.2), se realiza una recopilación de los datos nominales de funcionamiento en la hoja de cálculo:

Tabla 3.2.2.1.3. Ejemplo de recopilación datos nominales funcionamiento Motor MEB 160M1-2

| | | | |
|-----------------------|------------|--------------------|-------------|
| MOTOR | | | |
| Marca: | MEB | Modelo: | MG 160 M1-2 |
| Potencia: | 11 (kW) | cos φ: | 0,89 |
| Intensidad nom. (ΔV): | 20 (A) | Tensión nom. (ΔV): | 400 (V) |
| Vel. Nominal: | 2940 (rpm) | Rendimiento nom. : | 89,4% |
| HISTORIAL | | Años: | 3,8 |
| | | Nº de Rebobinados: | 0 |

En la “Hoja de cálculo” se añaden los valores del Rendimiento Nominal del motor funcionando al 50, 75 y 100% de carga. Con estos datos se crea la curva “ $\eta_{\text{motor-nominal}} - \text{Factor de Carga}$ ”.

Tabla 4.2.1.4. Curva $\eta_{\text{motor-nominal}} - \text{Factor de Carga}$

| Curva F.C.- $\eta_{\text{nominal-motor}}$ | | | | |
|---|---------------------------|--|------|------|
| F.C. | $\eta_{\text{nom-motor}}$ | Ec. ajuste $\eta_{\text{nominal-motor}} - \text{F.C.}$ | | |
| 0,5 | 0,8482 | A | B | C |
| 0,75 | 0,8777 | -0,14 | 0,30 | 0,74 |
| 1 | 0,8893 | $\eta = A \times x^2 + B \times x + C$ | | |

Aquellos fabricantes que no ofrezcan la curva de comportamiento del rendimiento del motor en función del factor de carga, se toma para el 50, 75 y 100% de carga el rendimiento nominal.

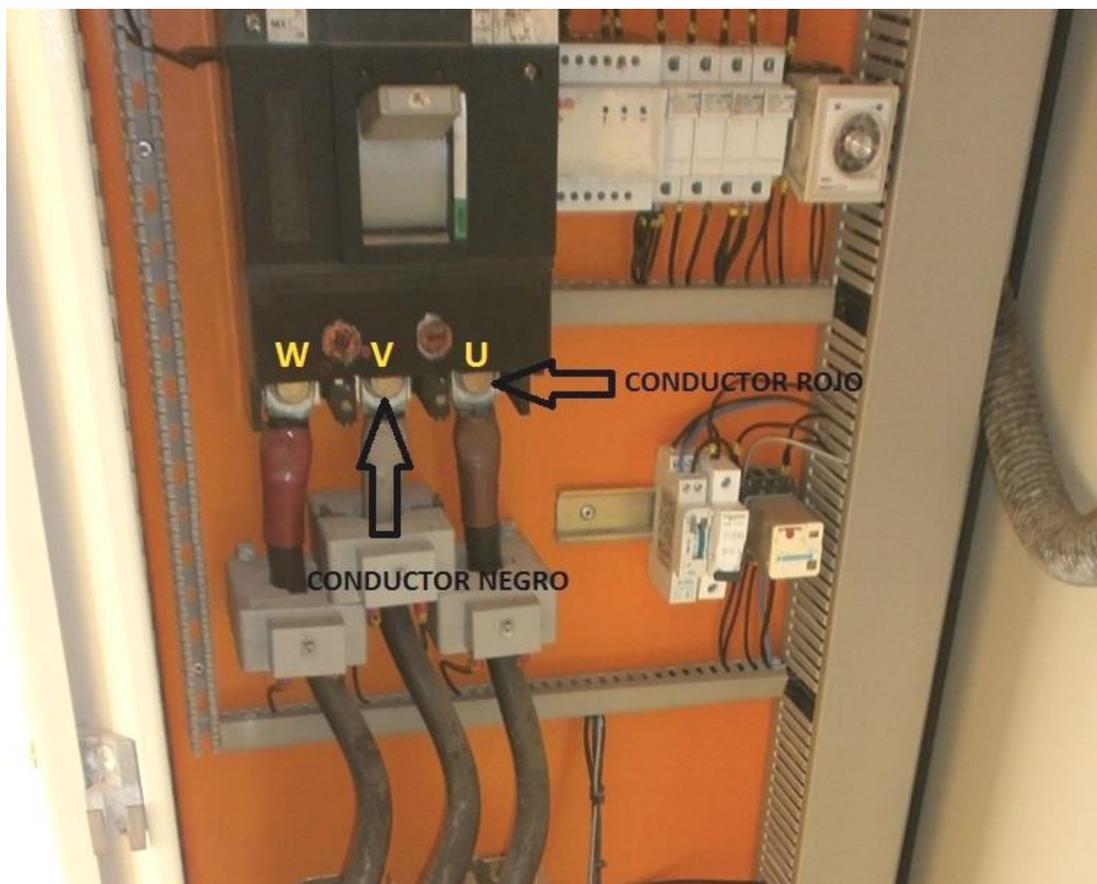
3.2.2.2 Tensiones de línea

Se pretenden medir las tensiones entre cada una de las tres líneas, U, V y W. La pinza amperimétrica incluye un juego de conductores de prueba para realizar las mediciones.

Se coloca el selector en la posición "V", la pinza se pone automáticamente en modo "AUTO SENSE", en el que lee tensión alterna y continua. Este modo sirve para realizar las mediciones.

Cuando conecte los conductores de prueba al equipo, conecte el conductor común (negro) antes de conectar el conductor con corriente (rojo); al quitar los conductores de prueba, retire primero el conductor con corriente (rojo) antes de retirar el conductor común (negro). En las *fotografía 5, 6 y 7* se aprecia cómo se han de colocar los conductores para realizar mediciones de tensión en dos instalaciones con dos Cuadros Generales de Derivación (C.G.D.) distintos.

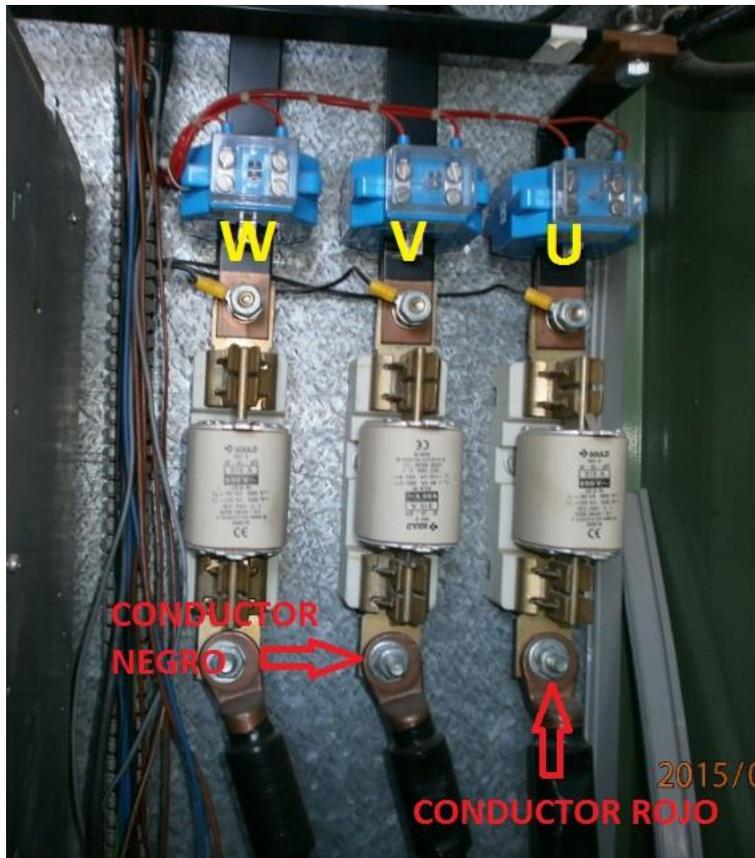
Fotografía 5. Posición de los conductores para medir tensión entre las líneas U-V. C.G.D. 1



Fotografía 6. Imagen descriptiva del C.G.D. 2



Fotografía 7. Posición de los conductores para medir tensión entre las líneas U-V. C.G.D. 2



Este proceso se realiza 3 veces para medir la tensión entre las fases U-V, V-W y W-U (tensiones de línea) obteniendo:

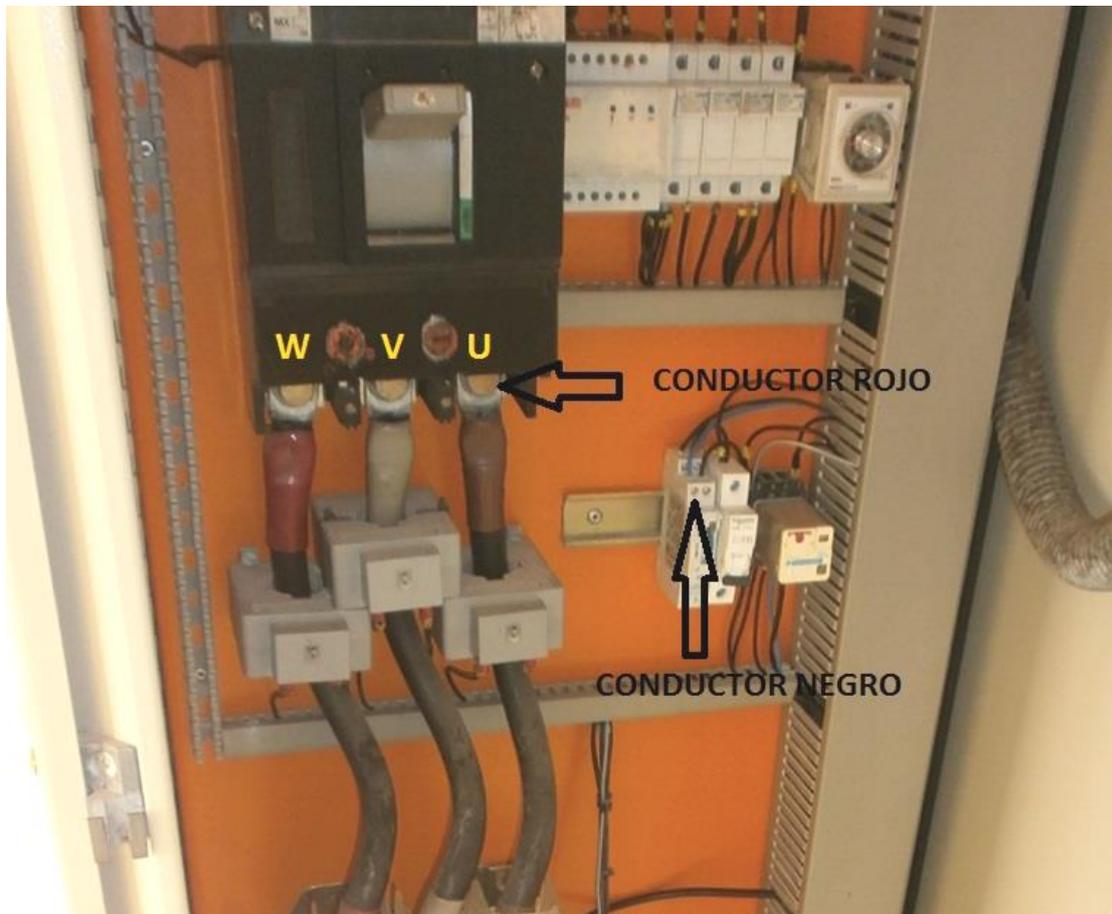
V_{U-V} : Tensión medida entre las líneas U y V.

V_{V-W} : Tensión medida entre las líneas V y W.

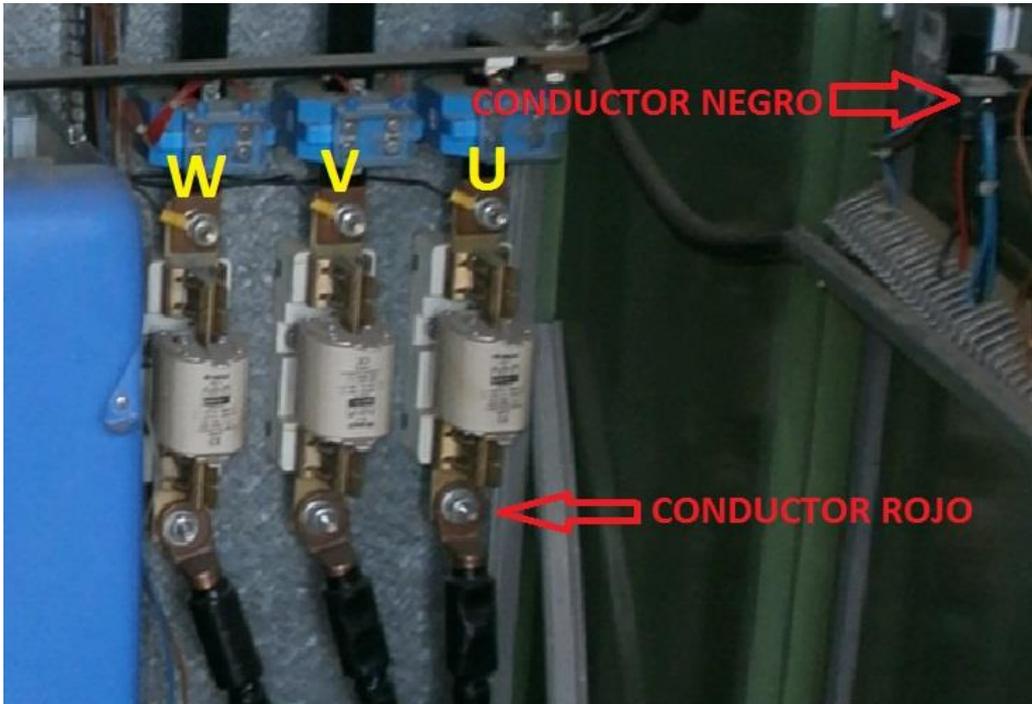
V_{W-U} : Tensión medida entre las líneas W y U.

Si durante las mediciones se aprecia un desbalance importante entre los diferentes valores de tensión de línea obtenidos, es aconsejable tomar medida de la tensión de cada una de las fases para saber de qué fase procede el desbalance (veáse *fotografías 8 y 9*). En este caso el conductor rojo tiene que estar en contacto con la fase a analizar y el negro con el neutro (generalmente, el neutro se identifica por ser un cable de color azul). En caso de no existir neutro, buscar cable de toma de tierra (se identifica por ser de color amarillo y verde).

Fotografía 8. Posición de los conductores para medir tensión de la fase U. C.G.D 1



Fotografía 9. Posición de los conductores para medir tensión de la fase U. C.G.D 2



Para hallar la tensión de alimentación al motor, se deben tener en cuenta las pérdidas que se producen por efecto Joule⁴ en el tramo que comprende el punto de medida hasta los bornes del motor.

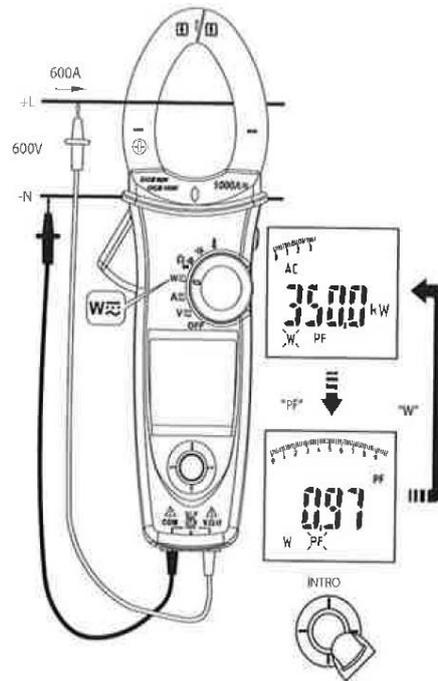
3.2.2.3 Potencia eléctrica absorbida por el motor (P_e).

La potencia eléctrica consumida por el motor será la suma de la potencia consumida por cada una de las tres fases. Por lo que habrá que realizar el proceso que se ve en el *Gráfico 3.2.2.3.1* para cada una de las tres fases U, V y W. Esta medición es conveniente realizarla lo más próxima posible al Motor, es decir, a la salida del C.G.D.

⁴ Efecto Joule: Cuando por un material conductor con resistencia no nula "R" - es decir la práctica totalidad de los materiales conductores - circula una corriente "I" se produce un calentamiento en el material. La potencia calorífica perdida "P" en forma de calor viene dada por:

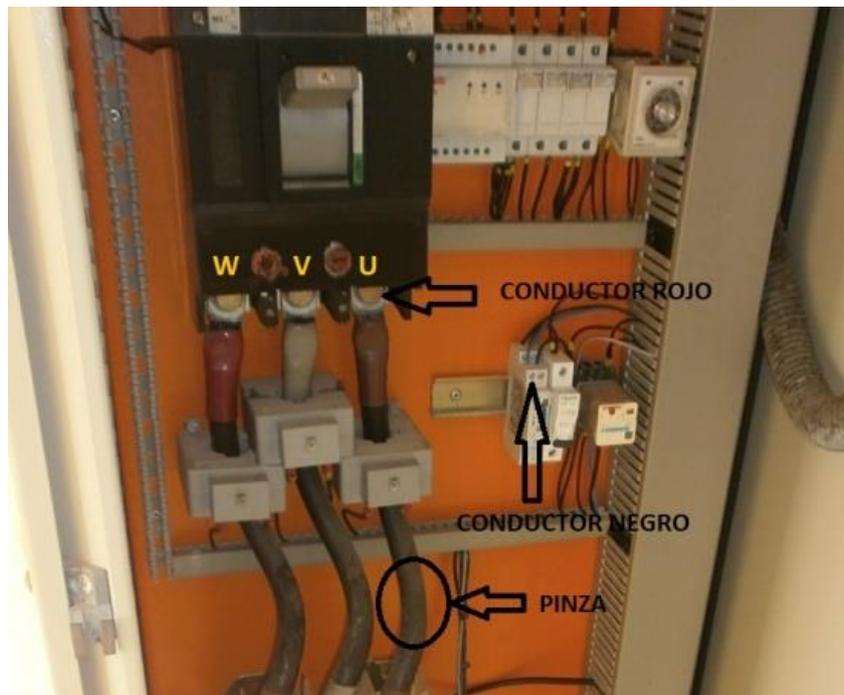
$$P = R \times I^2$$

Gráfico 3.2.2.3.1. Posición pinza para medir Potencia de fase



Con el selector puesto en la posición "W", con la tecla de navegación nos aseguramos de seleccionar el modo "W". En la *fotografía 10* se indica cómo conectar la pinza en un Cuadro General de Derivación para realizar las mediciones.

Fotografía 10. Medición potencia de fase U



3.2.2.4 Factores de depreciación del rendimiento nominal

Una vez determinado el rendimiento nominal en función del factor de carga, se deprecia de acuerdo a los siguientes criterios:

- Antigüedad del motor.
- Número de rebobinados.
- Diferencia entre la tensión de alimentación frente a la tensión nominal del motor.
- Desbalance entre las tensiones de línea.

Tabla 3.2.2.4.1. Factores de depreciación

| Depreciación rendimiento | |
|--|--------|
| Factor antigüedad: | 0,00% |
| Factor rebobinados: | 0,00% |
| Factor $V_{\text{alimentación}} - V_{\text{nom.}}$: | -0,04% |
| Factor $V_{\text{desbalance}}$: | 100,0% |

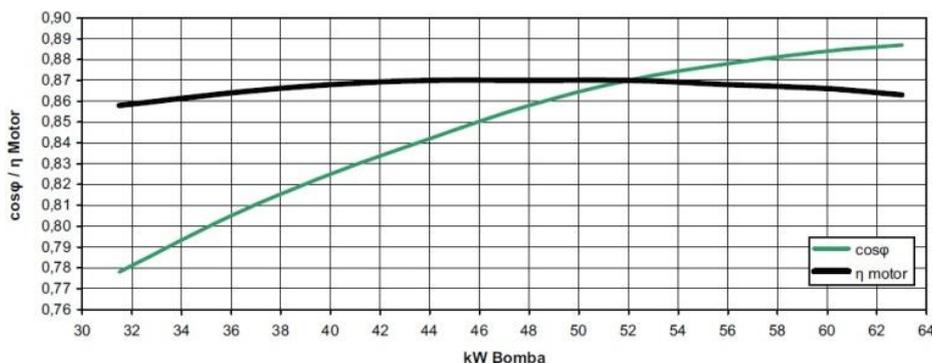
3.2.2.5 Rendimiento real y pérdidas del motor

Para hallar el rendimiento real del motor, hace falta conocer el rendimiento nominal y el valor de los factores de depreciación. Para conocer el rendimiento nominal del motor trabajando a una carga determinada, hace falta conocer el factor de carga (F.C.). Por ende, para conocer el factor de carga certero, hará falta conocer el rendimiento real con el que funciona el motor y para conocer éste, hace falta conocer el rendimiento nominal del motor.

La metodología para realizar este cálculo se trata de un proceso iterativo, en el que se compara el rendimiento nominal, el factor de carga y el rendimiento real:

1. $\eta_{\text{nominal}} = f(F.C.)$

Gráfico 3.2.2.5.1. Rendimiento función del factor de carga para motor ATURIA H8.85



2. $F.C. = f(\eta_{real})$

$$F.C. = \frac{P_e * \eta_{real}}{P_{nominal}}$$

3. $\eta_{real} = f(\eta_{nominal})$

$$\eta_{real} = F_{desb} \times (\eta_{nominal} - F_{reb} - F_{ant} - F_{\Delta V})$$

En el apartado “3.3 Cálculos y Evaluación” se describe más en detalle este proceso iterativo para hallar el rendimiento real del motor.

3.2.3 BLOQUE 3. BOMBA

ASPECTOS A ANALIZAR

1. Punto de funcionamiento. Determinar:
 - H (Altura neta de bombeo).
 - Q (Caudal).

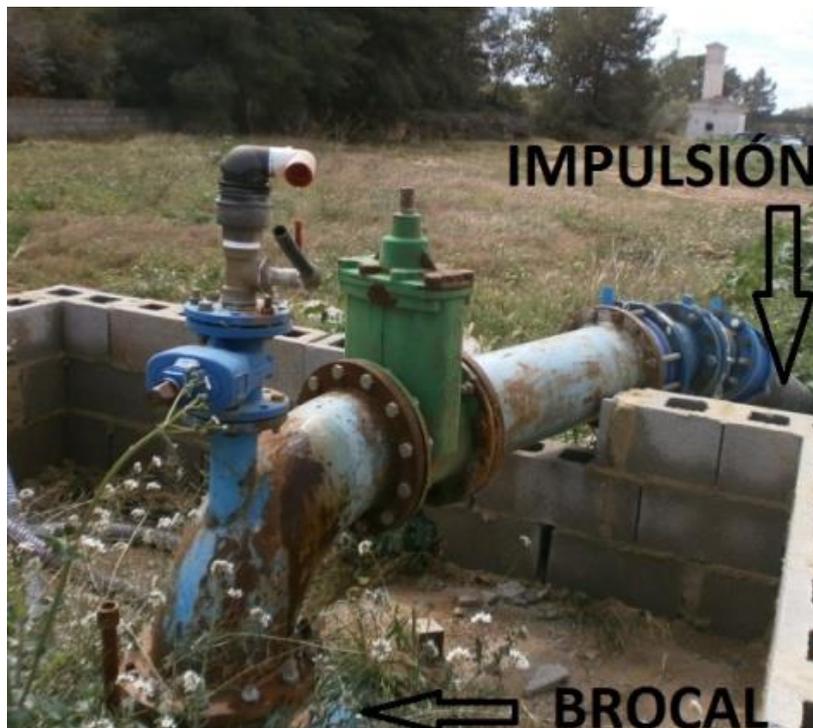
En este apartado se desarrolla qué mediciones hacen falta para hallar la altura manométrica y el caudal real que aporta la bomba en aras a determinar su punto de funcionamiento real. En el apartado “Cálculos y Evaluación” se muestran los cálculos para estimar el rendimiento real con el que está funcionando la bomba. Por lo tanto, a continuación nos centraremos en cómo obtener el punto de funcionamiento.

3.2.3.1 Punto de funcionamiento

A la hora de analizar el punto de funcionamiento de una instalación, se distinguen dos tipos de instalación:

- **CASO A:** Pozo (véase *Fotografía 11*)
- **CASO B:** Rebombeo (véase *Fotografía 12*)

Fotografía 11. CASO A: Pozo



Fotografía 12. CASO B: Rebombear



Para hallar el punto en el que está funcionando la bomba debemos hallar:

1. Caudal (Q).
2. Carga neta de bombeo (H).

El Caudal es un parámetro que se obtiene directamente de una medición in situ a través de un contador o caudalímetro.

Para poder hallar la altura real de bombeo se han de contabilizar las pérdidas de carga por fricción en las conducciones y las pérdidas menores en elementos de regulación hidráulica. También se debe hacer unas mediciones de niveles de referencia respecto a la bomba además de leer las presiones en los manómetros oportunos según cada caso. Se expone a continuación el método seguido:

- **Mediciones hidráulicas**

Se deben realizar mediciones de los niveles de referencia respecto al equipo de bombeo y lectura del manómetro de aspiración y/o descarga, según el caso. Para simplificar, se divide la explicación en dos casos: Caso A, pozo; Caso B, rebombear. A continuación se detallan las mediciones a realizar en cada uno de los casos.

- **CASO A.** Pozo.

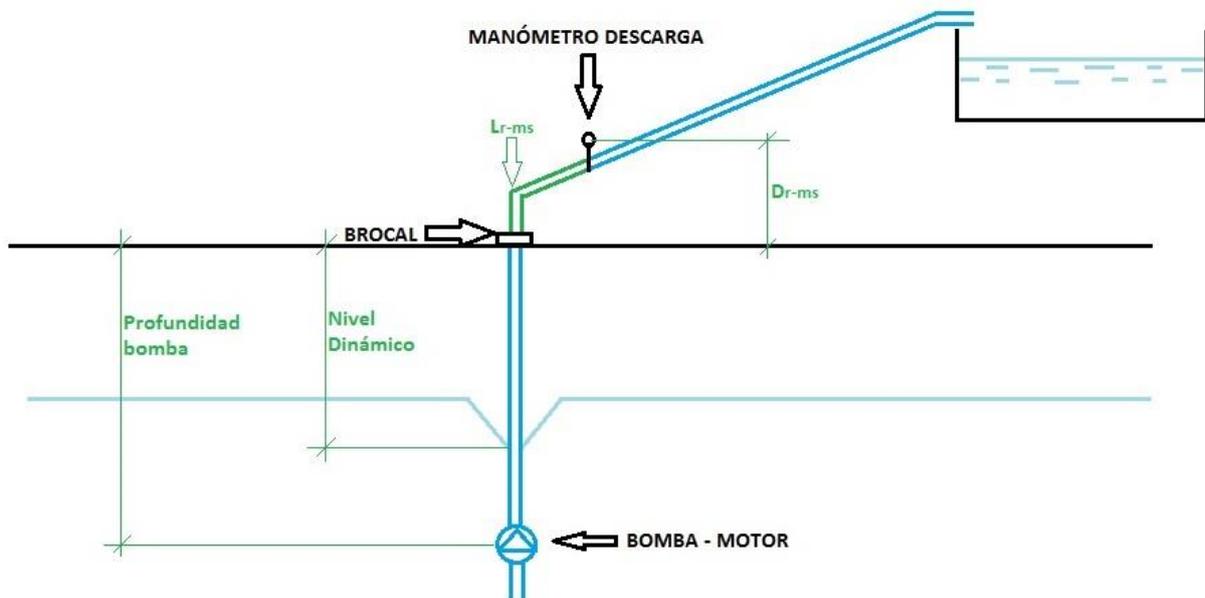
Se deben obtener las siguientes mediciones:

- **Nivel dinámico.** Se debe conocer la diferencia de nivel entre el brocal y la lámina de agua. Este dato se obtiene de una sonda piezométrica.
- **Profundidad de la bomba.** Se debe conocer a que profundidad se halla la bomba para calcular las pérdidas de carga correctamente. Este dato se obtendrá de documentación archivada.
- **D_{r-ms} .** Altura del manómetro de descarga respecto al brocal. Tendrá valor positivo si el manómetro está por encima del brocal y negativo si está por debajo.
- **L_{r-ms} .** Longitud total de la conducción desde el brocal hasta el manómetro de descarga.

Se leerá también la presión en el manómetro de descarga (P_{salida}).

En el siguiente dibujo se detalla gráficamente las mediciones a realizar:

Gráfico 3.2.3.1.1. Esquema gráfico de las medidas a realizar en un pozo



- **CASO B.** Rebombeario.

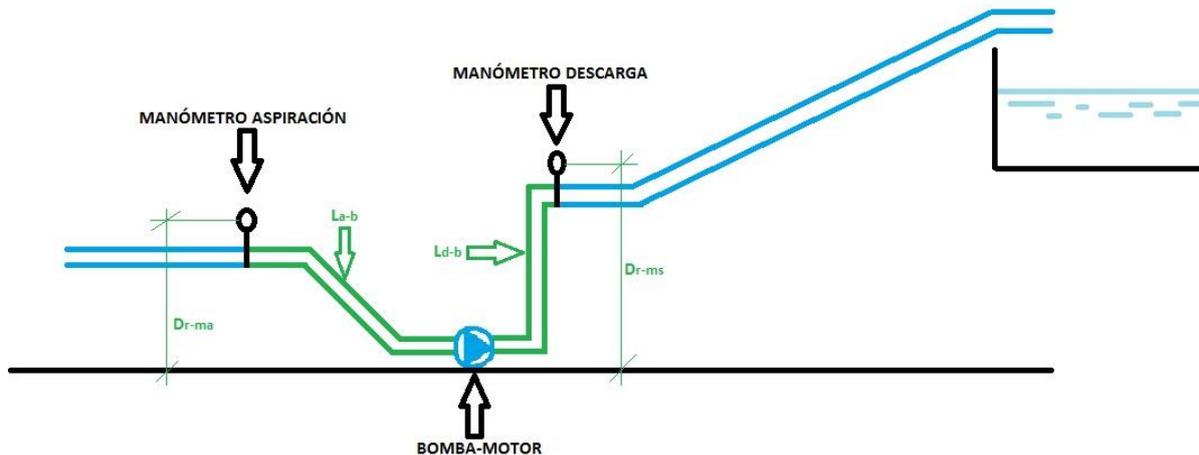
Se deben obtener las siguientes mediciones:

- $D_{r\text{-}ma}$. Altura del manómetro de aspiración respecto al equipo motor-bomba. Tendrá valor positivo si el manómetro está por encima del equipo y negativo si está por debajo.
- $D_{r\text{-}ms}$. Altura del manómetro de descarga respecto al equipo motor-bomba. Tendrá valor positivo si el manómetro está por encima del equipo y negativo si está por debajo.
- $L_{a\text{-}b}$. Longitud total de la conducción que va desde el manómetro de aspiración hasta la entrada a la bomba.
- $L_{d\text{-}b}$. Longitud total de la conducción que va desde la salida de la bomba hasta el manómetro de descarga.

Se leerá la presión en el manómetro de aspiración ($P_{\text{aspiración}}$) y la presión en el manómetro de descarga (P_{salida}).

En el siguiente dibujo se detalla gráficamente las mediciones a realizar:

Gráfico 3.2.3.1.2. Esquema gráfico de las medidas a realizar en un rebombeario



- **Pérdidas de carga en la tubería**

Las pérdidas de carga por fricción en conducciones son función del material, longitud y diámetro de la conducción hidráulica, y del caudal que trasiega.

Para hallar el factor de fricción se hace uso de la fórmula de “Swamee-Jain”. Esta fórmula admite una divergencia máxima en el cálculo del factor de fricción del 3,21%.

$$f = \frac{0,25}{\left[\log\left(\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}}\right) \right]^2}$$

Una vez hallado el factor de fricción se halla mediante la fórmula de “Darcy-Weisbach” las pérdidas de carga en la tubería:

$$h_f = \frac{8 * f * L * Q^2}{\pi^2 * g * D^5}$$

La rugosidad absoluta de los materiales (veáse *Tabla 4.3.1.1*) es un dato que no queda estrictamente acotado para cada material. Por lo tanto, cuando se inserten los datos en la “Hoja de cálculo Excel” se anotará la influencia de la variación de la rugosidad absoluta sobre las pérdidas totales. En la hoja “Pérdidas hidráulicas” de la “hoja de cálculo Excel” va adjuntada la tabla mostrada (*Tabla 4.3.1.1*) para consultar la rugosidad de los materiales.

Por ejemplo, si las conducciones son de fundición y la instalación lleva en funcionamiento varios años, primero se realizan los cálculos con una Rugosidad absoluta de 1 mm² y luego con 4 mm². Las pérdidas en la bomba varían entre un 1-2% aproximadamente. Se toma constancia de dicho valor para luego hacer referencia a esta variación en el informe final de la auditoría.

Tabla 3.2.3.1.1. Rugosidad de los materiales. Fuente: Facultad Agronomía Universidad Pública Uruguay

| Material de construcción | Rugosidad (k: mm) |
|--|-------------------|
| <u>Tuberías de plástico</u> | |
| Poliétileno (P.E.)..... | 0,002 |
| Cloruro de polivinilo (PVC) | 0,02 |
| <u>Tuberías metálicas</u> | |
| Tuberías estiradas, sin soldaduras de latón, cobre, plomo..... | 0,0015 - 0,01 |
| Aluminio..... | 0,015 - 0,06 |
| <u>Acero estirado sin soldaduras:</u> | |
| Nuevas..... | 0,02 - 0,10 |
| Después de muchos años en servicio..... | 1,2 - 1,5 |
| <u>Acero galvanizado:</u> | |
| Nuevas, buena galvanización..... | 0,07 - 0,10 |
| Galvanización ordinaria..... | 0,10 - 0,15 |
| <u>Fundición:</u> | |
| Nuevas..... | 0,25 - 1,00 |
| Nuevas con revestimiento bituminoso..... | 0,10 - 0,15 |
| Asfaltadas..... | 0,12 - 0,30 |
| Después de varios años en servicio..... | 1,00 - 4,00 |
| <u>Hormigón y fibrocemento:</u> | |
| - <u>Hormigón:</u> | |
| Superficie muy lisa..... | 0,3 - 0,8 |
| Condiciones medias..... | 2,5 |
| Superficie rugosa..... | 3 - 9 |
| Hormigón armado..... | 2,5 |
| - <u>Fibrocemento (F.C.):</u> | |
| Nuevas..... | 0,05 - 0,10 |
| Después de varios años en uso..... | 0,60 |

- **Pérdidas menores**

Las pérdidas menores tienen lugar en los elementos auxiliares de regulación y/o control de la instalación hidráulica, tales como válvulas de corte, válvulas de retención, codos, contadores, expansiones, dilataciones, etc.

Cuando se realiza la visita a campo, se toma constancia de todos los elementos presentes entre el manómetro de referencia y la bomba. De cada uno de los elementos se tendrá que recabar su diámetro nominal. También se contarán en las pérdidas menores expansiones o dilataciones en las tuberías de aspiración/descarga, diferenciándose entre súbitas y graduales (véase *fotografía 8*). La velocidad del fluido a su paso por las expansiones/dilataciones se calculará para el diámetro medio.

Para cada elemento se obtienen las pérdidas menores con la siguiente fórmula:

$$h_v = k * \frac{v^2}{2 * g}$$

Para hallar el valor exacto de la variable k de cada elemento, se debería consultar al fabricante. En los cálculos realizados se han tomado datos promedio para cada tipo de elemento obtenidos de la "Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real":

Tabla 3.2.3.1.2. Coeficiente k pérdidas menores

| Accesorios | K | L/D |
|---|------|-----|
| Válvula esférica (totalmente abierta) | 10 | 350 |
| Válvula en ángulo recto (totalmente abierta) | 5 | 175 |
| Válvula de seguridad (totalmente abierta) | 2.5 | - |
| Válvula de retención (totalmente abierta) | 2 | 135 |
| Válvula de compuerta (totalmente abierta) | 0.2 | 13 |
| Válvula de compuerta (abierto $\frac{3}{4}$) | 1.15 | 35 |
| Válvula de compuerta (abierto $\frac{1}{2}$) | 5.6 | 160 |
| Válvula de compuerta (abierto $\frac{1}{4}$) | 24.0 | 900 |
| Válvula de mariposa (totalmente abierta) | - | 40 |
| "T" por la salida lateral | 1.80 | 67 |
| Codo a 90° de radio corto (con bridas) | 0.90 | 32 |
| Codo a 90° de radio normal (con bridas) | 0.75 | 27 |
| Codo a 90° de radio grande (con bridas) | 0.60 | 20 |
| Codo a 45° de radio corto (con bridas) | 0.45 | - |
| Codo a 45° de radio normal (con bridas) | 0.40 | - |
| Codo a 45° de radio grande (con bridas) | 0.35 | - |

Esta tabla están adjuntas en la "hoja de cálculo Excel" en la hoja "Pérdidas hidráulicas".

Todos los accesorios que se ubiquen entre los manómetros y la bomba deberán registrarse en las casillas del *Tabla 3.2.3.1.3*:

Tabla 3.2.3.1.3. Pérdidas en accesorios

| Accesorios | Pérdidas en accesorios " (hasta manómetro)" | | | | |
|-----------------------------|---|---------------|-------------------|-------|------|
| | Codo | Válvula corte | Válvula retención | Otros | |
| Unidades | | 3 | | 1 | |
| Diámetro (mm) | | 100 | | 70 | |
| Coeficiente K | 0,75 | 0,25 | 2,5 | 0,7 | |
| Velocidad (m/s) | 0,00 | 1,95 | 0,00 | 3,98 | 0,00 |
| h _{accesorios} (m) | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,6 | 0,0 |

Puesto que los accesorios más comunes que se encuentran entre el manómetro y la bomba son los codos, las válvulas de corte y las válvulas de retención, tienen su propia columna con la constante de pérdidas menores "k" ya insertada.

Cuando la instalación disponga de otros accesorios (diferentes a un codo, válvula de corte o válvula de retención) que incluyen pérdidas de carga entre el manómetro y la bomba, se incluirán en el apartado "Otros" (véase *Tabla 3.2.3.1.3*). En este caso, se debe insertar también el coeficiente "k" de los accesorios. En la hoja "Pérdidas hidráulicas" de la "hoja de cálculo Excel" se encuentran las tablas con los valores promedios de "k" para diferentes tipos de accesorios.

- **Ejemplos de instalaciones**

A continuación se describe varios ejemplos prácticos de toma de mediciones para diferentes tipos de instalaciones:

- **CASO A.** Bombeo de un Pozo.

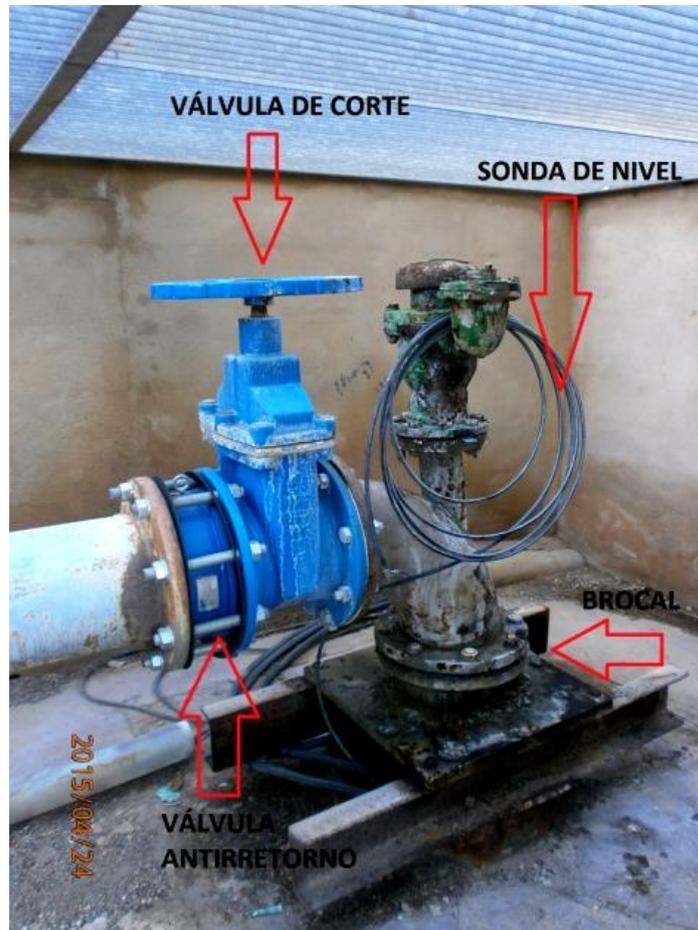
- **Mediciones hidráulicas**

El manómetro es un instrumento de medición de unión mediante rosca. Si no se dispone de un manómetro instalado a la salida del pozo, es interesante ver si existe algún grifo donde instalarlo provisionalmente. En esta instalación se ha instalado un manómetro provisional en un grifo de muestra de ¼ de pulgada para realizar mediciones (veáse *fotografía 13*). La lectura del manómetro (P_{salida}) se debe anotar.

Fotografía 13. Manómetro instalado en grifo de muestras



Fotografía 14. Accesorios brocal del pozo



En la *fotografía 14* se ve una sonda para medir el nivel dinámico. Con un compresor portátil se puede medir el nivel de agua que hay por encima de la bomba. El compresor inyecta presión hasta que desplaza toda la columna de agua que hay sobre la bomba. Cuando la presión se estabilice, indica los metros de columna de agua (generalmente, en bares) sobre la bomba. La profundidad de la bomba se debe obtener de registros.

La distancia entre el brocal y el manómetro (“ L_{r-ms} (Long. brocal – man. salida)”), y la diferencia de altura entre ambos (“ D_{r-ms} (Altura manómetro de salida)”) han de ser anotadas.

En el *Tabla 3.2.3.1.4* se ven los datos a recabar en el caso de una instalación con 1 manómetro.

Tabla 3.2.3.1.4. Ejemplo de medidas hidráulicas 1 manómetro

| MEDIDAS HIDRÁULICAS | | | | | | |
|---------------------------|-----|---------------------|---|-------|-----|---|
| Caudal: | 96 | (m ³ /h) | Nivel dinámico: | 161,2 | (m) | |
| P _{salida} : | 5,8 | (bar) | D _{r-ms} (Altura manómetro de salida): | 1 | (m) | |
| P _{aspiración} : | | (bar) | D _{r-ma} (Altura manómetro de aspiración): | | (m) | (m) |
| Caso A (1 manómetro) | | | L _{r-ms} (Long. brocal-man. salida): | 1,8 | (m) | Profundidad bomba: 229 |
| Caso B (2 manómetros) | | | L _{a-b} (Long. man. asp-bomba): | | (m) | L _{d-b} (Long. man. desc-bomba): |

- **Pérdidas de carga en la tubería**

La columna de impulsión y el tramo de tubería desde el brocal hasta el manómetro son de Fundición (Rugosidad Absoluta varía entre 0,25-4 mm²). Véase *Tabla 3.2.3.1.5*.

Tabla 3.2.3.1.5. Pérdidas en la tubería

| Pérdidas en la tubería (fórmula de "Darcy-Weisbach") | | | | | | | | | |
|--|-----------|-------------|-------------|--------|---------|----------|--------|--------|--|
| Caso A (1 manómetro): | Eabs (mm) | Lprof.bomba | Lbrocal-man | D (mm) | V (m/s) | Re | f | hf (m) | |
| Columna impulsión: | 4 | 152,0 | 2,2 | 200 | 1,11 | 2,00E+08 | 0,0486 | 2,4 | |
| | | | | | 0,00 | 0,00E+00 | 0,0000 | 0,0 | |
| Caso B (2 manómetros): | Eabs (mm) | Lprof.bomba | Lbrocal-man | D (mm) | V (m/s) | Re | f | hf (m) | |
| Aspiración: | | | | | | | 0,0000 | 0,0 | |
| Descarga: | | | | | | | 0,0000 | 0,0 | |

Material: Fundición. Ver varian pérdidas en función de RUGOSIDAD ABSOLUTA 0,25-4 mm

- **Pérdidas menores**

Como se aprecia en las *fotografías 13 y 14* existen los siguientes accesorios hidráulicos entre el brocal y el manómetro:

- 1 Codo 90° DN200
- 1 Válvula de corte DN200
- 1 Válvula de retención DN200
- 1 Contador DN200

Todos estos accesorios se adjuntan en la tabla expuesta en la *Tabla 3.2.3.1.6*:

Tabla 3.2.3.1.6. Pérdidas en accesorios

| Pérdidas en accesorios " (hasta manómetro) " | | | | | |
|--|------|---------------|-------------------|---------|-----|
| Accesorios | Codo | Válvula corte | Válvula retención | Otros | |
| Unidades | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| Diámetro (mm) | 200 | 200 | 200 | 200 | |
| Coefficiente K | 0,75 | 0,25 | 2,5 | 10 | |
| Velocidad (m/s) | 1,11 | 1,11 | 1,11 | 1,11409 | 0 |
| h _{accesorios} (m) | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,6 | 0,0 |

1 Contador de DN200. Coeficiente K obtenido de las hojas de cálculo echas por TECVASA

- **CASO B.** Rebombeo 2 bombas en paralelo.

- **Mediciones hidráulicas**

Esta instalación consta de dos bombas en paralelo (véase *fotografías 15 y 16*). En el momento de la toma de datos, conviene que se analicen por separado, funcionando primero una y luego la otra. De este modo las presiones y caudal que se miden son las que inyecta cada bomba.

Fotografía 15. Rebompeo y accesorios hidráulicos



Fotografía 16. Rebompeo y accesorios hidráulicos



Se trata de una instalación con 2 manómetros, uno en la conducción de aspiración y otro en la de descarga. Se debe leer y anotar los valores que muestran el manómetro de aspiración ($P_{\text{aspiración}}$) y el manómetro de salida (P_{salida}). La distancia entre cada uno de los manómetros y la bomba se debe anotar (" L_{a-b} (Long. man. asp-bomba)" y " L_{d-b} (Long. man. desc-bomba)"), igual que la altura de ambos manómetros respecto a la bomba (" D_{r-ms} (Altura manómetro de salida)" y " D_{r-ma} (Altura manómetro de aspiración)").

Gráfico 3.2.3.1.3. Ejemplo de medidas hidráulicas instalación con 2 manómetros

| MEDIDAS HIDRÁULICAS | | | | | |
|---------------------------|--|---------------------|--|--------------------|--|
| Caudal: | 48,6 | (m ³ /h) | Nivel dinámico: | | (m) |
| P_{salida} : | 16 | (bar) | D_{r-ms} (Altura manómetro de salida): | 0,1 | (m) |
| $P_{\text{aspiración}}$: | 4,2 | (bar) | D_{r-ma} (Altura manómetro de aspiración): | 0 | (m) |
| Caso A (1 manómetro) | L_{r-ms} (Long. brocal-man. salida): | | (m) | Profundidad bomba: | |
| Caso B (2 manómetros) | L_{a-b} (Long. man. asp-bomba): | | 8 | (m) | L_{d-b} (Long. man. desc-bomba): 0,6 |

Además cuenta también con un contador WOLTMAN DN200, donde se puede medir el caudal instantáneo que trasiega la bomba.

▪ Pérdidas de carga en la tubería

La tubería de aspiración es de fundición (Rugosidad absoluta varía entre 0,25-4 mm²) y la tubería de impulsión es de acero (Rugosidad absoluta varía entre 0,02-1,5 mm²). Véase *Tabla 3.2.3.1.7*:

Tabla 3.2.3.1.7. Pérdidas en la tubería

| Pérdidas en la tubería (fórmula de "Darcy-Weisbach") | | | | | | | | | |
|--|------------------------|---|-------------------------|-------------------------|---|----------|----------|--------|--------|
| | Caso A (1 manómetro): | ε_{abs} (mm) | $L_{\text{prof.bomba}}$ | $L_{\text{brocal-man}}$ | D (mm) | V (m/s) | Re | f | hf (m) |
| 38 | | | | | | | | | |
| 39 | Columna impulsión: | | 0,0 | 0,0 | | 0,00 | 0,00E+00 | 0,0000 | 0,0 |
| 40 | | | | | | 0,00 | 0,00E+00 | 0,0000 | 0,0 |
| 41 | | | | | | | | | |
| 42 | Caso B (2 manómetros): | ε_{abs} (mm) | L (m) | D (mm) | V (m/s) | Re | f | hf (m) | |
| 43 | Aspiración: | 0,25 | 0,6 | 200 | 0,83 | 1,49E+08 | 0,0208 | 0,0 | |
| 44 | Descarga: | 0,02 | 2,5 | 200 | 0,83 | 1,49E+08 | 0,0120 | 0,0 | |
| 45 | | | | | | | | | |
| 46 | Accesorios | Material: ACERO. Ver pérdidas según RUGOSIDAD ABSOLUTA del Acero 0,02-1,5 mm ² | | | Ver pérdidas variando RUGOSIDAD ABSOLUTA fundición 0,25-4 mm ² | | | | |
| 47 | Unidades | | | | | | | | |
| 48 | Diámetro (mm) | | | | | 150 | 100 | | |

▪ Pérdidas menores

Como se aprecia en las fotografías 8 y 9, existen los siguientes accesorios hidráulicos entre los manómetros y la bomba:

- 3 codos 90° DN200
- 1 codo 90° DN100
- 2 Válvulas de corte DN100

- 1 Válvula de retención DN150
- 1 Expansión gradual 45º DN100-DN200

Todos estos accesorios se adjuntan en la tabla expuesta en la *Tabla 3.2.3.1.8*:

Tabla 3.2.3.1.8. Pérdidas en accesorios

| 45 | <i>Pérdidas en accesorios " (hasta manómetro) "</i> | | | | | |
|----|---|------|---------------|-------------------|-------|------|
| 46 | Accesorios | Codo | Válvula corte | Válvula retención | Otros | |
| 47 | Unidades | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 48 | Diámetro (mm) | 200 | 100 | 150 | 100 | 100 |
| 49 | Coficiente K | 0,75 | 0,25 | 2,5 | 0,68 | 0,75 |
| 50 | Velocidad (m/s) | 0,83 | 3,3 | 1,5 | 3,3 | 3,3 |
| 51 | $h_{\text{accesorios}}$ (m) | 0,1 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,4 |

Dilatación gradual de 100 a 200 mm con ángulo de cono aprox. 60º

Codo DN100

3.2.4 BLOQUE 4. PÉRDIDAS DE CARGA

ASPECTO A ANALIZAR

1. Pérdidas de carga.

3.2.4.1 Pérdidas de carga

En este apartado se pretende hacer una estimación de las pérdidas de carga que existen en la red hidráulica en la que trabaja la instalación. Para ello, es imprescindible saber la altura neta de bombeo, la cota del punto más alto de la red y la cota de la lámina de agua. Para simplificar los cálculos se tomará también la cota del equipo.

El procedimiento de cálculo se divide en dos partes:

- Hallar la altura neta de bombeo → Calculada en el apartado “EVALUACIÓN → BLOQUE 3. BOMBA → 3.1 Altura neta de bombeo (H)”
- Hallar la altura geométrica

- **Altura geométrica**

Para realizar el cálculo de la altura geométrica de bombeo se diferencian dos tipos de instalación:

- **CASO A.** Pozo (fotografía 16)
- **CASO B.** Rebombeo (fotografía 17)

- **CASO A.** Pozo

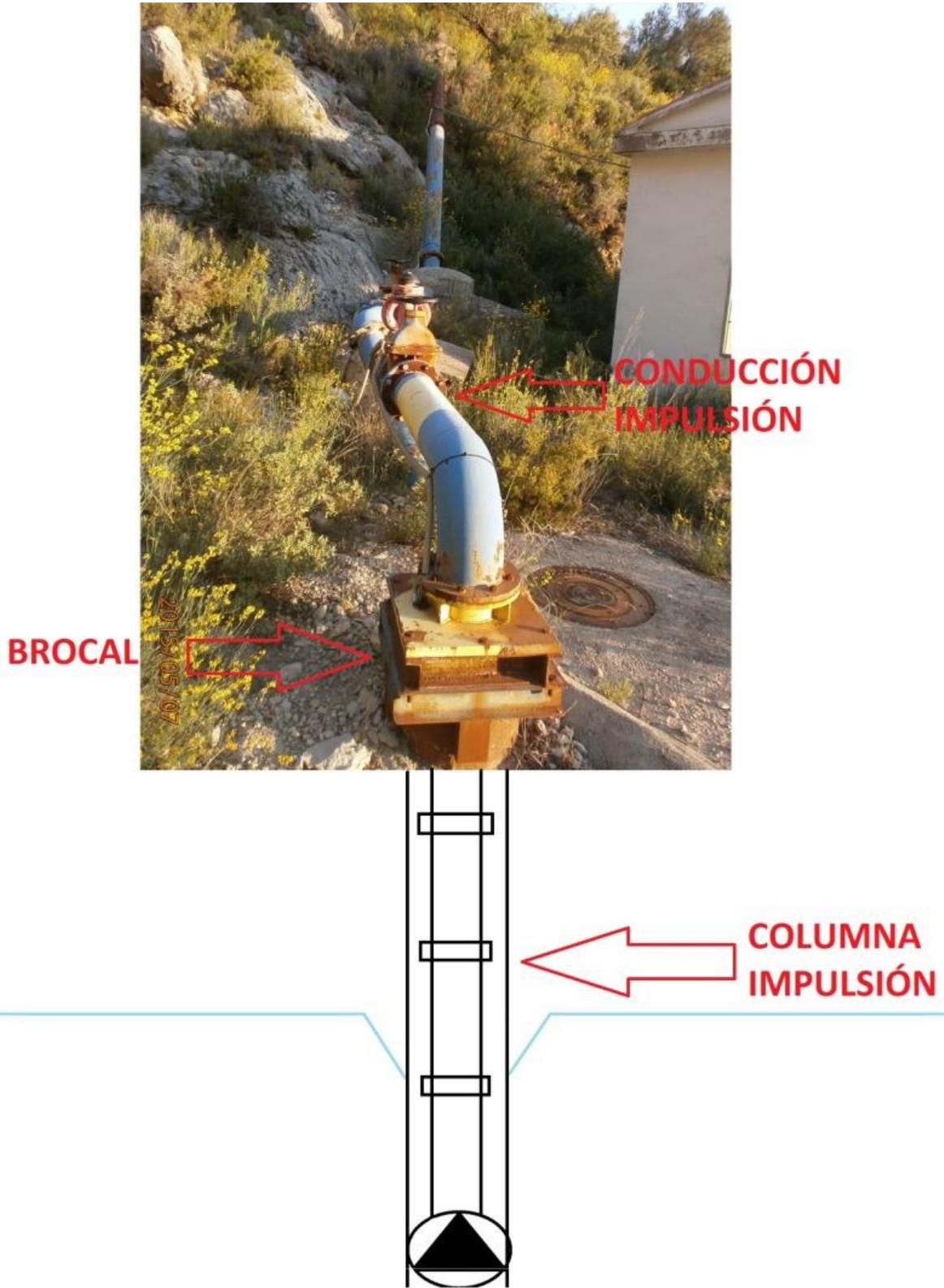
En los pozos, la altura geométrica se halla conociendo los siguientes datos:

- Cota del punto más elevado de la red
- Cota del brocal del pozo
- Nivel dinámico del agua

Con estos valores, la altura geométrica se calcula como sigue:

$$H_g = \text{Cota pto. más elevado} - \text{Cota brocal} + \text{Nivel dinámico}$$

Fotografía 17. Bombeo Pozo



○ **CASO B.** Rebomdeo

En los rebomdeos se debe tener en cuenta la presión con la que aspira la bomba. En los casos que exista un manómetro (*fotografías 6 y 7*) esta presión es conocida. Si no existe manómetro (*fotografía 11*) pero sí se puede estimar los metros de columna de agua que hay por encima de la bomba, se estima la presión de aspiración de esta forma.

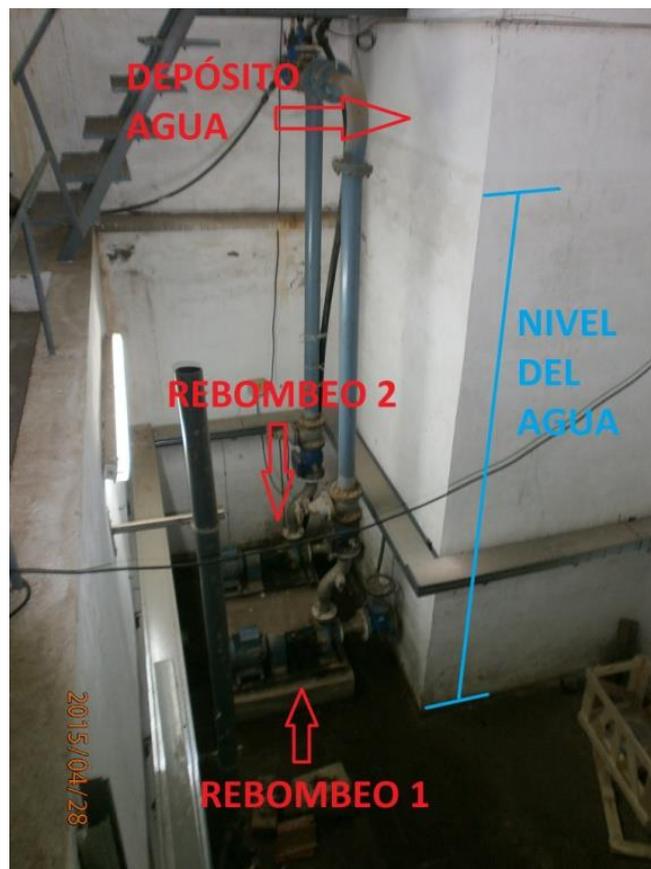
Los datos necesarios para hallar la altura geométrica son:

- Cota del punto más elevado de la red
- Cota del equipo
- Presión de aspiración ($P_{\text{aspiración}}$) (bar)
- Altura relativa del manómetro de aspiración sobre la bomba (D_{r-ma})

Con estos valores, la altura geométrica se calcula como sigue:

$$H_g = \text{Cota pto. más elevado} - \text{Cota del equipo} - (P_{\text{aspiración}} * 10,2 + D_{r-ma})$$

Fotografía 18. Rebomdeo



3.3 CÁLCULOS Y EVALUACIÓN

Es necesario realizar una serie de cálculos en aras a obtener los parámetros necesarios para la evaluación energética del equipo. En este apartado se divide cada bloque en dos subapartados: cálculos y evaluación. En el primer subapartado se realizan los cálculos que permiten obtener los parámetros necesarios. En el segundo subapartado se exponen las conclusiones que muestra la AE tras realizar el análisis de los parámetros calculados.

3.3.1 BLOQUE 1. INSTALACIÓN ELÉCTRICA

CÁLCULOS

PARÁMETROS A CALCULAR

1. Pérdidas eléctricas
2. Factor de potencia

3.3.1.1 Pérdidas eléctricas.

- **Identificación parámetros**

¿Cuántos TRAMOS existen desde transformador o punto de acometida hasta el motor?

Identificar en cada tramo:

- $I_{promedio}$ (A): En general la $I_{promedio}$ será la misma en cada tramo, excepto si existe una derivación a otro consumo.

$$I_{promedio} = \frac{I_a + I_b + I_c}{3}$$

- **Longitud** (m ó km) → “L_{tramo}”
- **Resistividad** (Ω/km): Conocida la sección (mm) y el material del conductor → Resistividad_{tramo} (Ω/km) (véase *tabla 3.2.1.1.1*).

Con la resistividad (Ω/km) de cada tramo y su longitud (km) podemos calcular las PÉRDIDAS ELÉCTRICAS en el cableado:

- **Cálculo de las pérdidas eléctricas**

$$\text{Pérdidas eléctricas} \left(\frac{kWh}{\text{año}} \right) = \frac{(\sum_{N^{\circ} \text{ tramos}} \text{Resistividad}_{\text{tramo}} \times I_{\text{promedio tramo}}^2 \times L_{\text{tramo}}) \times N^{\circ} \text{ horas funcionamiento/año} \times 3}{1000}$$

3.3.1.2 Factor de potencia

La pinza amperimétrica ofrece los valores del Factor de Potencia de cada fase al conectarla correctamente (véase *fotografía 3*). Si no existe neutro en la instalación, se realiza el método de los dos vatímetros o método de Aron (véase *gráfico 3.2.1.2.2*), en el que se toman dos mediciones y se realiza el siguiente cálculo para hallar el Factor de Potencia:

$$P_e = W_1 + W_2$$

$$Q_r = \sqrt{3} \times (W_1 - W_2)$$

Cálculo del FP/Cosφ:

$$FP = \frac{P_e}{\sqrt{P_e^2 + Q_r^2}}$$

EVALUACIÓN

Se tomará como límite de pérdidas eléctricas cuando supongan más de un 3% de las pérdidas energéticas totales de la instalación. En estos casos, se muestra un mensaje en la hoja de cálculo de la AE que muestra lo siguiente:

- Pérdidas eléctricas elevadas, valorar la posibilidad de aumento de la sección de cable.

3.3.2 BLOQUE 2. MOTOR

CÁLCULOS

PARÁMETROS A CALCULAR

1. Curva “ $\eta_{\text{motor-nominal}}$ – Factor de Carga”
2. Tensión de alimentación ($V_{\text{alimentación}}$)
3. Potencia eléctrica que consume el motor (P_e)
4. Factores de depreciación del $\eta_{\text{motor-nominal}}$
5. Rendimiento real (η_{real}) y pérdidas del motor

3.3.2.1 Curva “ $\eta_{\text{motor-nominal}}$ – Factor de Carga”

De las curvas de comportamiento a carga parcial (véase *Gráfico 3.2.2.1.1* y *Tabla 3.2.2.1.2 del apartado “Mediciones de Campo”*), se extraen los valores del rendimiento nominal del motor funcionando al 50, 75 y 100%. Con estos datos, Excel creará la curva “ $\eta_{\text{motor-nominal}}$ – Factor de Carga” mediante la función “ESTIMACIÓN.LINEAL”.

Tabla 3.3.2.1.1. Curva Rendimiento nominal del motor – Factor de Carga

| Curva F.C.- $\eta_{\text{nominal-motor}}$ | | | | |
|---|---------------------------|---|------|------|
| F.C. | $\eta_{\text{nom-motor}}$ | Ec. ajuste $\eta_{\text{nominal-motor}}$ - F.C. | | |
| 0,5 | 0,8482 | A | B | C |
| 0,75 | 0,8777 | -0,14 | 0,30 | 0,74 |
| 1 | 0,8893 | $\eta = A \times x^2 + B \times x + C$ | | |

3.3.2.2 $V_{\text{alimentación}}$

La tensión real que llega a bornes del motor será algo menor que la obtenida en el lugar de las mediciones. En los conductores que van desde el C.G.D hasta bornes del motor existen unas pérdidas por efecto Joule que se tienen que contabilizar.

Conocida la resistencia y corriente que circula por el tramo desde el punto de medición hasta bornes del motor (véase *Gráfico 3.2.1.1.8*) se calcula la verdadera tensión de alimentación al motor:

$$V_{\text{promedio alimentación}} = \frac{V_{u-v} + V_{v-w} + V_{w-u}}{3} - \sum R_{\text{tramo}} * I_{\text{promedio}}$$

3.3.2.3 P_e

La potencia real que llega a bornes del motor es algo menor que la obtenida en las mediciones. Los conductores que van desde el punto de medida hasta bornes del motor tienen pérdidas eléctricas por efecto Joule. La potencia real que llega a bornes del motor se calcula del siguiente modo:

$$P_e = P_{u-n} + P_{v-n} + P_{w-n} - \sum R_{tramo} * I_{promedio}^2$$

3.3.2.4 Factores de depreciación del $\eta_{motor-nominal}$

- **Antigüedad del motor**

¿Cuántos AÑOS tiene el motor?

- Si < 5 años $\rightarrow F_{ant} = 0$
- Si ≥ 5 años $\rightarrow F_{ant} = 0,01$
- Si ≥ 10 años $\rightarrow F_{ant} = 0,02$

- **Nº de rebobinados**

¿Cuántos REBOBINADOS ha tenido el motor?

- 1 rebobinado $\rightarrow F_{reb} = 0,02$
- 2 rebobinados $\rightarrow F_{reb} = 0,025$

- **V_{alimentación} vs V_{nominal-motor}**

Se pretende comparar la $V_{alimentación}$ frente a la $V_{nominal-motor}$.

$$\Delta V = \frac{V_{promedio\ alimentación} - V_{nominal\ motor}}{V_{nominal\ motor}}$$

$$F_{\Delta V} = \Delta V \times (0,07 - 1,334 \times \Delta V) - 0,0009$$

- **Desbalance de tensión**

1. Se miden las 3 tensiones de fase [V_{un} , V_{vn} , V_{wn} (V)] lo más próximo posible al motor.

2. Hallamos $V_{promedio}$:

$$V_{promedio} = \frac{V_{an} + V_{bn} + V_{cn}}{3}$$

3. Hallamos el desbalance de tensión para cada fase “a”, “b” y “c” y nos quedamos con el más grande de los 3:

→ Desbalance fase “a” $DesbV_{an} = abs \left| \frac{V_{an} - V_{promedio}}{V_{promedio}} \right|$

→ Desbalance fase “b” $DesbV_{bn} = abs \left| \frac{V_{bn} - V_{promedio}}{V_{promedio}} \right|$

→ Desbalance fase “c” $DesbV_{cn} = abs \left| \frac{V_{cn} - V_{promedio}}{V_{promedio}} \right|$

4. DesbalanceV = mayor (DesbV_{an}, DesbV_{bn}, DesbV_{cn})

5. Cálculo F_{desb}

$$F_{desb} = 1 - DesbalanceV \times (0,0113 + 0,0073 \times DesbalanceV)$$

3.3.2.5 Rendimiento real (η_{real}) y pérdidas del motor

Para que la hoja Excel realice el proceso iterativo, es imprescindible situarse sobre las casillas que corresponden al Rendimiento nominal, Factor de Carga y Rendimiento Real y presionar “Enter” en todas ellas:

Gráfico 3.3.2.5.1: Proceso iterativo

| | |
|--------------------------|---------------|
| Factor de Carga (F.C.): | 69,54% |
| Rendimiento nominal: | 84,78% |
| Rendimiento real: | 82,77% |

La hoja “Recolección datos” (veáse Gráfico 3.3.2.5.2) ha de estar bien rellena e insertados los valores de la curva de comportamiento del rendimiento nominal en función del factor de carga (Véase Gráfico 3.2.2.1.1) para que se calcule correctamente el rendimiento real del motor.

Gráfico 3.3.2.5.2 Ficha "Recolección datos"

| DATOS DE LA INSTALACIÓN/EQUIPO | | | | | |
|---|---|---|--|----------------------------|---------------|
| DIAGRAMA UNIFILAR | | | LEYENDA | | |
| | | | <ul style="list-style-type: none"> ● Pto. Medidas eléctricas M Motor DOL Arrancador directo Δ/Y Arrancador Δ/Y AE Arrancador estático C Condensadores CGP Caudal General Proteccion CGD Caudal general Derivacion T Transformador VF Variador de frecuencia | | |
| CONDUCTORES | | Descripción | Tipo | Calibre (mm ²) | Longitud (m.) |
| Aguas arriba | 1 | Punto de acometida - CGD | 3 unipolar + neutro | 25 | 10 |
| | 2 | | | | |
| Aguas abajo medición | 3 | CGD - Motor | 3 unipolar + neutro | 25 | 10 |
| | 4 | | | | |
| BOMBA | | Marca: INDAR | Modelo: 202-6 | | |
| | | Tipo: sumergible | Etapas: 6 | | |
| | | Altura manométrica: 120 (mca) | Caudal: 79,2 (m ³ /h) | | |
| MOTOR | | Marca: INDAR | Modelo: 18-3/055 | | |
| | | Potencia: 38 (kW) | cos φ: 0,85 | | |
| | | Intensidad nom. (Δ/Y): 80 (A) | Tensión nom. (Δ/Y): 380 (V) | | |
| | | Vel. Nominal: 2920 (rpm) | Rendimiento nom.: 86,00% | | |
| HISTORIAL | | Años: 7 | Nº de Rebobinados: 1 | | |
| PROPIEDADES FLUIDO | | Temp. (°C): 16 | Densidad fluido: 998,96 (kg/m ³) | | |
| TOPOGRAFÍA | | Elevación equip. (mnm): 206 | Elevación pta entrega más alta (mnm): 349 | | |
| MEDIDAS | | | | | |
| MEDIDAS HIDRÁULICAS | | | | | |
| Caudal: | 48,6 (m ³ /h) | Nivel dinámico: | (m) | | |
| P _{salida} : | 16 (bar) | D _{ca} (Øluz. máx. línea de salida): | 0,1 (m) | | |
| P _{aspiración} : | 4,2 (bar) | D _{ca} (Øluz. máx. línea de aspiración): | 0 (m) | (m) | |
| Caso A (1 m ³ /hora) | L _{ca} (Long. máx. línea de salida): | (m) | Profundidad bomba: | | |
| Caso B (2 m ³ /hora) | L _{cb} (Long. máx. línea de bomba): | 8 (m) | L _{cb} (Long. máx. línea de bomba): 0,6 | | |
| MEDIDAS ELÉCTRICAS: <i>(se arroja el valor más próximo posible a lo controlado del motor)</i> | | | | | |
| Punto de medición: | DISPLAY VF | Tipo conexión motor (Δ/Y): | | | |
| U _{ca} (V): | 393,6 | I _{ca} (A): 57,6 | P _{ca} (kW): 11,9 | P _{ca} (kW): 32 | |
| U _{cb} (V): | 392 | I _{cb} (A): 57 | P _{cb} (kW): 11,7 | VF (%): 96,0% | |
| U _{ca} (V): | 393,6 | I _{ca} (A): 55,5 | P _{ca} (kW): 11,4 | F (Hz): 48 | |
| CAPACITOR | | I _{capacitor} (A): | Q _c (kVar): | cos φ: 0,88 | |

• Pérdidas en el motor

$$\text{Pérdidas en el motor} \left(\frac{kWh}{\text{año}} \right) = \frac{((1 - \eta_{real}) \times P_e \times n^o \text{ horas funcionamiento/año})}{1000}$$

EVALUACIÓN

Parámetros a evaluar:

1. Clasificación eficiencia del motor.
2. Condiciones de diseño del motor.
3. Desgaste del motor.

3.3.2.6 Clasificación eficiencia del motor

Los motores eléctricos con los que trabajan los equipos electromecánicos de bombeo, son motores trifásicos asíncronos de jaula de ardilla. Según la IEC⁵ (International Electrotechnical Commission) estos motores pueden clasificarse según su rendimiento en 4 niveles de eficiencia:

- IE1 (Standard efficiency).
- IE2 (High efficiency).
- IE3 (Premium efficiency).
- IE4 (Super Premium Efficiency).

A la hora de clasificar los motores eléctricos vamos a prescindir del nivel IE4 que hace referencia a motores eléctricos con rendimientos muy por encima de los que vamos a analizar. En la AE se realiza la siguiente clasificación de eficiencia del motor en función del rendimiento real calculado:

- Menor a IE1 → Rendimiento bajo.
- IE1 → Rendimiento medio.
- IE2 → Rendimiento alto.
- IE3 → Rendimiento muy alto.

La AE muestra el siguiente mensaje según el rendimiento real del motor:

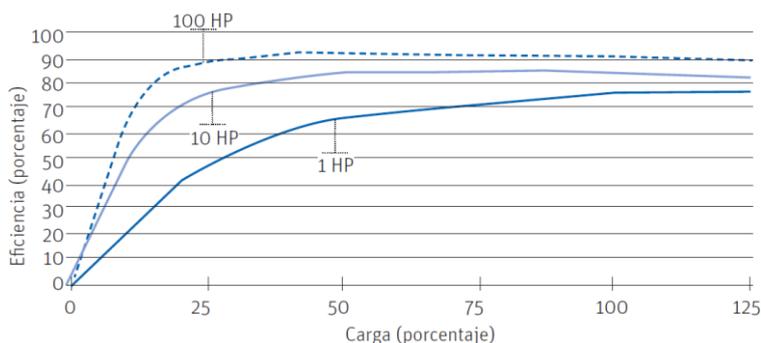
- El rendimiento del motor ($\eta_{\text{real motor}}$) lo clasifica en un nivel de eficiencia "IEX". Se trata de un motor de "muy alto/alto/medio/bajo" rendimiento.

⁵ La norma IEC 60034-30:2008 define 4 niveles de eficiencia de los motores eléctricos (trifásicos asíncronos de jaula de ardilla) en función de su rendimiento real de funcionamiento. En el Anexo 1 se adjuntan las tablas de valores de eficiencia mínimos para cada nivel.

3.3.2.7 Condiciones de diseño del motor

El rendimiento de un motor sufre variaciones leve con cambios en el factor de carga entre el 50 y 100% aproximadamente. Cuando el factor de carga decrece por debajo del 50% comienzan a haber variaciones más grandes en el rendimiento del motor. En el siguiente gráfico se muestran motores de jaula de ardilla de 1, 10 y 100 CV de potencia:

Gráfico 3.3.2.7.1. Ejemplo de variaciones del Rendimiento en función del Factor de Carga



Se tomará la siguiente condición para justificar que el motor analizado está sobredimensionado:

- Si $\eta_{\text{real motor}} < 0,96 * \eta_{\text{máximo nominal}}$

Cuando se cumpla esta condición se supone que la desviación del rendimiento es consecuencia de que está trabajando lejos de sus puntos óptimos de operación, por lo general próximos a carga completa. La AE muestra la siguiente conclusión:

- Bajo rendimiento del motor debido a que está sobredimensionado.

3.3.2.8 Desgaste del motor

Como se ha visto en el proceso de obtención del rendimiento real del motor, existen unos factores que lo deprecian. La edad, los rebobinados, los desbalances de tensión entre fases y la alimentación del motor a una tensión diferente a la nominal desgastan el motor e influyen negativamente en su rendimiento real.

Cuando el rendimiento real del motor sea un 5% inferior al rendimiento teórico que debería tener en el mismo punto de trabajo, será un indicio de desgaste del motor. En estos casos, la AE muestra el ahorro de energía tras la renovación del motor. Se muestra el siguiente resultado:

- La renovación del motor permite obtener un ahorro de XXX kWh/año.

Los ahorros obtenidos se calculan de la siguiente forma:

$$\text{Ahorros} = (\eta_{\text{teórico motor}} - \eta_{\text{real motor}}) \times (\text{Consumo total energía} - \text{Pérdidas eléctricas})$$

3.3.3 BLOQUE 3. BOMBA

CÁLCULO

PARÁMETROS A CALCULAR

1. Altura neta de bombeo (H)
2. Caudal (Q)
3. Rendimiento de la bomba (η_b)

3.3.3.1 Altura neta de bombeo (H)

Para hallarla se diferencian dos tipos diferentes de instalaciones de bombeo:

- **CASO A: Pozo.** Hay 1 manómetro en descarga:

$$H = P_d + N_s + D_{r-md} + h_f + \sum h_v$$

P_d = Presión manómetro de descarga → Pasar a mca.

N_s = Nivel dinámico de succión (m).

D_{r-md} = Altura manómetro de descarga (m) → Medir con flexómetro in situ.

h_f = Pérdidas de carga en columna de impulsión. Para determinarlas se debe conocer de la columna de impulsión:

- Longitud. Se debe medir también la distancia desde el brocal hasta el manómetro. Se sumará a la de la columna de impulsión para contabilizar las pérdidas en ese tramo. Si se trata de dos diámetros distintos, se puede teclear a mano en la siguiente fila la longitud de dicho tramo y sus características (diámetro y rugosidad absoluta).
- Diámetro
- Material

$$h_f = \frac{8 * f * L * Q^2}{\pi^2 * g * D^5}$$

Gráfico 3.3.3.1.1. Cambios de unidades

| CAMBIOS DE UNIDADES | |
|----------------------|-----------|
| 1 kg/cm ² | 10 mca |
| 1 atm | 10,33 mca |
| 1 bar | 10,2 mca |
| 1 PSI | 0,703 mca |

h_v = Pérdidas menores en accesorios. Se contabilizará el número de accesorios (válvulas de corte, retención, contadores, codos, etc) con sus diámetros que estén entre el manómetro de referencia y la bomba.

$$h_v = k * \frac{v^2}{2 * g}$$

Tabla 3.3.3.1.1. Ejemplo de hoja "Recolección datos". Caso 1 manómetro en la descarga

| MEDIDAS HIDRÁULICAS | | | | | |
|---------------------------|-----|---|---|-------|---|
| Caudal: | 96 | (m ³ /h) | Nivel dinámico: | 161,2 | (m) |
| P _{salida} : | 5,8 | (bar) | D _{r-ms} (Altura manómetro de salida): | 1 | (m) |
| P _{aspiración} : | | (bar) | D _{r-ma} (Altura manómetro de aspiración): | | (m) |
| Caso A (1 manómetro) | | L _{r-ms} (Long. brocal-man. salida): | 1,8 | (m) | Profundidad bomba: |
| Caso B (2 manómetros) | | L _{s-b} (Long. man. asp-bomba): | | (m) | L _{d-b} (Long. man. desc-bomba): |
| | | | | | 229 |

Tabla 3.3.3.1.2. Ejemplo de hoja "Cálculos". Caso 1 manómetro en la descarga

| EVALUACIÓN DE LA BOMBA | | | | | | | | |
|--|-----------------------|-------------------------|----------------------------|---------|----------------------|----------|--------|--------|
| CARGA DE BOMBEO | | | | | | | | |
| Pérdidas en aspiración: | 0,0 | (m) | Pérdidas en descarga: | 6,8 | (m) | | | |
| Viscosidad fluido: | 1,1E-06 | (m ² /s) | Densidad fluido: | 999,0 | (kg/m ³) | | | |
| H. manométrica real: | 228,2 | (mca) | Pérdidas en accesorios: | 0,1 | (m) | | | |
| H. manom. teórica: | 207,1 | (mca) | RENDIMIENTOS | | | | | |
| CAUDAL | | | | | | | | |
| Caudal: | 96,00 | (m ³ /h) | Rend. electromecánico: | 56,87% | | | | |
| POTENCIA HIDRÁULICA (kW) | | | | | | | | |
| De acuerdo a mediciones: | 59,6 | | Rendimiento real bomba: | 64,65% | | | | |
| | | | Rendimiento teórico bomba: | 74,00% | | | | |
| | | | Rendimiento óptimo bomba: | 76,50% | | | | |
| Pérdidas en la tubería (fórmula de "Darcy-Weisbach") | | | | | | | | |
| Caso A (Pozo) | E _{sbc} (mm) | L _{prof.bomba} | L _{brocal-man} | D (mm) | V (m/s) | Re | f | hf (m) |
| Columna impulsión: | 1,5 | 229,0 | 1,8 | 150 | 1,51 | 2,03E+08 | 0,0379 | 6,8 |
| | | | | | 0,00 | 0,00E+00 | 0,0000 | 0,0 |
| Caso B (Rebombeo): | E _{sbc} (mm) | L (m) | D (mm) | V (m/s) | Re | f | hf (m) | |
| Aspiración: | | 0,0 | | 0,00 | 0,00E+00 | 0,0000 | 0,0 | |
| Descarga: | | 0,0 | | 0,00 | 0,00E+00 | 0,0000 | 0,0 | |

- **CASO B: Rebombeo.** Hay 2 manómetros, uno en la aspiración y otro en la descarga:

$$H = P_d - P_a + D_{r-ma} + D_{r-md} + \sum h_f + \sum h_v$$

P_d = Presión manómetro de descarga → Pasar a mca.

P_a = Presión manómetro de aspiración → Pasar a mca.

D_{r-ma} = Altura manómetro de aspiración (m) → Medir con flexómetro in situ.

D_{r-md} = Altura manómetro de descarga (m) → Medir con flexómetro in situ.

h_f = Pérdidas de carga en la tubería de aspiración y de descarga entre manómetros y bomba.

Se deberá conocer de ambas tuberías:

- Longitud manómetro – bomba.
- Diámetro.
- Material.

$$h_f = \frac{8 * f * L * Q^2}{\pi^2 * g * D^5}$$

h_v = Pérdidas menores en accesorios. Se contabilizará el número de accesorios (válvulas de corte, retención, contadores, codos, etc) con sus diámetros que estén entre el manómetro de referencia y la bomba.

$$h_v = k * \frac{v^2}{2 * g}$$

Tabla 3.3.3.1.3. Ejemplo hoja "Recolección datos". Caso 2 manómetros a la aspiración y descarga

| MEDIDAS HIDRÁULICAS | | | | | |
|---------------------|--|---------------------|---|---|-----|
| Caudal: | 55,2 | (m ³ /h) | Nivel dinámico: | | (m) |
| Psalida: | 3,4 | (bar) | D _{r-ms} (Altura manómetro de salida): | 1,5 | (m) |
| Paspiración: | -0,2 | (bar) | D _{r-ma} (Altura manómetro de aspiración): | 0 | (m) |
| Caso A (Pozo) | L _{r-ms} (Long. broca-man. salida): | | (m) | Profundidad bomba: | |
| Caso B (Rebombeo) | L _{a-b} (Long. man. asp-bomba): | 0 | (m) | L _{d-b} (Long. man. desc-bomba): | 1,5 |

Tabla 3.3.3.1.4. Ejemplo hoja "Cálculos". Caso 2 manómetros a la aspiración y descarga

| EVALUACIÓN DE LA BOMBA | | | | | | | | |
|---|-----------|-------------------------|----------------------------|---------|----------------------|----------|--------|--------|
| CARGA DE BOMBEO | | | | | | | | |
| Pérdidas en aspiración: | 0,0 | (m) | Pérdidas en descarga: | 0,1 | (m) | | | |
| Visosidad fluido | 1.1E-06 | (m ² /s) | Densidad fluido: | 999,0 | (kg/m ³) | | | |
| H. manométrica real: | 36,7 | (mca) | Pérdidas en accesorios: | 0,7 | (m) | | | |
| H. manom. teórica: | 40,5 | (mca) | RENDIMIENTOS | | | | | |
| CAUDAL | | | | | | | | |
| Caudal: | 55,20 | (m ³ /h) | Rend. electromecánico: | 38,36% | | | | |
| POTENCIA HIDRÁULICA | | | | | | | | |
| De acuerdo a mediciones: | 5,5 | (kW) | Rendimiento real bomba: | 42,93% | | | | |
| | | | Rendimiento teórico bomba: | 56,50% | | | | |
| | | | Rendimiento óptimo bomba: | 65,00% | | | | |
| <i>Pérdidas en la tubería (fórmula de 'Darcy-Weisbach')</i> | | | | | | | | |
| Caso A (Pozo): | εabs (mm) | L _{prof.bomba} | L _{broca-man} | D (mm) | V (m/s) | Re | f | hf (m) |
| Columna impulsión: | | 0,0 | 0,0 | | 0,00 | 0,00E+00 | 0,0000 | 0,0 |
| | | | | | 0,00 | 0,00E+00 | 0,0000 | 0,0 |
| Caso B (Rebombeo): | εabs (mm) | L (m) | D (mm) | V (m/s) | Re | f | hf (m) | |
| Aspiración: | | 0,0 | | 0,00 | 0,00E+00 | 0,0000 | 0,0 | |
| Descarga: | 0,15 | 1,5 | 104 | 1,81 | 1,68E+08 | 0,0215 | 0,1 | |

3.3.3.2 Caudal (Q)

El valor del caudal es una medición directa a través de un contador o caudalímetro. Generalmente se cronometrará que caudal pasa en un minuto y posteriormente se hallará el caudal en m³/h.

En los bombeos que no dispongan de un contador a la salida se realizará una estimación. Por tanto, para realizar el análisis existen dos posibilidades. La primera, estimar el caudal según las curvas teóricas de la bomba (conocida la altura que aporta al insertar los datos en la “hoja de cálculo Excel”). La segunda, si se sabe la variación del depósito al que bombea, realizar una aproximación del caudal instantáneo.

3.3.3.3 Rendimiento de la bomba (η_b)

Para hallar el rendimiento de la bomba hay que determinar:

1. Potencia eléctrica activa (P_e) que consume la bomba (kW).
2. Potencia hidráulica (P_h) que la bomba transmite al fluido (kW).

○ **P_e**

Hallada en el apartado “3.2. MEDICIONES DE CAMPO → 3.2.2 BLOQUE 2. MOTOR → 3.2.2.3 Potencia eléctrica absorbida por el motor (P_e)”.

○ **P_h**

$$P_h = \frac{(Q \times H \times 9,81 \times \gamma)}{1000}$$

P_h = Potencia hidráulica aportada por la bomba al fluido (kW).

H = Altura neta de bombeo (mca): Hallada en el apartado “3.3 CÁLCULOS Y EVALUACIÓN → 3.3.3 BLOQUE 3. BOMBA → 3.3.3.1. Altura neta de bombeo (H)”.

Q = Caudal real (m³/s).

γ = Peso específico del fluido, por lo general agua y se tomará como valor aproximado 1000 kg/m³.

○ **Rendimiento de la bomba (η_b)**

1. Hallar el rendimiento electromotriz η_{em} :

$$\eta_{em} = \frac{P_h}{P_e}$$

2. Hallamos η_b :

$$\eta_b = \frac{\eta_{em}}{\eta_{real}}$$

η_{real} : Hallado en el apartado “3.3 CÁLCULO Y EVALUACIÓN → 3.3.2 BLOQUE 2. MOTOR → 3.2.2.5 Rendimiento real (η_{real}) y pérdidas del motor”.

○ **Pérdidas en la bomba**

$$\text{Pérdidas en la bomba} \left(\frac{kWh}{año} \right) = (1 - \eta_b) \times (\text{Consumo total energía} - \text{Pérdidas en el motor} - \text{Pérdidas eléctricas})$$

- Consumo total energía → kWh/año
- Pérdidas en el motor → kWh/año
- Pérdidas eléctricas → kWh/año

EVALUACIÓN

Parámetros a evaluar:

- Altura manométrica real.
- Rendimiento de la bomba.
- Punto de funcionamiento.
- Desgaste de la bomba.

3.3.3.4 Altura manométrica real

Se va a estudiar la diferencia que existe entre la altura manométrica real calculada según las mediciones y la altura manométrica teórica para el caudal real medido. En caso de que la altura manométrica real sea un 10% inferior a la altura manométrica teórica, en los resultados se muestra una serie de razones que pueden justificar esta situación:

- Desgaste de la bomba.
- Error en cálculo de pérdidas de carga.
- Error en medición del caudal.
- Pérdidas de agua en el tramo entre el equipo y el medidor.

3.3.3.5 Rendimiento de la bomba

Se pretende comparar el rendimiento real con el que trabaja la bomba frente al rendimiento mínimo ecológico propuesto por el Reglamento (UE) nº 547/2012⁶. En este documento se puede calcular el rendimiento mínimo que debería tener una bomba conocidas las siguientes características:

- **Tipo de bomba.** Para simplificar, se diferencian sólo tres tipos de bombas: horizontales⁷, verticales y sumergibles.
- **Etapas.** Número de impulsores en serie que tiene la bomba.
- **Velocidad nominal.** Velocidad nominal a la que funciona la bomba. Se diferencia entre bombas de 2 polos (≈ 2900 rpm) y 4 polos (≈ 1400 rpm).
- **Caudal nominal.** Caudal de la bomba para el punto de funcionamiento de rendimiento óptimo.
- **Altura nominal.** Altura manométrica de la bomba para el punto de funcionamiento de rendimiento óptimo.

Este documento halla el rendimiento mínimo para bombas nuevas. Las bombas que se van a auditar no son nuevas y por tanto añadiremos un factor de desgaste (0,85) al rendimiento mínimo calculado según el Reglamento expuesto.

En los resultados de la AE se mostrará el siguiente mensaje si el rendimiento real de la bomba es un 15% inferior al rendimiento mínimo exigido por el Reglamento (UE) nº 547/2012:

- Bomba de bajo rendimiento.

⁶ Reglamento (UE) nº 547/2012 de la Comisión, de 25 de junio de 2012, por el que se aplica la Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo a los requisitos de diseño ecológico para las bombas hidráulicas. En el Anexo 1 se hace referencia a dicho documento y se explica cómo hallar el rendimiento mínimo exigido por este reglamento para cada bomba.

⁷ En el presente reglamento al que se hace referencia las bombas hidráulicas centrífugas se clasifican en 5 tipos:

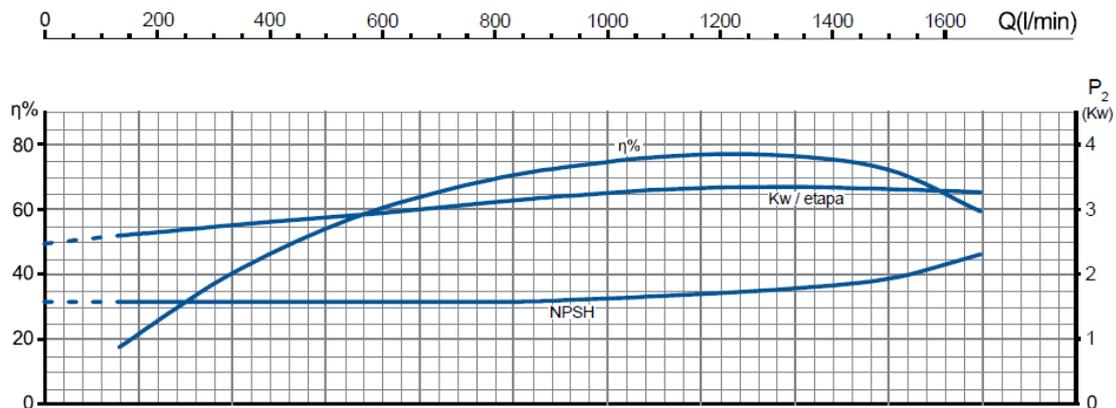
- Bomba hidráulica de aspiración axial con cojinetes propios.
- Bomba hidráulica de acoplamiento directo de aspiración axial.
- Bomba hidráulica de acoplamiento directo en línea de aspiración axial.
- Bomba hidráulica vertical multicelular.
- Bomba hidráulica sumergible multicelular.

Para simplificar la recolección de datos, se considerarán los tres primeros grupos como bombas horizontales; el cuarto grupo, como bombas verticales; y el quinto grupo, como bombas sumergibles.

3.3.3.6 Punto de funcionamiento

La curva Rendimiento-Caudal de una bomba hidráulica tiene una pendiente más pronunciada que la curva de rendimiento del motor. Por lo tanto, un análisis del punto de funcionamiento de la bomba nos permitirá conocer que alejado está el punto de funcionamiento óptimo y que variación de rendimientos sufre la bomba.

Gráfico 3.3.3.6.1. Curvas Rendimiento-Caudal y Potencia absorbida-Caudal



No obstante, la Potencia demandada por la bomba conforme varía el punto de funcionamiento no sufre las variaciones tan bruscas como las que sufre el rendimiento. Fíjese en la fórmula de potencia absorbida por la bomba:

$$P_{\text{absorbida por la bomba}} = \frac{(Q \times H \times 9,81 \times \gamma)}{1000 \times \eta_{\text{bomba}}}$$

Si nos movemos hacia la izquierda de la curva $\eta_{\text{bomba}}-Q$ desde el punto de rendimiento óptimo, el rendimiento decrece cada vez más rápido y, parece lógico que la potencia tenga que aumentar. O bien, si nos movemos hacia la derecha desde el punto de rendimiento óptimo, el rendimiento decrece y también la potencia debería aumentar. Pero en ambos casos, vemos como a la vez que el rendimiento decrece, también lo hace el caudal en el primer caso y la altura en el segundo. Por tanto, dependerá de la curva de funcionamiento de cada bomba para conocer las pérdidas que incluye trabajar alejados del punto de funcionamiento de rendimiento óptimo.

Para realizar un análisis entre dos escenarios distintos, suponiendo el primer escenario el obtenido según mediciones y, el segundo escenario, en el punto de funcionamiento óptimo, se ha de tener en cuenta el volumen total bombeado en el periodo de estudio. Este volumen se halla con el caudal real medido por las horas de funcionamiento de la instalación. Cuando se estudió el segundo escenario, el caudal de trabajo habrá variado, las horas de funcionamiento serán diferentes y, por tanto, el consumo total de energía también será diferente.

En los resultados de la hoja de cálculo, se muestra las pérdidas de energía que incluye trabajar en el punto de funcionamiento real frente al óptimo, cuando el consumo en el punto de funcionamiento real supere en un 5% al consumo en el punto de funcionamiento óptimo. En estos casos se muestra la siguiente conclusión en el apartado de resultados de la AE:

- Rendimiento real de la bomba (η_{real}) inferior al rendimiento óptimo ($\eta_{\text{óptimo}}$) lo que supone unas pérdidas energéticas de XXX kWh/año.

3.3.3.7 Desgaste de la bomba

Las bombas hidráulicas sufren un deterioro con el paso del tiempo que repercute en su rendimiento. Por ejemplo, los rodets se desgastan aportando menos altura para un mismo caudal y, por tanto, dando menos rendimiento.

Una vez hallado el rendimiento real de la bomba se compara con el rendimiento teórico para el mismo caudal real medido según las curvas de funcionamiento. Si el rendimiento real es un 5% menor que el rendimiento teórico, la AE muestra los ahorros que podrían obtenerse renovando la bomba por otra igual nueva. En los resultados aparece el siguiente mensaje:

- La renovación de la bomba permite obtener un ahorro de XXX kWh/año.

3.3.4 BLOQUE 4. PÉRDIDAS DE CARGA

CÁLCULOS

PARÁMETROS A CALCULAR

1. Pérdidas de carga

3.3.4.1 Pérdidas de carga

Las pérdidas de carga se calculan según la siguiente ecuación:

$$\text{Pérdidas de carga} \left(\frac{kWh}{\text{año}} \right) = \frac{(H - H_g) \times Q \times \gamma \times 9,81 \times n^{\circ} \text{ horas funcionamiento/año}}{1000}$$

- H = Altura neta de bombeo (mca).
- H_g = Altura geométrica (mca)
- Q = Caudal promedio (m³/s).
- γ = Peso específico del agua (kg/m³). Tomaremos como valor aproximado 1000 kg/m³.

4. OPORTUNIDADES DE MEJORA

En este apartado se muestra una serie de medidas genéricas que podrán permitir al usuario abrir su mente frente a posibles oportunidades de mejora no mostradas como tal en las conclusiones de la Auditoría Energética.

Sobre la base del análisis de la información obtenida en la Auditoría Energética se abre un abanico de oportunidades de medidas de ahorro energéticas y económicas. Este estudio se centra, principalmente, en las medidas de carácter energético. Estas medidas se clasifican en los siguientes grupos:

- 1. Medidas para la reducción de pérdidas eléctricas:**
 - Sección de los conductores.
 - Optimización del factor de potencia.

- 2. Medidas para incrementar la eficiencia de los motores:**
 - Optimización del rendimiento del motor.
 - Sustitución del conjunto motor-bomba.

- 3. Medidas para incrementar la eficiencia de las bombas.**

- 4. Reducción de pérdidas de carga.**

- 5. Mejorar la operación:**
 - Instalación de Variador de Frecuencia.

4.1 MEDIDAS PARA LA REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS ELÉCTRICAS

Las pérdidas eléctricas en una instalación electromecánica de bombeo representan alrededor del 3% del consumo total de energía. Por ello, no supone un área de gran potencial de ahorro. No obstante, es interesante realizar un estudio del sistema eléctrico y proponer medidas que reduzcan el consumo energético. Además, estas medidas pueden repercutir optimizando el funcionamiento del resto del sistema como puede ser la incorporación de un banco de condensadores.

Sección de los conductores

Analizar el estado de carga de los conductores y analizar su estado de funcionamiento. En caso de estar funcionando sobrecargados, sustituirlos por unos de mayor calibre que funcionen correctamente y reduzcan las pérdidas, al disminuir su resistividad.

Para calcular los ahorros obtenidos:

$$\Delta P_{el\acute{e}ctricas} = \frac{(R_r - R_{r'}) \times I^2 \times L_c}{1000}$$

$$Ahorros_{p\acute{e}rdidas\ el\acute{e}ctricas} = \Delta P_{el\acute{e}ctricas} \times N^{\circ} \text{ horas funcionamiento}$$

R_r = Resistividad conductor nuevo (Ω/km).

$R_{r'}$ = Resistividad conductor antiguo (Ω/km).

I = Corriente que circula por el tramo (A).

L_c = Longitud del tramo (km).

$\Delta P_{el\acute{e}ctricas}$ = Ahorros de potencia (kW).

$Ahorros_{p\acute{e}rdidas\ el\acute{e}ctricas} (kWh)$ = Ahorros energéticos (kWh).

Optimización del Factor de Potencia

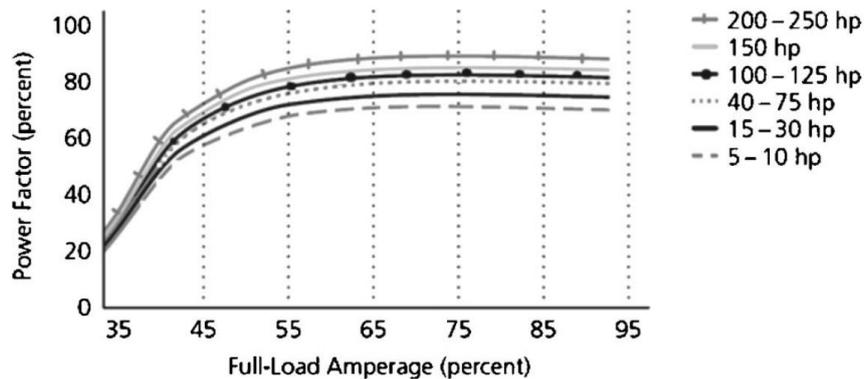
El objetivo de esta medida será eliminar los problemas ocasionados por un bajo Factor de Potencia:

- Reducción de potencia disponible en el transformador.
- Aumento de las pérdidas en los conductores para la misma potencia útil.
- Penalizaciones por consumo de energía reactiva.

En general, con un Factor de Potencia por debajo de 0,9 es aconsejable tomar medidas para ajustarlo cerca de la unidad.

Durante la auditoría se debe observar si éste valor es consecuencia de un motor sobredimensionado o que trabaja en malas condiciones. En caso de que el motor esté trabajando con un factor de carga relativamente bajo (véase *Gráfico 4.2.1*), es interesante estudiar la posibilidad de sustituir el motor por uno nuevo con una capacidad tal que opere alrededor del 75% de carga.

Gráfico 4.2.1. Curva de comportamiento de los motores Factor de Carga – Factor de Potencia



Una vez analizado el problema de los motores, compensar el Factor de Potencia con bancos de condensadores. Para estimar la capacitancia que necesitarán los condensadores se sigue el siguiente proceso:

- Medir el factor de potencia (proceso de medición en el apartado “3. METODOLOGIA → 3.3 MEDICIONES DE CAMPO → 3.3.1 BLOQUE 1. PÉRDIDAS ELÉCTRICAS → 3.3.1.2 Factor de Potencia”).
- Proponer la instalación de un banco de condensadores para elevar el Factor de Potencia a 0,97 (por ejemplo). Calcular la capacitancia necesaria por los condensadores.
- Instalar el banco de condensadores corriente abajo del arrancador, de forma que únicamente pase corriente a través de ellos cuando el motor entre en funcionamiento.

Cálculo de la capacitancia:

$$C_0 = P_e \left\{ \frac{\sqrt{1 - FP^2}}{FP} - \frac{\sqrt{1 - (0,97)^2}}{0,97} \right\}$$

C_0 = Capacidad requerida de los condensadores (kVar).

P_e = Potencia eléctrica demandada por el motor (kW).

FP = Factor de potencia del motor medido.

4.2 MEDIDAS PARA INCREMENTAR LA EFICIENCIA EN LOS MOTORES

A continuación, se muestra una serie de acciones para corregir condiciones de operación ineficiente de los motores eléctricos:

Tabla 4.2.1. Medidas para incrementar la eficiencia de los motores

| Condición Observada | Diagnóstico | Acción correctiva propuesta |
|---|---|---|
| Voltaje de alimentación por debajo del nominal | El voltaje en el punto de acometida está por debajo del nominal | Corregir con los taps ⁸ del transformador |
| | | Solicitar al suministrador que corrija el problema |
| | El voltaje en el punto de acometida presenta variaciones mayores al 5% | Solicitar al suministrador que corrija el problema |
| | El voltaje en el punto de acometida es el nominal y no presenta variaciones significativas | Corregir con los taps del transformador |
| Practicarle un diagnóstico y mantenimiento al transformador | | |
| Desbalance del voltaje de alimentación del motor | El voltaje en el punto de acometida está desequilibrado | Solicitar al suministrador que corrija el problema |
| | El voltaje en la acometida está equilibrado y en el secundario del transformador desequilibrado | Practicar un diagnóstico y mantenimiento al transformador |
| | El voltaje en los bornes del secundario del transformador está balanceado y en la alimentación al motor se encuentra desequilibrado | Revisar la conexión de puesta a tierra del transformador y el motor. |
| | | Revisar las conexiones del Cuadro General de Derivación, arrancador y motor. |
| Desbalance en la corriente demandada por el motor | El desbalance en corriente es inversamente proporcional al desbalance en voltaje | Corregir el desbalance en voltaje |
| | El desbalance es producido por una demanda desequilibrada por las fases del motor | Si el desbalance es menor al 5%, practicarle un mantenimiento al motor |
| | | Si el desbalance es mayor al 5%, sustituir el motor por un motor nuevo de alta eficiencia |

⁸ Taps: componentes físicos en forma de manija (cambiadores) de un transformador, que se utilizan para graduar la relación de transformación del voltaje y ajustar el voltaje de salida al motor para absorber las variaciones del suministrador. Típicamente, son 5 pasos uno de ellos es neutral, los otros alteran la razón en más o menos el 5%.

| | | |
|---|---|---|
| La velocidad de operación del motor está por debajo de la velocidad a plena carga | Problemas con rodamientos y/o cojinetes | Lubricar y, en su caso, sustituir los elementos con problemas |
| Alta temperatura y/o alta vibración en cojinetes y/o rodamientos | | |
| El motor es de rendimiento estándar y tiene más de 10 años de operación | El rendimiento del motor es bajo | Sustituir el motor actual por uno nuevo de alto rendimiento, de una capacidad tal que opere cerca del 75% de su capacidad |
| El motor ha sido rebobinado más de dos veces | El rendimiento del motor se encuentra depreciado | |
| El motor se encuentra trabajando con un Factor de Carga inferior al 45% | El motor se encuentra trabajando en una zona donde su rendimiento es bajo | |
| El motor se encuentra trabajando con un Factor de Carga mayor al 100% | El motor se encuentra trabajando en una zona donde su rendimiento es bajo | |

Sustitución del conjunto bomba-motor

Esta medida es aconsejable si tras aplicar las mejoras descritas en la Auditoría Energética, se consigue un potencial de ahorro de un 20%. Además, si el potencial para mejorar el rendimiento de los motores supera el 5% es todavía más aconsejable.

Para realizar este cambio, comprobar que el motor seleccionado trabaje en torno al 70% y el 80% de carga para la bomba elegida. Los motores eléctricos actuales ofrecen altos rendimientos por lo que merece la pena seleccionar el adecuado. Los motores de alta eficiencia actuales se clasifican en 3 niveles de eficiencia según las IEC (Internacional Electrotechnical Commission) y las CEMEP. Existen más normas utilizadas globalmente para la clasificación de los motores en diferentes niveles de eficiencia (véase *Tabla 4.2.1*). A continuación se muestran unos modelos de motores SIEMENS de clasificación EFF2 (equivalente a IE1) cuyo nivel de eficiencia se define como “standard efficiency”, a pesar de ser ligeramente superior a los motores auditados.

Tabla 4.2.1. Clases de rendimiento EUMEPS, IE, CEMP y US EpAct

| IEC 60034-30 | EU MEPS IE3 Premium efficiency | CEMP Acuerdo Europeo voluntario | US EpAct | Otras directivas locales similares |
|--------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---|---|
| IE3 - Premium efficiency | IE3 - Premium efficiency | | Idéntica a NEMA Premium efficiency | |
| IE2 High efficiency | IE2 High efficiency | Comparable a EFF1 | Idéntica a NEMA Energy efficiency/EPACT | Canada Méjico Australia Nueva Zelanda Brasil 2009 China 2011 Suiza 2012 |
| IE1 Standard efficiency | | Comparable a EFF2 | Menor que el rendimiento estándar | China Brasil Costa Rica Israel Taiwan Suiza 2010 |

Tabla 4.2.2. Características generales de Motres trifásicos SIEMENS nivel de eficiencia CEMP "EFF2".

| Output kW | Frame Size | Speed rpm | Rated current | | | Power factor cosφ | Class | Efficiency | | Rated torque Nm | Ratio | | | Noise Lpa dB(A) | Weight kg | Product Code |
|-----------|------------|-----------|---------------|--------|--------|-------------------|-------|------------|-----------|-----------------|------------------|-----------------|---------------|-----------------|-----------|----------------|
| | | | 380V A | 400V A | 415V A | | | 100%Load % | 75%Load % | | Starting current | Starting torque | B/down torque | | | |
| 0.09 | 56 M | 2830 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.81 | | 63 | 62 | 0.3 | 3.7 | 2 | 2.3 | 41 | 3 | 1LA7 050-2AA.. |
| 0.12 | | 2800 | 0.32 | 0.32 | 0.32 | 0.83 | | 65 | 64 | 0.41 | 3.7 | 2.1 | 2.4 | 41 | 3 | 1LA7 053-2AA.. |
| 0.18 | 63 M | 2820 | 0.52 | 0.51 | 0.53 | 0.82 | | 63 | 62 | 0.61 | 3.7 | 2 | 2.2 | 49 | 3.5 | 1LA7 060-2AA.. |
| 0.25 | | 2830 | 0.68 | 0.68 | 0.70 | 0.82 | | 65 | 65 | 0.84 | 4 | 2 | 2.2 | 49 | 4.1 | 1LA7 063-2AA.. |
| 0.37 | 71 M | 2740 | 1.05 | 1.00 | 1.02 | 0.82 | | 66 | 65 | 1.3 | 3.5 | 2.3 | 2.3 | 52 | 5 | 1LA7 070-2AA.. |
| 0.55 | | 2800 | 1.38 | 1.36 | 1.41 | 0.82 | | 71 | 70 | 1.9 | 4.3 | 2.5 | 2.6 | 52 | 6.6 | 1LA7 073-2AA.. |
| 0.75 | 80 M | 2855 | 1.75 | 1.73 | 1.79 | 0.86 | | 73 | 72 | 2.5 | 5.6 | 2.3 | 2.4 | 56 | 8.2 | 1LA7 080-2AA.. |
| 1.1 | | 2845 | 2.45 | 2.40 | 2.50 | 0.87 | eff 2 | 77 | 77 | 3.7 | 6.1 | 2.6 | 2.7 | 56 | 9.9 | 1LA7 083-2AA.. |
| 1.5 | 90S | 2860 | 3.40 | 3.25 | 3.35 | 0.85 | eff 2 | 79 | 80 | 5 | 5.5 | 2.4 | 2.7 | 60 | 12.9 | 1LA7 090-2AA.. |
| 2.2 | | 90L | 2880 | 4.70 | 4.55 | 4.65 | 0.85 | eff 2 | 82 | 82 | 7.3 | 6.3 | 2.8 | 3.1 | 60 | 15.7 |
| 3 | 100L | 2890 | 6.25 | 6.10 | 6.15 | 0.85 | eff 2 | 84 | 84 | 9.9 | 6.8 | 2.8 | 3 | 62 | 22 | 1LA7 106-2AA.. |
| 4 | 112M | 2905 | 8.20 | 7.80 | 7.70 | 0.86 | eff 2 | 86 | 86 | 13 | 7.2 | 2.6 | 2.9 | 63 | 29 | 1LA7 113-2AA.. |
| 6.5 | | 2900 | 13.6 | 13.3 | 13.9 | 0.83 | | 85 | 84 | 21.4 | 8.6 | 3 | 3.8 | 67 | 36 | 1LA9 113-2LA.. |
| 5.5 | 132S | 2925 | 10.6 | 10.3 | 10.4 | 0.89 | eff 2 | 86.5 | 86.5 | 18 | 5.9 | 2 | 2.8 | 68 | 41 | 1LA7 130-2AA.. |
| 7.5 | | 2930 | 14.1 | 13.8 | 13.8 | 0.89 | eff 2 | 88 | 88 | 24 | 6.9 | 2.3 | 3 | 68 | 49 | 1LA7 131-2AA.. |
| 11 | 132M | 2905 | 22.0 | 21.7 | 23.0 | 0.85 | | 86 | 85 | 36 | 7.5 | 2.5 | 2.9 | 76.5 | 61 | 1LA9131-2LA.. |
| 11 | 160M | 2940 | 21.0 | 20.0 | 20.5 | 0.88 | eff 2 | 89.5 | 89.5 | 36 | 6.5 | 2.1 | 2.9 | 70 | 69 | 1LA7 163-2AA.. |
| 15 | | 2940 | 28.0 | 26.5 | 26.0 | 0.90 | eff 2 | 90 | 90.2 | 49 | 6.6 | 2.2 | 3 | 70 | 80 | 1LA7 164-2AA.. |
| 18.5 | 160L | 2940 | 34.0 | 32.5 | 32.0 | 0.91 | eff 2 | 91 | 91.2 | 60 | 7 | 2.4 | 3.1 | 70 | 93 | 1LA7 166-2AA.. |
| 22 | 180M | 2945 | 42 | 40.5 | 40 | 0.86 | eff 2 | 91.4 | 91.4 | 71 | 7.0 | 2.5 | 3.4 | 69 | 145 | 1LG4 183-2AA.. |
| 30 | 200L | 2950 | 56 | 54 | 53 | 0.88 | eff 2 | 91.9 | 91.5 | 97 | 7.0 | 2.4 | 3.0 | 73 | 205 | 1LG4 206-2AA.. |
| 37 | | 2950 | 69 | 66 | 65 | 0.88 | eff 2 | 92.6 | 92.4 | 120 | 7.3 | 2.5 | 3.2 | 73 | 225 | 1LG4 207-2AA.. |
| 45 | 225M | 2955 | 81 | 77 | 75 | 0.90 | eff 2 | 93.4 | 93.4 | 145 | 6.9 | 2.3 | 2.7 | 73 | 310 | 1LA6 223-2AB.. |
| 55 | 250S | 2965 | 98 | 93 | 91 | 0.91 | | 94.0 | 94.0 | 177 | 6.9 | 2.1 | 2.8 | 75 | 415 | 1LA6 253-2AB.. |
| 55 | | 2965 | 98 | 93 | 91 | 0.91 | eff 2 | 94.0 | 94.0 | 177 | 6.9 | 2.1 | 2.8 | 75 | 415 | 1LA6 253-2AB.. |
| 75 | 250M | 2970 | 138 | 130 | 128 | 0.88 | | 94.0 | 93.6 | 241 | 7.5 | 2.5 | 3.5 | 75 | 490 | 1LA6 258-2AB.. |
| 75 | | 2975 | 134 | 128 | 126 | 0.90 | eff 2 | 94.3 | 94.2 | 241 | 7.0 | 1.9 | 2.7 | 77 | 570 | 1LA6 280-2AC.. |
| 90 | 280S | 2975 | 158 | 150 | 146 | 0.91 | | 95.1 | 94.7 | 289 | 7.0 | 2.0 | 2.7 | 77 | 610 | 1LA6 283-2AC.. |

Para hallar la potencia ahorrada debida a la sustitución del conjunto motor-bomba realizar los siguientes pasos:

- **Paso 1.** Calcular la potencia eléctrica consumida por el equipo actual (P_e).
- **Paso 2.** Calcular la eficiencia electromecánica del conjunto motor-bomba propuesto ($\eta_{em'}$). Para ello seleccionar el rendimiento de la bomba y motor esperados según sus características generales de funcionamiento.

$$\eta_{em'} = \eta_{b'} \times \eta_{m'}$$

- **Paso 3.** Calcular la potencia eléctrica que demandará el equipo una vez realizado el cambio del conjunto motor-bomba ($P_{e'}$).

$$P_{e'} = P_e \times \frac{\eta_{em}}{\eta_{em'}}$$

- **Paso 4.** Calcular los ahorros a obtener.

$$Ahorros_{cambio\ motor-bomba} = (P_e - P_{e'}) \times N^{\circ}\text{ horas funcionamiento}$$

4.3 MEDIDAS PARA INCREMENTAR LA EFICIENCIA EN LAS BOMBAS

El equipo de bombeo debe estar calculado para que trabaje en su zona de mayor rendimiento. Al seleccionar la bomba se recomienda:

- No calcular márgenes de seguridad irreales.
- En instalaciones que se espera que el punto de funcionamiento pueda variar, es recomendable seleccionar bombas cuya curva H-Q sea más plana (véase *Gráfico 4.3.1*). Por el contrario, aquellas instalaciones que se espera trabajen en un mismo punto de funcionamiento a lo largo de su operación, es conveniente seleccionar una curva H-Q con más pendiente y la curva η -Q con el valor máximo más pronunciado, buscando trabajar cerca de este valor (véase *Gráfico 6.3.2*).

Un ejemplo del primer caso es un pozo en el que su nivel dinámico puede crecer o decrecer en función de la pluviometría del año. El segundo caso, puede ser un rebombeo desde un depósito de agua sucia a uno de agua limpia pasando por tratamiento.

Gráfico 4.3.1. Curva más plana

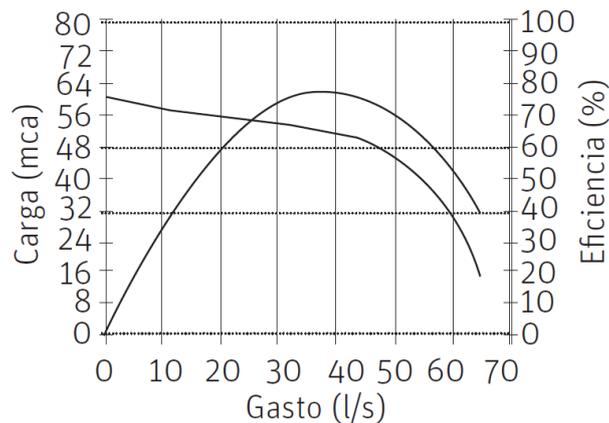
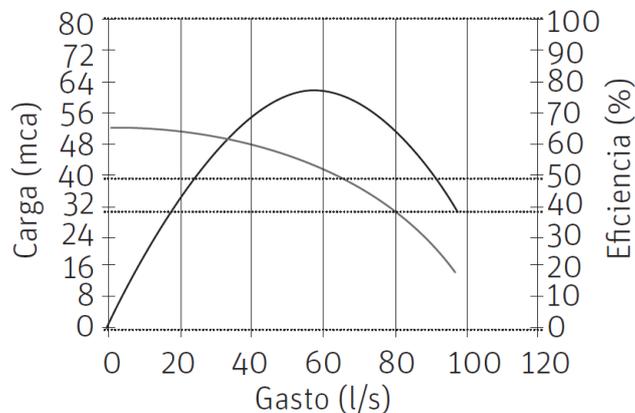


Gráfico 4.3.2. Curva más pronunciada



4.4 REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS DE CARGA

En este punto se analizan posibles malas configuraciones en la tubería de descarga. Durante la visita a campo realizada, se observará la configuración de la tubería de descarga. En instalaciones antiguas con pozos en desuso, muchas veces existen pozos nuevos cuyas tuberías de descarga recorren tramos “serpenteantes” por aprovechar las antiguas tuberías de descarga. Esta mala configuración añade una carga de bombeo al equipo. El estudio de viabilidad de la sustitución de las tuberías no atañe a este estudio.

4.5 MEJORAR LA OPERACIÓN

En general, la instalación de un variador de frecuencia adecua el punto de funcionamiento de la bomba para que trabaje entregando una presión de consigna. Con ello se consigue un fuerte potencial de ahorro. La instalación de estos equipos de regulación es conveniente, sobretodo, en aquellos equipos que bombean directamente a red o bien, se espera que trabajen en varios puntos de funcionamiento a lo largo de su operación.

Por ejemplo, en un rebombado a red (véase *Fotografía 19*) es muy aconsejable la instalación de un variador de frecuencia que adecua en todo momento la Altura entregada por la bomba para conseguir la presión mínima de abastecimiento. Por otro lado, en un pozo (véase *Fotografía 20*) bombeando a depósito, cuyo acuífero posee bastante altura, también será conveniente la instalación del variador de frecuencia, puesto que la altura que entrega la bomba puede cambiar ligeramente de un año a otro.

Fotografía 19. Variador de frecuencia instalado en rebombado directo a red



Por otro lado, en un pozo (véase *Fotografía 20*) bombeando a depósito, cuyo acuífero posee bastante altura, también será conveniente la instalación del variador de frecuencia, puesto que la altura que entrega la bomba puede cambiar ligeramente de un año a otro.

Fotografía 20. Variador de frecuencia instalado en pozo que bombea a depósito



A la hora de la instalación del variador de frecuencia, se tiene que comprobar que éste se adecue al equipo que se pretende instalar. Es decir, comprobar las características generales del motor que se va a alimentar y del variador de frecuencia que se va a instalar. Ver que la potencia admisible por el variador de frecuencia es superior a la del motor más un pequeño margen de seguridad y que la corriente admisible por el variador también supera la corriente nominal del motor.

5. APLICACIÓN PRÁCTICA

La elaboración final de un protocolo para la realización de auditorías energéticas en equipos electromecánicos de bombeo, permite obtener el análisis de las instalaciones que se muestran.

Se ha decidido mostrar en este apartado los dos ejemplos más significativos: un pozo y un rebombeo. Generalmente, las instalaciones de bombeo hidráulico son de uno de estos dos tipos. Por motivos de confidencialidad de la información, no se adjunta el nombre del municipio ni de la instalación.

A continuación, se adjuntan los resultados obtenidos por la hoja de cálculo Excel:

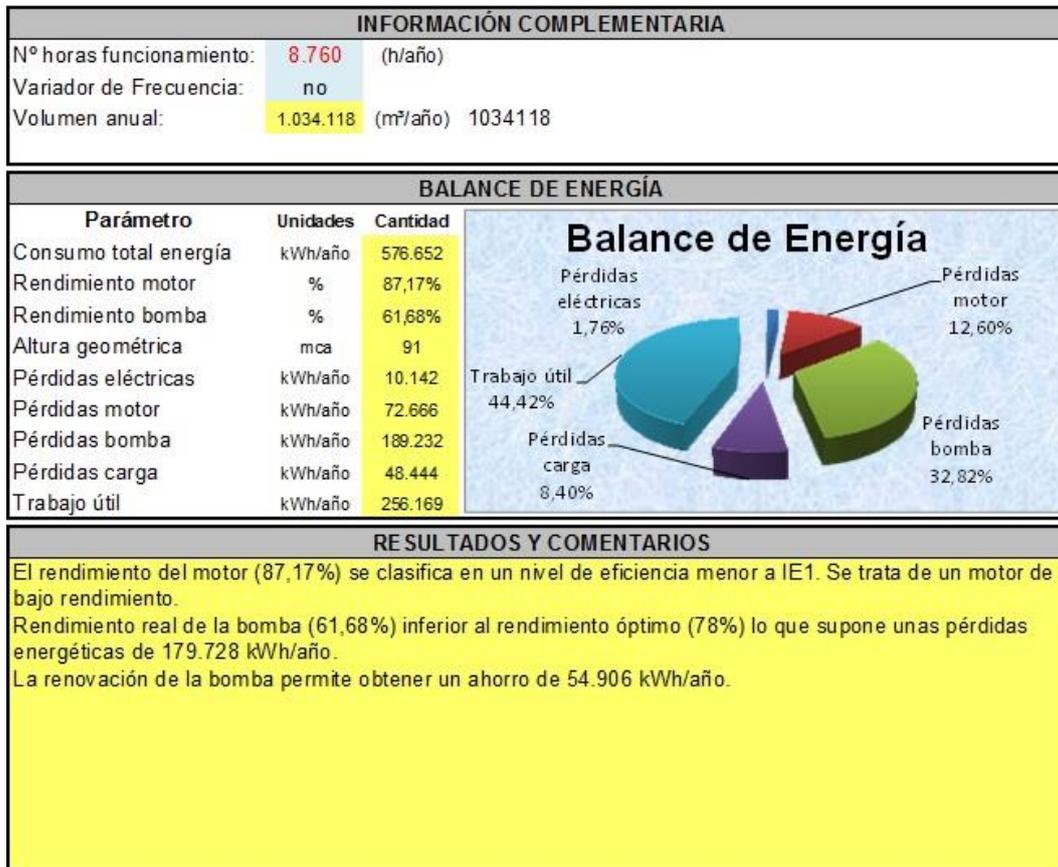
5.1 POZO VALENCIA ESTE

Gráfico 5.1.1. Hoja 1. "Recolección datos" Pozo

| | | | | |
|---|---|---|--|---------------------------|
| EXPLOTACIÓN - U.O. | xxx - U.O. VALENCIA ESTE | | | |
| INSTALACIÓN | CAPTACIÓN - Pozo Municipal xxx | | | |
| CODIGO | AP005/CAP/BSP/01 | FECHA | 26/05/2014 | |
| DATOS DE LA INSTALACIÓN/EQUIPO | | | | |
| DIAGRAMA UNIFILAR | | | LEYENDA | |
| CONDUCTORES | Descripción | Tipo | Calibre (mm ²) | Longitud (m) |
| Aguas arriba medición | 1 | Transf. - Seccionador | 3 unipolares + neutro | 120 |
| | 2 | Seccionador - CGD | 3 unipolares + neutro | 120 |
| Aguas abajo medición | 3 | CGD - Brocal | 3 unipolares + neutro | 120 |
| | 4 | Brocal - Motor | 3 unipolares + neutro | 95 |
| BOMBA | Marca: ATURIA | Modelo: XN10E4A | | |
| | Tipo: sumergible | Etapas: 4 | | |
| | Altura manométrica: 94 (mca) | Caudal: 168,9 (m ³ /h) | | |
| MOTOR | Marca: ATURIA | Modelo: H8.85 | | |
| | Potencia: 63 (kW) | cos φ: 0,875 | | |
| | Intensidad nom. (ΔY): 108,2 (A) | Tensión nom. (ΔY): 380 (V) | | |
| | Vel. Nominal: 2911 (rpm) | Rendimiento nom.: 86,95% | | |
| HISTORIAL | Años: 3 | Nº de Rebobinados: 0 | | |
| PROPIEDADES FLUIDO | Temp. (°C): 16 | Densidad fluido: 998,96 (kg/m ³) | | |
| TOPOGRAFÍA | Cota equipo (msnm): 128,0 | Cota punto entrega más alto (msnm): 136,0 | | |
| MEDIDAS | | | | |
| MEDIDAS HIDRÁULICAS | | | | |
| Caudal: | 118,1 (m ³ /h) | Nivel dinámico: | 83,0 (m) | |
| P _{salida} : | 0,9 (bar) | D _{r-ms} (Altura manómetro de salida): | 1 (m) | |
| P _{aspiración} : | (bar) | D _{r-ma} (Altura manómetro de aspiración): | (m) | (m) |
| Caso A (Pozo) | L _{r-ms} (Long. brocal-man. salida): | 0,8 (m) | Profundidad bomba: | 126,0 |
| Caso B (Rebombeo) | L _{a-o} (Long. man. asp.-bomba): | (m) | L _{d-o} (Long. man. desc.-bomba): | |
| MEDIDAS ELÉCTRICAS <i>(realizadas lo más próximo posible a la entrada del motor)</i> | | | | |
| Punto de medición: | | | Tipo conexión motor (ΔY): | |
| U _w (V): | 386,3 | I _w (A): | 113,4 | P _w (kW): 21,8 |
| U _{vw} (V): | 388,0 | I _v (A): | 116,7 | P _v (kW): 22,3 |
| U _{wv} (V): | 383,5 | I _w (A): | 114,5 | P _w (kW): 21,7 |
| | | | | P _e (kW): 65,8 |
| | | | | VF (%): |
| | | | | F (Hz): |
| CAPACITOR | I _{capacitor} (A): | Q _r (kVar): | cos φ: 0,86 | |
| OBSERVACIONES | | | | |
| Firma empleado | | | | |

Gráfico 5.1.2. Hoja 2. "Cálculos" Pozo

| EXPLOTACIÓN - U.O. | xxx - U.O. VALENCIA ESTE | | | | | | | |
|---|--------------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------------------|---------------------------|--|--------|--------|
| IN STALACIÓN | CAPTACIÓN - Pozo Municipal xxx | | | | | | | |
| CODIGO | AP005/CAP/BSP/01 | FECHA | 26/05/2014 | | | | | |
| EVALUACIÓN DE LOS CONDUCTORES ELÉCTRICOS | | | | | | | | |
| Tramo | Calibre mm ² | Longitud m | Resistencia Ω/km Ω | Corriente A | Pérdidas kW kWh/año | | | |
| 1 | 120 | 6 | 0,164 0,00 | 114,87 | 0,04 | 341 | | |
| 2 | 120 | 6 | 0,164 0,00 | 114,87 | 0,04 | 341 | | |
| 3 | 120 | 5 | 0,164 0,00 | 114,87 | 0,03 | 284 | | |
| 4 | 95 | 126 | 0,21 0,03 | 114,87 | 1,05 | 9.175 | | |
| EVALUACIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO | | | | | | | | |
| | Promedio | Des balance | V/V _{nominal} | | | | | |
| Tensión (V) | 383 | 0,64% | 0,74% | | | | | |
| Intensidad (A) | 115 | 1,60% | | | | | | |
| Potencia (kW) | 65 | 1,66% | | | | | | |
| Factor de Potencia | 0,86 | | | | | | | |
| <i>Evaluación Rendimiento</i> | | | | | | | | |
| Factor de Carga (F.C.): | 89,48% | | | Curva F.C. - $\eta_{nominal-motor}$ | | | | |
| Rendimiento nominal: | 87,23% | | | F.C. | $\eta_{nom-motor}$ | Ec. ajuste $\eta_{nominal-motor} - F.C.$ | | |
| Rendimiento real: | 87,17% | | | 0,5 | 0,842 | A B C | | |
| <i>Depreciación rendimiento</i> | | | | 0,75 | 0,869 | -0,20 0,36 0,71 | | |
| Factor antigüedad: | 0,00% | | | 1 | 0,870 | $\eta = A \times x^2 + B \times x + C$ | | |
| Factor rebobinados: | 0,00% | | | | | | | |
| Factor V _{alimentación} -V _{nom.} : | -0,05% | | | | | | | |
| Factor V _{desbalance} : | 100,0% | | | | | | | |
| EVALUACIÓN DE LA BOMBA | | | | | | | | |
| CARGA DE BOMBEO | | | | | | | | |
| Pérdidas en aspiración: | 0,0 (m) | Pérdidas en descarga: | 14,9 (m) | | | | | |
| Visosidad fluido | 1,1E-06 (m ² /s) | Densidad fluido: | 999,0 (kg/m ³) | | | | | |
| H. manométrica real: | 108,2 (mca) | Pérdidas en accesorios: | 0,1 (m) | | | | | |
| H. manom. teórica: | 118,4 (mca) | RENDIMIENTOS | | | | | | |
| CAUDAL | | | | | | | | |
| Caudal: | 118,05 (m ³ /h) | Rend. electromecánico: | 53,77% | | | | | |
| POTENCIA HIDRÁULICA | | | | | | | | |
| De acuerdo a mediciones: | 34,8 (kW) | Rendimiento real bomba: | 61,68% | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| <i>Pérdidas en la tubería (fórmula de "Darcy-Weisbach")</i> | | | | | | | | |
| Caso A (Pozo): | ϵ_{abs} (mm) | L _{prof. bomba} | L _{broca-man} | D (mm) | V (m/s) | Re | f | hf (m) |
| Columna impulsión: | 1,5 | 126,0 | 0,8 | 125 | 2,67 | 2,99E+08 | 0,0404 | 14,9 |
| | | | | | 0,00 | 0,00E+00 | 0,0000 | 0,0 |
| Caso B (Rebombeo): | ϵ_{abs} (mm) | L (m) | D (mm) | V (m/s) | Re | f | hf (m) | |
| Aspiración: | | 0,0 | | 0,00 | 0,00E+00 | 0,0000 | 0,0 | |
| Descarga: | | 0,0 | | 0,00 | 0,00E+00 | 0,0000 | 0,0 | |
| <i>Pérdidas en accesorios " (hasta manómetro) "</i> | | | | | | | | |
| Accesorios | Codo | Válvula corte | Válvula retención | Otros | | | | |
| Unidades | 1 | | | | | | | |
| Diámetro (mm) | 150 | | | | | | | |
| Coefficiente K | 0,75 | 0,25 | 2,5 | | | | | |
| Velocidad (m/s) | 1,86 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| h _{accesorios} (m) | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | |



La instalación analizada se trata de un pozo en el que la bomba está a 126 metros de profundidad. El diseño de la instalación de bombeo hidráulico en un pozo es más compleja, puesto que el nivel dinámico del acuífero es una variable temporal que depende de la climatología y, más concretamente, de la meteorología del año. Por ello, el punto de funcionamiento de la instalación, aunque bombeo a un depósito, se verá sometido a fluctuaciones a lo largo del año.

El motor instalado presenta un rendimiento bajo según lo establecido por la clasificación IEC (International Electrothechnical Comission).

En este pozo, el punto de funcionamiento de la bomba está lejos del punto de funcionamiento óptimo. Esto se debe a que el nivel dinámico del acuífero ha aumentado en los últimos años debido a la sequía, y por ello, la curva resistente se ha desplazado hacia arriba, desplazando el punto de funcionamiento lejos del punto óptimo para el que se diseñó. En los “Resultados y Comentarios” vemos las pérdidas energéticas que conlleva trabajar en este punto de funcionamiento frente a trabajar en el punto de diseño (punto de funcionamiento óptimo).

No obstante, la bomba en el punto de funcionamiento de trabajo y según las especificaciones del fabricante, debería dar un rendimiento del 72,8%. Este valor está muy lejos del rendimiento real de la bomba 61,68%, lo que indica que la bomba ha sufrido un desgaste.

Para esta instalación se plantea la renovación de la bomba por otra igual pero nueva, lo que supondría unos ahorros de:

- Bomba trabajando 8 h/día: 18.302 kWh/año.
- Bomba trabajando 12 h/día: 27.453 kWh/año.
- Bomba trabajando 24 h/día: 54.906 kWh/año.

5.2 REBOMBEO VALENCIA ESTE

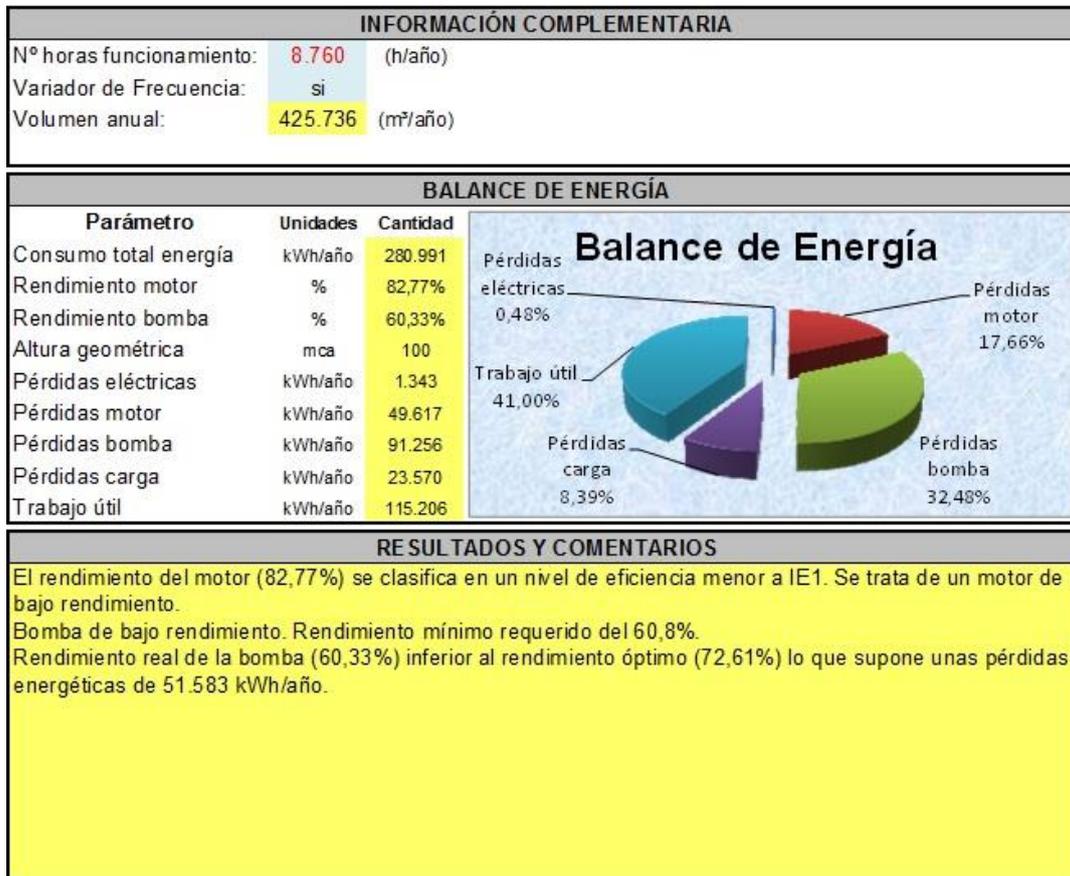
Gráfico 5.2.1. Hoja 1. "Cálculos" Rebombeo

| EXPLOTACIÓN - U.O. | xxx - U.O. VALENCIA ESTE | | | | |
|--|--|---|---|-----------------------|------|
| INSTALACIÓN | CAPTACIÓN - REBOMBEO xxx | | | | |
| CODIGO | AP001/CAP/BSP/02 | FECHA | 27/04/2015 | | |
| DATOS DE LA INSTALACIÓN/EQUIPO | | | | | |
| DIAGRAMA UNIFILAR | | | LEYENDA | | |
|  | | | <ul style="list-style-type: none"> ● Pto. Medidas elécticas M Motor DOL Arrancador directo Δ/Y Arrancador Δ/Y AE Arrancador estático C Condensadores CGP CGP (Cuadro General Protección) CGD CGD (Cuadro general Derivación) T Transformador VF Variador de frecuencia | | |
| CONDUCTORES | Descripción | Tipo | Calibre (mm ²) | Longitud (m) | |
| Aguas arriba medición | 1 Punto de acometida - CGD | 3 unipolares + neutro | 25 | 10 | |
| Aguas abajo medición | 2 | | | | |
| | 3 CGD - Motor | 3 unipolares + neutro | 25 | 10 | |
| | 4 | | | | |
| BOMBA | Marca: INDAR | Modelo: 202-6 | | | |
| | Tipo: sumergible | Etapas: 6 | | | |
| | Altura manométrica: 117,56 (mca) | Caudal: 75,6 (m ³ /h) | | | |
| MOTOR | Marca: INDAR | Modelo: 18-3/055 | | | |
| | Potencia: 38 (kW) | cos φ: 0,85 | | | |
| | Intensidad nom. (Δ/Y): 80 (A) | Tensión nom. (Δ/Y): 380 (V) | | | |
| | Vel. Nominal: 2920 (rpm) | Rendimiento nom.: 86,00% | | | |
| HISTORIAL | Años: 7 | Nº de Rebobinados: 1 | | | |
| PROPIEDADES FLUIDO | Temp. (°C): 16 | Densidad fluido: 998,96 (kg/m ³) | | | |
| TOPOGRAFÍA | Elevación equipo (msnm): 206 | Elevación pto entrega más alto (msnm): 349 | | | |
| MEDIDAS | | | | | |
| MEDIDAS HIDRÁULICAS | | | | | |
| Caudal: | 48,6 (m ³ /h) | Nivel dinámico: | (m) | | |
| P _{salida} : | 16 (bar) | D _{r-ms} (Altura manómetro de salida): | 0,1 (m) | | |
| P _{aspiración} : | 4,2 (bar) | D _{r-ma} (Altura manómetro de aspiración): | 0 (m) | (m) | |
| Caso A (1 manómetro) | L _{r-ms} (Long. broca-man. salida): | (m) | Profundidad bomba: | (m) | |
| Caso B (2 manómetros) | L _{a-o} (Long. man. asp-bomba): | 8 (m) | L _{a-o} (Long. man. deso-bomba): | 0,6 (m) | |
| MEDIDAS ELÉCTRICAS <i>(realizadas lo más próximo posible a la entrada del motor)</i> | | | | | |
| Punto de medición: | DISPLAY VF | | Tipo conexión motor (Δ/Y): | | |
| U _{lv} (V): | 393,6 | I _{lv} (A): | 57,6 | P _{lv} (kW): | 11,9 |
| U _{vw} (V): | 392 | I _{vw} (A): | 57 | P _{vw} (kW): | 11,7 |
| U _{wu} (V): | 393,6 | I _{wu} (A): | 55,5 | P _{wu} (kW): | 11,4 |
| CAPACITOR | I _{capacitor} (A): | Q _r (kVar): | cosφ: | 0,88 | |
| OBSERVACIONES | | | | | |
| | | | | | |

Firma empleado

Gráfico 5.2.2. Hoja 2. "Cálculos" Pozo

| EXPLORACIÓN - U.O. | xxx - U.O. VALENCIA ESTE | | | | | | | |
|---|-----------------------------|--|----------------------------|----------------|---------------------------|----------|--------|--------|
| IN STALACIÓN | CAPTACIÓN - REBOMBEO xxx | | | | | | | |
| CODIGO | AP001/CAP/BSP/02 | FECHA | 27/04/2015 | | | | | |
| EVALUACIÓN DE LOS CONDUCTORES ELÉCTRICOS | | | | | | | | |
| Tramo | Calibre mm ² | Longitud m | Resistencia Ω/km Ω | Corriente A | Pérdidas kW kWh/año | | | |
| 1 | 25 | 10 | 0,795 0,01 | 56,68 | 0,08 671 | | | |
| 2 | 0 | 0 | 0,00 | 56,68 | 0,00 0 | | | |
| 3 | 25 | 10 | 0,795 0,01 | 56,68 | 0,08 671 | | | |
| 4 | 0 | 0 | 0,00 | 56,68 | 0,00 0 | | | |
| EVALUACIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO | | | | | | | | |
| | Promedio | Des balance | VV _{nominal} | | | | | |
| Tensión (V) | 393 | 0,27% | 3,32% | | | | | |
| Intensidad (A) | 57 | 2,09% | | | | | | |
| Potencia (kW) | 32 | 2,15% | | | | | | |
| Factor de Potencia | 0,88 | | | | | | | |
| <i>Evaluación Rendimiento</i> | | | | | | | | |
| Factor de Carga (F.C.): | 69,54% | | | | | | | |
| Rendimiento nominal: | 84,78% | | | | | | | |
| Rendimiento real: | 82,77% | | | | | | | |
| <i>Depreciación rendimiento</i> | | | | | | | | |
| Factor antigüedad: | 1,00% | | | | | | | |
| Factor rebobinados: | 1,00% | | | | | | | |
| Factor V _{alimentación} -V _{nom.} : | 0,00% | | | | | | | |
| Factor V _{desbalance} : | 100,0% | | | | | | | |
| <i>Curva F.C. - η_{nominal-motor}</i> | | | | | | | | |
| F.C. | η _{nom-motor} | Ec. ajuste η _{nominal-motor} - F.C. | | | | | | |
| 0,5 | 0,84 | A | B | C | | | | |
| 0,75 | 0,85 | 0,00 | 0,04 | 0,82 | | | | |
| 1 | 0,86 | η = A × x ² + B × x + C | | | | | | |
| EVALUACIÓN DE LA BOMBA | | | | | | | | |
| CARGA DE BOMBEO | | | | | | | | |
| Pérdidas en aspiración: | 0,0 (m) | Pérdidas en descarga: | 0,0 (m) | | | | | |
| Visosidad fluido | 1,1E-06 (m ² /s) | Densidad fluido: | 999,0 (kg/m ³) | | | | | |
| H. manométrica real: | 120,5 (mca) | Pérdidas en accesorios: | 0,05 (m) | | | | | |
| H. manom. teórica: | 132,1 (mca) | RENDIMIENTOS | | | | | | |
| CAUDAL | | | | | | | | |
| Caudal: | 48,60 (m ³ /h) | Rend. electromecánico: | 49,94% | | | | | |
| | | Rendimiento real bomba: | 60,33% | | | | | |
| POTENCIA HIDRÁULICA | | | | | | | | |
| De acuerdo a mediciones: | 15,9 (kW) | Rendimiento teórico bomba: | 61,29% | | | | | |
| | | Rendimiento óptimo bomba: | 72,61% | | | | | |
| <i>Pérdidas en la tubería (fórmula de Darcy-Weisbach)</i> | | | | | | | | |
| Caso A (Pozo): | ε _{abs} (mm) | L _{prof.bomba} | L _{broca-man} | D (mm) | V (m/s) | Re | f | hf (m) |
| Columna impulsión: | | 0,0 | 0,0 | | 0,00 | 0,00E+00 | 0,0000 | 0,0 |
| | | | | | 0,00 | 0,00E+00 | 0,0000 | 0,0 |
| Caso B (Rebombeo): | ε _{abs} (mm) | L (m) | D (mm) | V (m/s) | Re | f | hf (m) | |
| Aspiración: | 0,25 | 8,0 | 150 | 0,76 | 1,03E+08 | 0,0223 | 0,0 | |
| Descarga: | 0,25 | 0,6 | 125 | 1,10 | 1,23E+08 | 0,0234 | 0,0 | |
| <i>Pérdidas en accesorios " (hasta manómetro) "</i> | | | | | | | | |
| Accesorios | Codo | Válvula corte | Válvula retención | Otros | | | | |
| Unidades | 1 | 1 | | 1 | | | | |
| Diámetro (mm) | 150 | 150 | | 125 | | | | |
| Coefficiente K | 0,75 | 0,25 | 2,5 | 0,25 | | | | |
| Velocidad (m/s) | 0,76 | 0,76 | 0,00 | 1,10 0,00 | | | | |
| h _{accesorios} (m) | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 0,0 | | | | |



La instalación analizada se trata de un rebombeo para elevar el agua desde un depósito a otro. Las fluctuaciones en los niveles de agua de los depósitos son despreciables a efectos de cálculo.

Se aprecia en el “Balance de Energía” unas pérdidas muy elevadas en el grupo motor-bomba. La mitad de la energía que se consume se pierde en el proceso de conversión en estos equipos.

En esta instalación se acopló un grupo motor-bomba sumergible que trabajaba en un pozo y estaba en desuso por haber sido sustituida.

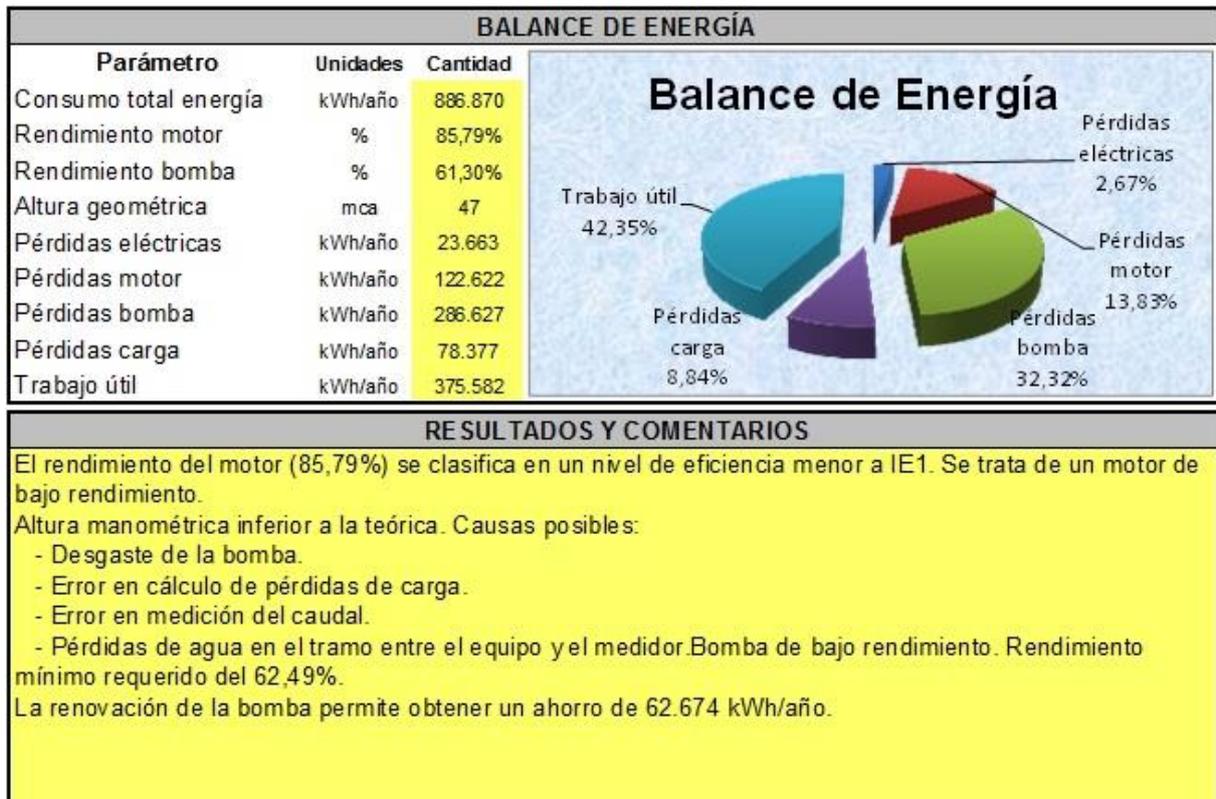
El motor está dando un rendimiento del 82,77%. Es un valor muy bajo para un motor con una potencia de 38 kW. Se propone la sustitución de este motor por un motor horizontal MEB 200L2-2, de 37 kW de potencia, clasificación IE2, cuyo rendimiento nominal a plena carga es del 92,5%. Este cambio supondrá unos ahorros de 14.007 kWh/año (suponiendo que trabaja 12 h al día).

Por otro lado, la bomba trabaja a un rendimiento del 60,33%, lejos de su punto óptimo de funcionamiento, cuyo rendimiento es del 72,61%, lo que conlleva unas pérdidas energéticas muy elevadas (51.583 kWh).

6. CONCLUSIÓN

El último paso de la Auditoría Energética es la elaboración de un reporte que contenga las observaciones y conclusiones de dicha auditoría, poniendo énfasis en las oportunidades de ahorro de energía (véase *Gráfico 6.1*).

Gráfico 6.1. Ejemplo 1 de balance de energía y resultados de una instalación de bombeo hidráulico



Este documento va acompañado de una hoja de cálculo Excel programada para insertar los datos correspondientes y obtener los resultados de la Auditoría. Desde el inicio del documento, se intenta esquematizar todos los pasos necesarios a seguir para realizar una Auditoría Energética de una instalación de bombeo hidráulico.

Tras el análisis de cerca de 40 instalaciones, se pudo realizar una auditoría energética completa de 11 de ellas. De las 11 instalaciones se conocen los puntos de funcionamiento real de la instalación. La inviabilidad de completar el estudio energético en el resto de ellas viene por diferentes circunstancias, todas ellas relacionadas con instalaciones antiguas. Algunas de ellas son:

- Conjunto motor-bomba instalados desconocidos.
- Profundidad de la bomba desconocida.
- Ausencia de sonda de nivel para medir el nivel dinámico de un pozo.
- Ausencia de contador o caudalímetro que permita conocer el caudal real.

No obstante, se han tomado medidas eléctricas con una pinza amperimétrica de todas las instalaciones. Estas medidas, nos permiten conocer el consumo energético en el punto de funcionamiento, información que puede ser útil para una empresa.

De las instalaciones que sí se ha podido completar la Auditoría Energética, se han obtenido los flujos energéticos en los diferentes elementos de la instalación. A partir de los balances energéticos, se muestran unos resultados en función de unas determinadas condiciones. Los equipos con mayor consumo de energía, el motor y la bomba, se han estudiado más a fondo.

En el motor y la bomba, se analizan 3 ideas:

- Rendimiento real de funcionamiento.
- Condiciones de diseño.
- Desgaste del equipo.

En este estudio, se ha considerado que las conclusiones más sencillas y visibles para una empresa y/o persona que desea conocer el funcionamiento de la instalación, será conocer el rendimiento real del equipo, su correcto dimensionamiento y su estado de desgaste. Por ello, este estudio puede ser útil para conocer el punto de funcionamiento, o bien, como punto de partida para realizar un estudio de viabilidad para la renovación de una instalación.

De las 11 instalaciones en las que se completó la Auditoría Energética, se tienen resultados que pueden ser de interés para iniciar un estudio de viabilidad para la renovación de la instalación. No obstante, este trabajo no pudo abarcar el estudio de los 11 casos. Se escogen los dos casos más significantes y representativos, un pozo y un rebombeo. En el apartado "Aplicación Práctica" se desarrollan los resultados obtenidos en ambas instalaciones, y en el apartado "Presupuesto" se presenta un breve estudio de viabilidad para la renovación de la bomba en el pozo.

PRESUPUESTO

PRESUPUESTO

En este apartado se va a realizar un breve estudio de viabilidad para el “Pozo Valencia Este” presentados en el apartado “Aplicación práctica”. Para ello, se presupuestan los equipos de medida necesarios para realizar las mediciones y la bomba hidráulica a reponer.

1. PRESUPUESTO EQUIPOS DE MEDIDA

Equipos de medida necesarios para realizar las mediciones hidráulicas y eléctricas:

Mediciones eléctricas

Es necesario conocer los siguientes parámetros de funcionamiento del motor:

- Tensión.
- Corriente.
- Potencia activa.
- $\cos\phi$.

Las pinzas amperimétricas y los analizadores de redes permiten obtener estos parámetros de funcionamiento, siendo los segundos de mayor precisión. A continuación se presentan los presupuestos de cada uno de los equipos:

- **Pinza Amperimétrica:**
 - o *Marca: AMPROBE*
 - o *Modelo: ACD-50NAV*
 - o *Precio: 145,50€ + IVA = 176,05 €*

- **Analizador de Redes:**
 - o *Marca: AMPROBE*
 - o *Modelo: PQ55A*
 - o *Precio: 1569,99€ + IVA = 1899,69 €*

Las mediciones eléctricas realizadas en las instalaciones analizadas se hicieron con una pinza amperimétrica marca AMPROBE, modelo ACD-50NAV. El *Gráfico P1.1* muestra la comparación de proveedores que se realizó para la compra de la pinza. En amarillo se destaca la pinza amperimétrica seleccionada: 96 122 33 00

Gráfico P1.1. Comparación proveedores pinzas amperimétricas

| CONCEPTO | CANTIDAD | PROVEEDORES | | | | | | PRESUPUESTO ÓPTIMO | |
|---|----------|-------------|------------------------|----------|--------------|----------|-----------------------|--------------------|----------|
| | | Nombre | AME Material Eléctrico | Nombre | amarA | Nombre | Delegada Técnica S.L. | | |
| | | Contacto | | Contacto | | Contacto | | | |
| | | Teléfono | 96 091 30 30 | Teléfono | 96 159 78 88 | Teléfono | 96 340 38 55 | | |
| | | PreUd | Parcial | PreUd | Parcial | PreUd | Parcial | PreUd | Parcial |
| Pinza vatimétrica 600A/600V | 1,00 | 162,75 € | 162,75 € | | | 172,51 € | 172,51 € | 162,75 € | 162,75 € |
| Pinza vat. 600A/1000V con armónicos,máx/min | 1,00 | 145,50 € | 145,50 € | 202,94 € | 202,94 € | 153,78 € | 153,78 € | 145,50 € | 145,50 € |
| Pinza vat. 1000A/1000V con armónicos, máx/min | 1,00 | 202,50 € | 202,50 € | 265,78 € | 265,78 € | 219,52 € | 219,52 € | 202,50 € | 202,50 € |
| Pinza vat. 1000A/1000V,armónico,máx/min,temp | 1,00 | 243,00 € | 243,00 € | 265,78 € | 265,78 € | 259,83 € | 259,83 € | 243,00 € | 243,00 € |

Mediciones hidráulicas

Es necesario conocer los siguientes parámetros:

- Caudal.
- Presión.
- Nivel dinámico

La medición del Caudal se puede realizar mediante un contador o caudalímetro. En caso de que no esté instalado un contador en la instalación, es necesario el uso de un caudalímetro. La presión se mide con un manómetro. El nivel dinámico se puede medir con una sonda de nivel. A continuación se presupuestan los equipos:

- **Caudalímetro:**
 - o Marca: BAOTEN
 - o Modelo: WFD-DN100
 - o Precio: 392,24 €
- **Manómetro:**
 - o Marca: CEPEX
 - o Modelo: De Acero Inox. Modelo AISI 304. Rango medición 0-16 bar.
 - o Precio: 8,95 €
- **Sonda de nivel:**
 - o Marca: IFM
 - o Modelo: PS3417
 - o Precio: 401,30 €

2. PRESUPUESTO INSTALACIONES RENOVADAS

Dado que no se dispone de ofertas de distribuidores ni tampoco de tarifas eléctricas contratadas por la empresa, se realizarán una serie de suposiciones a la hora de estimar los periodos de retorno de cada inversión.

- Para el precio de la electricidad, se tomará un promedio de 10 c€/kWh.
- Para el estudio de viabilidad se estima que las bombas trabajan 12 horas al día.

A continuación, se exponen el caso planteado:

CASO 1. POZO

Se pretende reponer la bomba ATURIA XN10E4A por la misma pero nueva.

- *Coste bomba más mano obra: 12.000 €.*
- *Ahorros energéticos: 27.453 kWh/año.*
- *Ahorros económicos: 2.743 €/año.*
- *Periodo de retorno: 4,37 años.*

ANEXO 1. TABLAS DE INTERÉS

Resistividad de los conductores eléctricos

Por lo general, los conductores son de la clase 5 (Tabla A1.1). Información extraída de “UNE-EN/60228”.

Tabla A1.1. Resistividad conductores eléctricos clase 5

Conductores flexibles de cobre de clase 5 para cables unipolares y multiconductores

| 1 Sección nominal mm ² | 2 Diámetro máximo de los alambres en el conductor mm | 3 Resistencia máxima del conductor a 20 °C | |
|---|--|---|---|
| | | Alambres desnudos Ω/km | Alambres recubiertos de una capa metálica Ω/km |
| 0,5 | 0,21 | 39,0 | 40,1 |
| 0,75 | 0,21 | 26,0 | 26,7 |
| 1,0 | 0,21 | 19,5 | 20,0 |
| 1,5 | 0,26 | 13,3 | 13,7 |
| 2,5 | 0,26 | 7,98 | 8,21 |
| 4 | 0,31 | 4,95 | 5,09 |
| 6 | 0,31 | 3,30 | 3,39 |
| 10 | 0,41 | 1,91 | 1,95 |
| 16 | 0,41 | 1,21 | 1,24 |
| 25 | 0,41 | 0,780 | 0,795 |
| 35 | 0,41 | 0,554 | 0,565 |
| 50 | 0,41 | 0,386 | 0,393 |
| 70 | 0,51 | 0,272 | 0,277 |
| 95 | 0,51 | 0,206 | 0,210 |
| 120 | 0,51 | 0,161 | 0,164 |
| 150 | 0,51 | 0,129 | 0,132 |
| 185 | 0,51 | 0,106 | 0,108 |
| 240 | 0,51 | 0,0801 | 0,0817 |
| 300 | 0,51 | 0,0641 | 0,0654 |
| 400 | 0,51 | 0,0486 | 0,0495 |
| 500 | 0,61 | 0,0384 | 0,0391 |
| 630 | 0,61 | 0,0287 | 0,0292 |

Tabla A1.2. Resistividad conductores eléctricos clase 6

Conductores flexibles de cobre de clase 6 para cables unipolares y multiconductores:

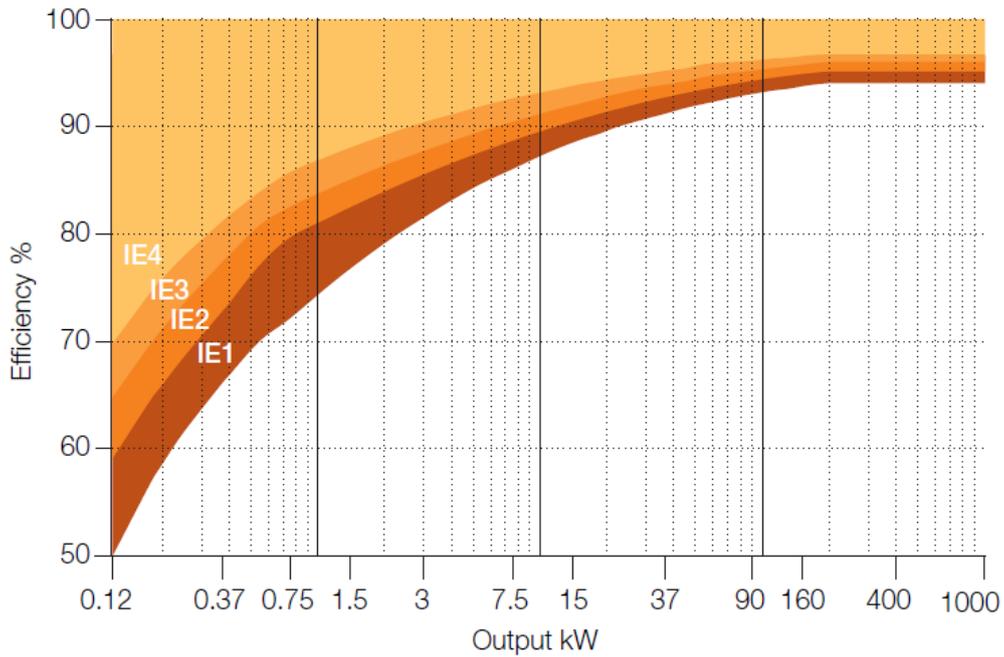
| 1 Sección nominal mm ² | 2 Diámetro máximo de los alambres en el conductor mm | 3 Resistencia máxima del conductor a 20 °C | |
|---|--|---|---|
| | | Alambres desnudos: Ω/km | Alambres recubiertos: de una capa metálica Ω/km |
| 0,5 | 0,16 | 39,0 | 40,1 |
| 0,75 | 0,16 | 26,0 | 26,7 |
| 1,0 | 0,16 | 19,5 | 20,0 |
| 1,5 | 0,16 | 13,3 | 13,7 |
| 2,5 | 0,16 | 7,98 | 8,21 |
| 4 | 0,16 | 4,95 | 5,09 |
| 6 | 0,21 | 3,30 | 3,39 |
| 10 | 0,21 | 1,91 | 1,95 |
| 16 | 0,21 | 1,21 | 1,24 |
| 25 | 0,21 | 0,780 | 0,795 |
| 35 | 0,21 | 0,554 | 0,565 |
| 50 | 0,31 | 0,386 | 0,393 |
| 70 | 0,31 | 0,272 | 0,277 |
| 95 | 0,31 | 0,206 | 0,210 |
| 120 | 0,31 | 0,161 | 0,164 |
| 150 | 0,31 | 0,129 | 0,132 |
| 185 | 0,41 | 0,106 | 0,108 |
| 240 | 0,41 | 0,0801 | 0,0817 |
| 300 | 0,41 | 0,0641 | 0,0654 |

Eficiencia de motores

Clasificación de los motores en función de su rendimiento en 4 niveles de eficiencia según la IEC (International Electrotechnical Commission). Se va a hacer uso de la norma técnica IEC 60034-30-1: Niveles de eficiencia medios para motores de corriente alterna alimentados en baja tensión.

En el siguiente gráfico se muestra una clasificación IE para motores de 4 polos (≈1400 rpm) alimentados a 50 Hz:

Gráfico A1.1 Clasificación IE motores de 4 polos a 50 Hz



En la tabla siguiente se especifican los valores mínimos en función de la potencia del motor y el número de polos, para los diferentes niveles de eficiencia:

Tabla A1.3. Valores mínimos de rendimiento para los 4 niveles de eficiencia. Motores AC a 50 Hz

| Output kW | IE1 | | | | IE2 | | | | IE3 | | | | IE4 | | | |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 2 pole | 4 pole | 6 pole | 8 pole | 2 pole | 4 pole | 6 pole | 8 pole | 2 pole | 4 pole | 6 pole | 8 pole | 2 pole | 4 pole | 6 pole | 8 pole |
| 0.12 | 45.0 | 50.0 | 38.3 | 31.0 | 53.6 | 59.1 | 50.6 | 39.8 | 60.8 | 64.8 | 57.7 | 50.7 | 66.5 | 69.8 | 64.9 | 62.3 |
| 0.18 | 52.8 | 57.0 | 45.5 | 38.0 | 60.4 | 64.7 | 56.6 | 45.9 | 65.9 | 69.9 | 63.9 | 58.7 | 70.8 | 74.7 | 70.1 | 67.2 |
| 0.20 | 54.6 | 58.6 | 47.6 | 39.7 | 61.9 | 65.9 | 58.2 | 47.4 | 67.2 | 71.1 | 65.4 | 60.6 | 71.9 | 75.8 | 71.4 | 68.4 |
| 0.25 | 58.2 | 61.5 | 52.1 | 43.4 | 64.8 | 68.5 | 61.6 | 50.6 | 69.7 | 73.5 | 68.6 | 64.1 | 74.3 | 77.9 | 74.1 | 70.8 |
| 0.37 | 63.9 | 66.0 | 59.7 | 49.7 | 69.5 | 72.7 | 67.6 | 56.1 | 73.8 | 77.3 | 73.5 | 69.3 | 78.1 | 81.1 | 78.0 | 74.3 |
| 0.40 | 64.9 | 66.8 | 61.1 | 50.9 | 70.4 | 73.5 | 68.8 | 57.2 | 74.6 | 78.0 | 74.4 | 70.1 | 78.9 | 81.7 | 78.7 | 74.9 |
| 0.55 | 69.0 | 70.0 | 65.8 | 56.1 | 74.1 | 77.1 | 73.1 | 61.7 | 77.8 | 80.8 | 77.2 | 73.0 | 81.5 | 83.9 | 80.9 | 77.0 |
| 0.75 | 72.1 | 72.1 | 70.0 | 61.2 | 77.4 | 79.6 | 75.9 | 66.2 | 80.7 | 82.5 | 78.9 | 75.0 | 83.5 | 85.7 | 82.7 | 78.4 |
| 1.1 | 75.0 | 75.0 | 72.9 | 66.5 | 79.6 | 81.4 | 78.1 | 70.8 | 82.7 | 84.1 | 81.0 | 77.7 | 85.2 | 87.2 | 84.5 | 80.8 |
| 1.5 | 77.2 | 77.2 | 75.2 | 70.2 | 81.3 | 82.8 | 79.8 | 74.1 | 84.2 | 85.3 | 82.5 | 79.7 | 86.5 | 88.2 | 85.9 | 82.6 |
| 2.2 | 79.7 | 79.7 | 77.7 | 74.2 | 83.2 | 84.3 | 81.8 | 77.6 | 85.9 | 86.7 | 84.3 | 81.9 | 88.0 | 89.5 | 87.4 | 84.5 |
| 3 | 81.5 | 81.5 | 79.7 | 77.0 | 84.6 | 85.5 | 83.3 | 80.0 | 87.1 | 87.7 | 85.6 | 83.5 | 89.1 | 90.4 | 88.6 | 85.9 |
| 4 | 83.1 | 83.1 | 81.4 | 79.2 | 85.8 | 86.6 | 84.6 | 81.9 | 88.1 | 88.6 | 86.8 | 84.8 | 90.0 | 91.1 | 89.5 | 87.1 |
| 5.5 | 84.7 | 84.7 | 83.1 | 81.4 | 87.0 | 87.7 | 86.0 | 83.8 | 89.2 | 89.6 | 88.0 | 86.2 | 90.9 | 91.9 | 90.5 | 88.3 |
| 7.5 | 86.0 | 86.0 | 84.7 | 83.1 | 88.1 | 88.7 | 87.2 | 85.3 | 90.1 | 90.4 | 89.1 | 87.3 | 91.7 | 92.6 | 91.3 | 89.3 |
| 11 | 87.6 | 87.6 | 86.4 | 85.0 | 89.4 | 89.8 | 88.7 | 86.9 | 91.2 | 91.4 | 90.3 | 88.6 | 92.6 | 93.3 | 92.3 | 90.4 |
| 15 | 88.7 | 88.7 | 87.7 | 86.2 | 90.3 | 90.6 | 89.7 | 88.0 | 91.9 | 92.1 | 91.2 | 89.6 | 93.3 | 93.9 | 92.9 | 91.2 |
| 18.5 | 89.3 | 89.3 | 88.6 | 86.9 | 90.9 | 91.2 | 90.4 | 88.6 | 92.4 | 92.6 | 91.7 | 90.1 | 93.7 | 94.2 | 93.4 | 91.7 |
| 22 | 89.9 | 89.9 | 89.2 | 87.4 | 91.3 | 91.6 | 90.9 | 89.1 | 92.7 | 93.0 | 92.2 | 90.6 | 94.0 | 94.5 | 93.7 | 92.1 |
| 30 | 90.7 | 90.7 | 90.2 | 88.3 | 92.0 | 92.3 | 91.7 | 89.8 | 93.3 | 93.6 | 92.9 | 91.3 | 94.5 | 94.9 | 94.2 | 92.7 |
| 37 | 91.2 | 91.2 | 90.8 | 88.8 | 92.5 | 92.7 | 92.2 | 90.3 | 93.7 | 93.9 | 93.3 | 91.8 | 94.8 | 95.2 | 94.5 | 93.1 |
| 45 | 91.7 | 91.7 | 91.4 | 89.2 | 92.9 | 93.1 | 92.7 | 90.7 | 94.0 | 94.2 | 93.7 | 92.2 | 95.0 | 95.4 | 94.8 | 93.4 |
| 55 | 92.1 | 92.1 | 91.9 | 89.7 | 93.2 | 93.5 | 93.1 | 91.0 | 94.3 | 94.6 | 94.1 | 92.5 | 95.3 | 95.7 | 95.1 | 93.7 |
| 75 | 92.7 | 92.7 | 92.6 | 90.3 | 93.8 | 94.0 | 93.7 | 91.6 | 94.7 | 95.0 | 94.6 | 93.1 | 95.6 | 96.0 | 95.4 | 94.2 |
| 90 | 93.0 | 93.0 | 92.9 | 90.7 | 94.1 | 94.2 | 94.0 | 91.9 | 95.0 | 95.2 | 94.9 | 93.4 | 95.8 | 96.1 | 95.6 | 94.4 |
| 110 | 93.3 | 93.3 | 93.3 | 91.1 | 94.3 | 94.5 | 94.3 | 92.3 | 95.2 | 95.4 | 95.1 | 93.7 | 96.0 | 96.3 | 95.8 | 94.7 |
| 132 | 93.5 | 93.5 | 93.5 | 91.5 | 94.6 | 94.7 | 94.6 | 92.6 | 95.4 | 95.6 | 95.4 | 94.0 | 96.2 | 96.4 | 96.0 | 94.9 |
| 160 | 93.8 | 93.8 | 93.8 | 91.9 | 94.8 | 94.9 | 94.8 | 93.0 | 95.6 | 95.8 | 95.6 | 94.3 | 96.3 | 96.6 | 96.2 | 95.1 |
| 200 | 94.0 | 94.0 | 94.0 | 92.5 | 95.0 | 95.1 | 95.0 | 93.5 | 95.8 | 96.0 | 95.8 | 94.6 | 96.5 | 96.7 | 96.3 | 95.4 |
| 250 | 94.0 | 94.0 | 94.0 | 92.5 | 95.0 | 95.1 | 95.0 | 93.5 | 95.8 | 96.0 | 95.8 | 94.6 | 96.5 | 96.7 | 96.5 | 95.4 |
| 315 | 94.0 | 94.0 | 94.0 | 92.5 | 95.0 | 95.1 | 95.0 | 93.5 | 95.8 | 96.0 | 95.8 | 94.6 | 96.5 | 96.7 | 96.6 | 95.4 |

Eficiencia en bombas

En el presente estudio se va a hacer uso del Reglamento (UE) nº547/2012:

- Reglamento (UE) nº 547/2012 de la Comisión, de 25 de junio de 2012, por el que se aplica la Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo a los requisitos de diseño ecológico para las bombas hidráulicas.

En el presente reglamento se especifica el rendimiento mínimo con el que debe funcionar una bomba hidráulica centrífuga para ser considerada de diseño ecológico.

Como se ha explicado en el apartado “Cálculos y Evaluación” → “Evaluación” → “Rendimiento de la bomba”, se van a agrupar los 3 primeros grupos de bomba en bombas horizontales, y se cogerán para este grupo los valores de la tabla MIE menos restrictivos, es decir, los valores para el grupo “bomba hidráulica de acoplamiento directo en línea de aspiración axial”.

En función del tipo de bomba (horizontal, vertical o sumergible) y de su velocidad nominal se escoge el valor de C para MEI 0,4:

| Valor C para MEI | MEI = 0,10 | MEI = 0,40 |
|----------------------|------------|------------|
| C | | |
| C (horizontal, 1450) | 136,67 | 132,30 |
| C (horizontal, 2900) | 139,45 | 133,69 |
| C (Vertical, 2900) | 138,19 | 133,95 |
| C (Sumergible, 2900) | 134,31 | 128,79 |

A continuación, con la siguiente fórmula hallamos la velocidad específica de la bomba a analizar:

$$n_s = n \times \frac{\sqrt{Q_{\text{optimo}}}}{\left(\frac{1}{\tau} \times H_{\text{optimo}}\right)^{\frac{3}{4}}}$$

De donde:

- Velocidad específica (n_s) en min^{-1} .
- Velocidad de rotación (n), es el número de revoluciones por minuto en el eje (rpm).
- Caudal ($Q_{\text{óptimo}}$), es el volumen de agua que circula por la bomba hidráulica en la unidad de tiempo (m^3/s) en el punto de máximo rendimiento de la bomba.
- Etapas (i), es el número de impulsores en serie.
- Altura manométrica (H), es el aumento de la energía hidráulica del agua en metros (m) en el punto de máximo rendimiento de la bomba.

La fórmula para calcular el rendimiento mínimo requerido en el punto de máximo rendimiento es:

$$\eta_{\text{mínimo}} = 88,59x + 13,46y - 11,48x^2 - 0,85y^2 - 0,38xy - C$$

De donde:

- $x = \ln n_s$
- $y = \ln Q$
- Caudal (Q) en m^3/h .
- Velocidad específica (n_s) en min^{-1} .

Los requisitos para las condiciones de carga parcial y sobrecarga se establecen en valores inferiores a los de plena carga:

$$\eta_{\text{carga parcial mínimo}} = 0,947 \times \eta_{\text{mínimo}}$$

$$\eta_{\text{sobrecarga mínimo}} = 0,985 \times \eta_{\text{mínimo}}$$

ANEXO 2. EFECTOS FÍSICOS INMEDIATOS Y NO INMEDIATOS DE UNA DESCARGA ELÉCTRICA

Extraído de "https://www.sprl.upv.es/IOP_ELEC_02.htm"

1 EFECTOS FÍSICOS INMEDIATOS

Según el tiempo de exposición y la dirección de paso de la corriente eléctrica para una misma intensidad pueden producirse lesiones graves, tales como: **asfixia, fibrilación ventricular, quemaduras**, lesiones secundarias a consecuencia del choque eléctrico, tales como caídas de altura, golpes, etc., cuya aparición tiene lugar dependiendo de los valores t-ic.

Tabla A2.1. Efectos sobre el organismo de la intensidad

| INTENSIDAD (mA) | | | | EFECTOS SOBRE EL ORGANISMO |
|-----------------|-------|-------------|-------|---|
| c.c. | | c.a. (50Hz) | | |
| HOMBRE | MUJER | HOMBRE | MUJER | |
| 1 | 0.6 | 0.4 | 0.3 | Ninguna sensación |
| 5.2 | 3.5 | 1.1 | 0.7 | Umbral de percepción |
| 76 | 51 | 16 | 10.5 | Umbral de intensidad límite |
| 90 | 60 | 23 | 15 | Choque doloroso y grave (contracción muscular y dificultad respiratoria) |
| 200 | 170 | 50 | 35 | Principio de fibrilación ventricular |
| 1300 | 1300 | 1000 | 1000 | Fibrilación ventricular posible en choques cortos: Corta duración (hasta 0.03 segundos) |
| 500 | 500 | 100 | 100 | Fibrilación ventricular posible en choques cortos: Duración 3 segundos |

Paro cardíaco: Se produce cuando la corriente pasa por el corazón y su efecto en el organismo se traduce en un paro circulatorio por parada cardíaca.

- **Asfixia:** Se produce cuando la corriente eléctrica atraviesa el tórax. el choque eléctrico tetaniza el diafragma torácico y como consecuencia de ello los pulmones no tienen capacidad para aceptar aire ni para expulsarlo. Este efecto se produce **a partir de 25-30 mA**.
- **Quemaduras:** Internas o externas por el paso de la intensidad de corriente a través del cuerpo por Efecto Joule o por la proximidad al arco eléctrico. Se producen zonas de necrosis (tejidos muertos), y las quemaduras pueden llegar a alcanzar órganos vecinos profundos, músculos, nervios e incluso a los huesos. La considerable energía disipada por efecto Joule, puede provocar la coagulación irreversible de las células de los músculos estriados e incluso la carbonización de las mismas.
- **Tetanización:** O contracción muscular. Consiste en la anulación de la capacidad de reacción muscular que impide la separación voluntaria del punto de contacto (los músculos de las

manos y los brazos se contraen sin poder relajarse). Normalmente este efecto se produce cuando **se superan los 10 mA**.

- **Fibrilación ventricular:** Se produce cuando la corriente pasa por el corazón y su efecto en el organismo se traduce en un paro circulatorio por rotura del ritmo cardíaco. El corazón, al funcionar incoordinadamente, no puede bombear sangre a los diferentes tejidos del cuerpo humano. Ello es particularmente grave en los tejidos del cerebro donde es imprescindible una oxigenación continua de los mismos por la sangre. Si el corazón fibrila el cerebro no puede mandar las acciones directoras sobre órganos vitales del cuerpo, produciéndose unas lesiones que pueden llegar a ser irreversibles, dependiendo del tiempo que esté el corazón fibrilando. Si se logra la recuperación del individuo lesionado, no suelen quedar secuelas permanentes. Para lograr dicha recuperación, hay que conseguir la reanimación cardíaca y respiratoria del afectado en los primeros minutos posteriores al accidente. Se presenta con **intensidades del orden de 100 mA** y es **reversible si el tiempo de contacto es inferior a 0.1 segundo**

La fibrilación se produce cuando el choque eléctrico tiene una duración superior a 0.15 segundos, el 20% de la duración total del ciclo cardíaco medio del hombre, que es de 0.75 segundos.

- **Lesiones permanentes:** Producidas por destrucción de la parte afectada del sistema nervioso (parálisis, contracturas permanentes, etc.)

Se fija el tiempo máximo de funcionamiento de los dispositivos de corte automático en función de la tensión de contacto esperada:

Tabla A2.2. Tiempo máximo de corte frente a la intensidad de contacto

| Tiempo máximo de corte (s) | Intensidad de contacto (mA) |
|----------------------------|-----------------------------|
| >5 | 25 |
| 1 | 43 |
| 0.5 | 56 |
| 0.2 | 77 |
| 0.1 | 120 |
| 0.05 | 210 |
| 0.03 | 300 |

Por encima de estos valores se presenta fibrilación ventricular y por debajo no se presentan efectos peligrosos.

2 EFECTOS FÍSICOS NO INMEDIATOS

Se manifiestan pasado un cierto tiempo después del accidente. Los más habituales son:

- Manifestaciones renales:

Los riñones pueden quedar bloqueados como consecuencia de las quemaduras debido a que se ven obligados a eliminar la gran cantidad de mioglobina y hemoglobina que les invade después de

abandonar los músculos afectados, así como las sustancias tóxicas que resultan de la descomposición de los tejidos destruidos por las quemaduras.

- Trastornos cardiovasculares:

La descarga eléctrica es susceptible de provocar pérdida del ritmo cardíaco y de la conducción aurículo- ventricular e intraventricular, manifestaciones de insuficiencias coronarias agudas que pueden llegar hasta el infarto de miocardio, además de trastornos únicamente subjetivos como taquicardias, sensaciones vertiginosas, cefaleas rebeldes, etc.

- Trastornos nerviosos:

La víctima de un choque eléctrico sufre frecuentemente trastornos nerviosos relacionados con pequeñas hemorragias fruto de la desintegración de la sustancia nerviosa ya sea central o medular. Normalmente el choque eléctrico no hace más que poner de manifiesto un estado patológico anterior. Por otra parte, es muy frecuente también la aparición de neurosis de tipo funcional más o menos graves, pudiendo ser transitorias o permanentes.

- Trastornos sensoriales, oculares y auditivos:

Los trastornos oculares observados a continuación de la descarga eléctrica son debidos a los efectos luminosos y caloríficos del arco eléctrico producido. En la mayoría de los casos se traducen en manifestaciones inflamatorias del fondo y segmento anterior del ojo. Los trastornos auditivos comprobados pueden llegar hasta la sordera total y se deben generalmente a un traumatismo craneal, a una quemadura grave de alguna parte del cráneo o a trastornos nerviosos.

ANEXO 3. GUÍA PARA EL USO DE LA HOJA DE CÁLCULO EXCEL

Este documento va acompañado de una hoja de cálculo Excel dónde se obtienen los resultados de la auditoría. Por ello, se hace referencia al fichero Excel a lo largo de este documento.

Las siguientes indicaciones acerca del funcionamiento de la hoja Excel serán de suma importancia para su uso:

- **Formato de casillas**

En la hoja de cálculo se diferencian tres tipos de casilla:

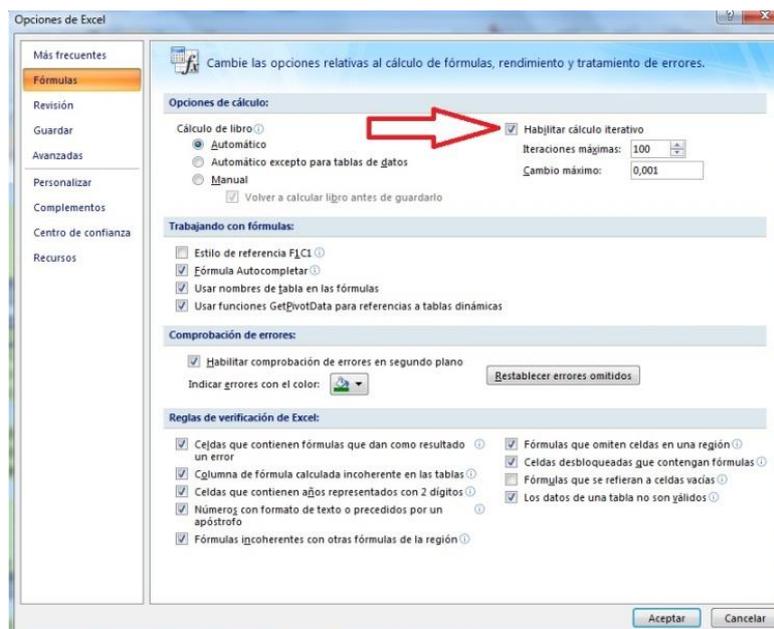
- Casillas SIN COLOREAR: Campos de información complementaría (no necesaria).
- Casillas coloreadas de AZUL: Campos cuya información debe ser ingresada.
- Casillas coloreadas de AMARILLO: Campos que realizan cálculos de forma automática y, por tanto, no han de ser rellenados.

Siempre que se tomen mediciones de las que se tenga cierta incertidumbre, se colorean de rojo y se acompañan de un comentario explicando el problema. En el caso de que no sea posible realizar alguna de las mediciones hidráulicas y sean estimadas según las curvas teóricas de la bomba, también se pondrán en rojo los valores e irán acompañados de un comentario.

- **Cálculo del rendimiento del motor**

Para que la hoja de cálculo Excel pueda calcular el proceso iterativo, se tiene que activar esta opción de Excel. Dentro de la hoja de cálculo, ir a “Opciones de Excel” → “Fórmulas” → Validar la casilla “Habilitar cálculo iterativo” (véase *Gráfico A3.1*).

Gráfico A3.1. Habilitar cálculo iterativo



- **Estructura de la hoja de cálculo Excel**

La hoja de cálculo Excel está compuesta por cinco hojas:

- Recogida de datos
- Cálculos
- Condiciones Resultados
- Ajuste curvas
- Pérdidas hidráulicas

La hoja "Recogida de datos" es en la que se han de recabar las mediciones de campo y la mayor parte de los datos nominales del equipo. La hoja "Cálculos" realiza las operaciones oportunas para hallar el balance energético y mostrar las conclusiones del funcionamiento de la instalación. La hoja "Condiciones Resultados" muestra que condiciones han de cumplirse en el funcionamiento de la instalación para que en las conclusiones de la hoja de "Cálculos" se muestren unos resultados u otros. Estas tres hojas serán las que se analicen con más detenimiento a continuación, siendo las dos primeras las hojas principales y en las que se registran los datos y se muestran los resultados de la Auditoría Energética.

Por otro lado, la hoja "Ajuste curvas" sirve de apoyo para hallar el peso específico del agua en función de la temperatura. La hoja "Pérdidas hidráulicas" sirve de ayuda para consultar los coeficientes de pérdidas menores a la hora de rellenar la hoja "Cálculos".

A continuación, se detalla para cada hoja a que datos hace referencia cada casilla. Para una mayor comprensión de la hoja Excel, en el apartado "3.METODOLOGÍA" aparece un desarrollo completo de la misma.

Hoja 1. Recogida de datos

Gráfico A3.2. Hoja "Recogida de datos"

| | | | | | |
|--|--|---|--|--|--------------|
| EXPLOTACIÓN - U.O. | "xxx" - U.O. LA SAFOR | | | | |
| INSTALACIÓN | DISTRIBUCIÓN - REBOMBEO MANANTIAL 1 | | | | |
| CODIGO | AP011/DIS/BCH/01 | FECHA | 23/04/2015 | | |
| DATOS DE LA INSTALACIÓN/EQUIPO | | | | | |
| DIAGRAMA UNIFILAR | | | LEYENDA | | |
| | | | <ul style="list-style-type: none"> ● Pto. Medidas eléctricas M Motor DOL Arrancador directo ΔY Arrancador ΔY AE Arrancador estático Condensadores CGP CGP (Cuadro General Protección) CGD CGD (Cuadro general Derivación) Transformador VF Variador de frecuencia | | |
| CONDUCTORES | | Descripción | Tipo | Calibre (mm ²) | Longitud (m) |
| Aguas arriba medición | 1 | Punto de acometida - CGD | 3 unipolares + neutro | 6 | 11 |
| | 2 | | | | |
| Aguas abajo medición | 3 | CGD - Motor | 3 unipolares + neutro | 2,5 | 5 |
| | 4 | | | | |
| BOMBA | Marca: | EMICA | Modelo: | EKN 40-200 | |
| | Tipo: | horizontal | Etapas: | 1 | |
| | Altura manométrica: | 52 (mca) | Caudal: | 43 (m ³ /h) | |
| MOTOR | Marca: | MEB | Modelo: | MG 160 M1-2 | |
| | Potencia: | 11 (kW) | cos φ: | 0,89 | |
| | Intensidad nom. (ΔY): | 20 (A) | Tensión nom. (ΔY): | 400 (V) | |
| | Vel. Nominal: | 2940 (rpm) | Rendimiento nom.: | 89,4% | |
| HISTORIAL | Años: | 3,8 | Nº de Rebobinados: | 0 | |
| PROPIEDADES FLUIDO | Temp. (°C): | 16 | Densidad fluido: | 998,96 (kg/m ³) | |
| TOPOGRAFÍA | Cota equipo (msnm): | 100 | Cota punto entrega más alto (msnm): | 124 | |
| MEDIDAS | | | | | |
| MEDIDAS HIDRÁULICAS | | | | | |
| Caudal: | 55,2 (m ³ /h) | Nivel dinámico: | | (m) | |
| P _{salida} : | 3,4 (bar) | D _{r-ms} (Altura manómetro de salida): | 1,5 (m) | | |
| P _{aspiración} : | -0,2 (bar) | D _{r-ma} (Altura manómetro de aspiración): | 0 (m) | (m) | |
| Caso A (Pozo) | L _{r-ms} (Long. broca-man. salida): | | (m) | Profundidad bomba: | |
| Caso B (Rebombeo) | L _{a-b} (Long. man. asp.-bomba): | 0 (m) | | L _{d-b} (Long. man. desc.-bomba): | 1,5 |
| MEDIDAS ELÉCTRICAS <i>(realizadas lo más próximo posible a la entrada del motor)</i> | | | | | |
| Punto de medición: | | | Tipo conexión motor (ΔY): | | |
| U _{uv} (V): | 404,7 | I _u (A): | 23,41 | P _u (kW): | 4,873 |
| U _{vw} (V): | 403 | I _v (A): | 23,2 | P _v (kW): | 4,795 |
| U _{wu} (V): | 404,7 | I _w (A): | 23,1 | P _w (kW): | 4,79 |
| CAPACITOR | I _{capacitor} (A): | Q _r (kVar): | | cosφ: | 0,89 |
| OBSERVACIONES | | | | | |
| | | | | | |
| Firma empleado | | | | | |

- **Explotación – U.O.:** Municipio – Comarca.
- **Instalación:** Tipo instalación (Captación/tratamiento/distribución) - Nombre de la instalación.
- **Código:** Conjunto de números y letras que permiten a la empresa clasificar la instalación.
- **Fecha:** Día en que se realizaron las mediciones eléctricas e hidráulicas.

DATOS DE LA INSTALACIÓN/EQUIPO

- **Datos del sistema eléctrico**
 - **Diagrama unifilar.** Es sumamente importante esquematizar el diagrama unifilar de las conexiones del equipo, la acometida, el cableado, el transformador, el interruptor principal, tipo de arranque, etc.
 - **Conductores.** Los datos necesarios se refieren al calibre y a la longitud de los conductores en dos tramos. El primer tramo es el que se encuentra aguas arriba de la medición y el segundo el que se encuentra aguas debajo de la medición.
 - **Descripción.** Identificar el tramo de conductores de dónde a dónde va.
 - **Tipo.** Es la descripción de cómo van agrupados dichos conductores. En particular, indicar cuántos conductores unipolares activos van en el cable.
 - **Calibre.** Es el calibre del conductor (mm^2); este puede obtenerse en la cubierta del conductor.
 - **Longitud.** La longitud total de los conductores en el tramo descrito.
- **Bomba**
 - **Marca.** Marca o fabricante de la bomba.
 - **Modelo.** Modelo de la bomba.
 - **Tipo.** Simplificando, diremos que las bombas hidráulicas pueden ser de tres tipos: Horizontal, vertical o sumergible.
 - **Etapas.** Número de impulsores puestos en serie.
 - **Altura manométrica.** Altura que aporta la bomba en el punto de trabajo a rendimiento óptimo.
 - **Caudal.** Caudal que trasiega la bomba en el punto de trabajo a rendimiento óptimo.
- **Datos nominales del motor**
 - **Marca.** Marca o fabricante del motor.
 - **Modelo.** Modelo del motor.
 - **Potencia.** Potencia del motor (kW).
 - **Cosφ.** Factor de potencia del motor a plena carga.
 - **Intensidad nominal.** Corriente o intensidad nominal del motor (A).
 - **Tensión nominal.** Tensión nominal del motor (V).
 - **Velocidad nominal.** Velocidad nominal del motor en revoluciones por minuto (rpm).
 - **Rendimiento nominal.** Rendimiento nominal del motor a plena carga.
 - **Historial del motor**
 - **Años.** Número de años en funcionamiento del motor.

- **Número de rebobinados.** Número de veces en que el motor ha sido reparado y rebobinado.
- **Propiedades fluido**
 - **Temperatura del fluido.** Si no es posible medir este dato, se tomará 16°C como temperatura aproximada para acuíferos y si se trata de un depósito se estimará en función de la época del año en la que se realicen el resto de medidas hidráulicas y eléctricas.
- **Topografía**
 - **Cota del equipo.** Altura sobre el nivel del mar del punto exacto donde se encuentra el equipo. En el caso de los pozos se hace referencia a la cota del brocal y para los rebombeos a la cota del equipo.
 - **Cota del punto de entrega más alto.** Altura sobre el nivel del mar del punto más elevado de la instalación en la que trabaja el equipo.

MEDIDAS

- **Medidas hidráulicas**
 - **Caudal.** Caudal real que pasa por la bomba medido en un contador o caudalímetro en m³/h.
 - **Nivel dinámico.** Desnivel entre el brocal y la lámina de agua del acuífero en metros. Sólo se mide para los pozos.
 - **Psalida.** Presión en la descarga de la bomba en bares. En los pozos será medida lo más cerca al brocal y en los rebombeos, lo más cerca de la bomba.
 - **Pspiración.** Presión en la aspiración de la bomba en bares. Sólo se mide para los rebombeos.
 - **Dr-ms.** Se diferencian dos casos:
 - Pozos. Densivel entre el manómetro de descarga y el brocal en metros.
 - Rebombeos. Densivel entre el manómetro de descarga y la bomba en metros.
 - **Dr-ma.** Densivel entre el manómetro de aspiración y la bomba. Sólo se mide para los rebombeos en metros.
 - **Lr-ms.** Longitud de conducción entre el brocal y el manómetro de salida en metros.
 - **Profundidad bomba.** Densivel entre el brocal y la bomba sumergida en metros.
 - **La-b.** Longitud entre el manómetro de aspiración y la bomba en metros.
 - **Ld-b.** Longitud entre la bomba y el manómetro en la descarga en metros.
- **Medidas eléctricas**
 - **Punto de medición.** Descripción del punto de medición referente al diagrama unifilar.
 - **Tipo conexión motor.** El conector puede estar conectado en estrella o triángulo.
 - **Uuv, Uvw, Uwu.** Tensiones entre las 3 líneas en voltios.
 - **Iu, Iv, Iw.** Corrientes de las 3 líneas en amperios.
 - **Pu, Pv, Pw.** Potencias que consume cada una de las fases en kW
 - **Pe.** Potencia total consumida por las tres fases en kW.

- **VF (%)**. Porcentaje del variador de frecuencia con el que funciona la instalación, si existe variador de frecuencia.
- **F (Hz)**. Frecuencia de funcionamiento de la instalación.
- **Cosφ**. Factor de potencia medio de las tres fases.
- **Qr (kVar)**. Potencia reactiva que consume la instalación.
- **Capacitor**.
 - **Icapacitor**. Corriente que consume el banco de condensadores.

OBSERVACIONES

Posibles observaciones cuando se realicen las mediciones de campo se anotarán en este apartado.

Hoja 2. Cálculos

Gráfico A3.3. Hoja "Cálculos", página 1

| EXPLOTACIÓN - U.O. | "xxx" - U.O. LA SAFOR | | | | | | | | |
|---|-------------------------------------|-------------------------|---|----------------------------|--|----------------|---------------------|--------|---|
| INSTALACIÓN | DISTRIBUCIÓN - REBOMBEO MANANTIAL 1 | | | | | | | | |
| CODIGO | AP011/DIS/BCH/01 | | | FECHA | 23/04/2015 | | | | |
| EVALUACIÓN DE LOS CONDUCTORES ELÉCTRICOS | | | | | | | | | |
| Tramo | Calibre mm ² | Longitud m | Resistencia Ω/km | Resistencia Ω | Corriente A | Pérdidas kW | Pérdidas kWh/año | | |
| 1 | 6 | 11 | 3,39 | 0,04 | 23,24 | 0,06 | 529 | | |
| 2 | 0 | 0 | | 0,00 | 23,24 | 0,00 | 0 | | |
| 3 | 2,5 | 5 | 8,21 | 0,04 | 23,24 | 0,07 | 582 | | |
| 4 | 0 | 0 | | 0,00 | 23,24 | 0,00 | 0 | | |
| EVALUACIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO | | | | | | | | | |
| | Promedio | Des balance | VV _{nominal} | | | | | | |
| Tensión (V) | 403 | 0,28% | 0,79% | | | | | | |
| Intensidad (A) | 23 | 0,75% | | | | | | | |
| Potencia (kW) | 14 | 1,11% | | | | | | | |
| Factor de Potencia | 0,89 | | | | | | | | |
| <i>Evaluación Rendimiento</i> | | | | | | | | | |
| Factor de Carga (F.C.): | 116,90% | | Curva F.C. - $\eta_{\text{nominal-motor}}$ | | | | | | |
| Rendimiento nominal: | 89,40% | | Ec. ajuste $\eta_{\text{nominal-motor}} - F.C.$ | | | | | | |
| Rendimiento real: | 89,35% | | F.C. | $\eta_{\text{nom-motor}}$ | A | | | B | C |
| <i>Depreciación rendimiento</i> | | | | | | | | | |
| Factor antigüedad: | 0,00% | | 0,5 | 0,894 | 0,00 | 0,00 | 0,89 | | |
| Factor rebobinados: | 0,00% | | 0,75 | 0,894 | | | | | |
| Factor V _{alimentación} -V _{nom.} : | -0,04% | | 1 | 0,894 | $\eta = A \times x^2 + B \times x + C$ | | | | |
| Factor V _{desbalance} : | 100,0% | | | | | | | | |
| EVALUACIÓN DE LA BOMBA | | | | | | | | | |
| CARGA DE BOMBEO | | | | | | | | | |
| Pérdidas en aspiración: | 0,0 (m) | | Pérdidas en descarga: | 0,1 (m) | | | | | |
| Visosidad fluido | 1,1E-06 (m ² /s) | | Densidad fluido: | 999,0 (kg/m ³) | | | | | |
| H. manométrica real: | 36,7 (mca) | | Pérdidas en accesorios: | 0,7 (m) | | | | | |
| H. manom. teórica: | 40,5 (mca) | | RENDIMIENTOS | | | | | | |
| CAUDAL | | | | | | | | | |
| Caudal: | 55,20 (m ³ /h) | | Rend. electromecánico: | 38,36% | | | | | |
| POTENCIA HIDRÁULICA | | | | | | | | | |
| De acuerdo a mediciones: | 5,5 (kW) | | Rendimiento real bomba: | 42,93% | | | | | |
| | | | Rendimiento teórico bomba: | 56,50% | | | | | |
| | | | Rendimiento óptimo bomba: | 65,00% | | | | | |
| <i>Pérdidas en la tubería (fórmula de "Darcy-Weisbach")</i> | | | | | | | | | |
| Caso A (Pozo): | E _{abs} (mm) | L _{prot bomba} | L _{broca-man} | D (mm) | V (m/s) | Re | f | hf (m) | |
| Columna impulsión: | | 0,0 | 0,0 | | 0,00 | 0,00E+00 | 0,0000 | 0,0 | |
| | | | | | 0,00 | 0,00E+00 | 0,0000 | 0,0 | |
| Caso B (Rebombeo): | E _{abs} (mm) | L (m) | D (mm) | V (m/s) | Re | f | hf (m) | | |
| Aspiración: | | 0,0 | | 0,00 | 0,00E+00 | 0,0000 | 0,0 | | |
| Descarga: | 0,15 | 1,5 | 104 | 1,81 | 1,68E+08 | 0,0215 | 0,1 | | |
| <i>Pérdidas en accesorios " (hasta manómetro) "</i> | | | | | | | | | |
| Accesorios | Codo | | Válvula corte | Válvula retención | Otros | | | | |
| Unidades | | | 3 | | 1 | | | | |
| Diámetro (mm) | | | 100 | | 70 | | | | |
| Coefficiente K | 0,75 | | 0,25 | 2,5 | 0,7 | | | | |
| Velocidad (m/s) | 0,00 | | 1,95 | 0,00 | 3,98 | | | | |
| h _{accesorios} (m) | 0,0 | | 0,1 | 0,0 | 0,6 | | | | |

EVALUACIÓN DE LOS CONDUCTORES ELÉCTRICOS

- **Tipo.** Es la descripción de cómo van agrupados dichos conductores. En particular, indicar cuántos conductores unipolares activos van en el cable.
- **Calibre.** Es el calibre del conductor (mm^2); este puede obtenerse en la cubierta del conductor.
- **Longitud.** La longitud total de los conductores en el tramo descrito.
- **Resistencia.**
 - Ω/km . En función del calibre del conductor y del material (Cobre o aluminio), se acude a las tablas que en la hoja Excel están justo a la derecha y se consulta su resistividad.
 - Ω . Resistencia total del tramo en ohmios.
- **Corriente.** Corriente promedio de las tres líneas en el tramo en amperios.
- **Pérdidas.**
 - kW. Potencia por efecto Joule que se pierde en el tramo.
 - kWh/año. Pérdidas energéticas en kWh al año por tramo.

EVALUACIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO

- **Tensión (V).**
 - **Promedio.** Tensión media de las tres líneas que llega a bornes del motor en voltios.
 - **Desbalance.** Diferencia porcentual de tensión entre las tres líneas.
 - **V/Vnominal.** Diferencia porcentual entre la tensión promedio que llega a bornes del motor y la tensión nominal del motor según fabricante.
- **Intensidad (A).**
 - **Promedio.** Corriente media de las tres líneas en amperios.
 - **Desbalance.** Diferencia porcentual de corriente entre las tres líneas.
- **Potencia (kW).**
 - **Promedio.** Potencia que consume el motor en kW. Este valor es la potencia real consumida por el motor, se han descontado ya las pérdidas en el cableado desde el punto de medición hasta bornes del motor.
- **Curva F.C. – $\eta_{\text{nominal-motor}}$.**
 - **F.C.** Factor de carga del motor.
 - $\eta_{\text{nom-motor}}$. Se deben rellenar las tres casillas del rendimiento nominal del motor en función del factor de carga. Estos datos vienen dados por el fabricante.
 - **Ec. Ajuste $\eta_{\text{nominal-motor}}$ – F.C.**
 - **A:** Término cuadrático que ajusta la curva polinómica $\eta_{\text{nominal-motor}}$ – F.C.
 - **B:** Término lineal que ajusta la curva polinómica $\eta_{\text{nominal-motor}}$ – F.C.
 - **C:** Término independiente que ajusta la curva polinómica $\eta_{\text{nominal-motor}}$ – F.C.
- **Factor de carga (F.C.).** Factor de carga con el que está funcionando el motor eléctrico.
- **Rendimiento nominal.** Rendimiento nominal con el que funcionaría el motor eléctrico en función del factor de carga.

- **Rendimiento real.** Rendimiento real con el que funciona el motor aplicados los coeficientes de depreciación.
- **Factor antigüedad.** Coeficiente porcentual que devalúa el rendimiento en función de los años de operación.
- **Factor rebobinados.** Coeficiente porcentual que devalúa el rendimiento en función de los rebobinados que se le han hecho.
- **Factor Valimentación-Vnom.** Coeficiente porcentual que devalúa el rendimiento en función de la diferente entre la tensión de alimentación que llega a bornes del motor y la tensión nominal del motor según fabricante.
- **Factor Vdesbalance.** Coeficiente porcentual que devalúa el rendimiento en función de la diferencia porcentual de tensión entre las 3 líneas.

EVALUACIÓN DE LA BOMBA

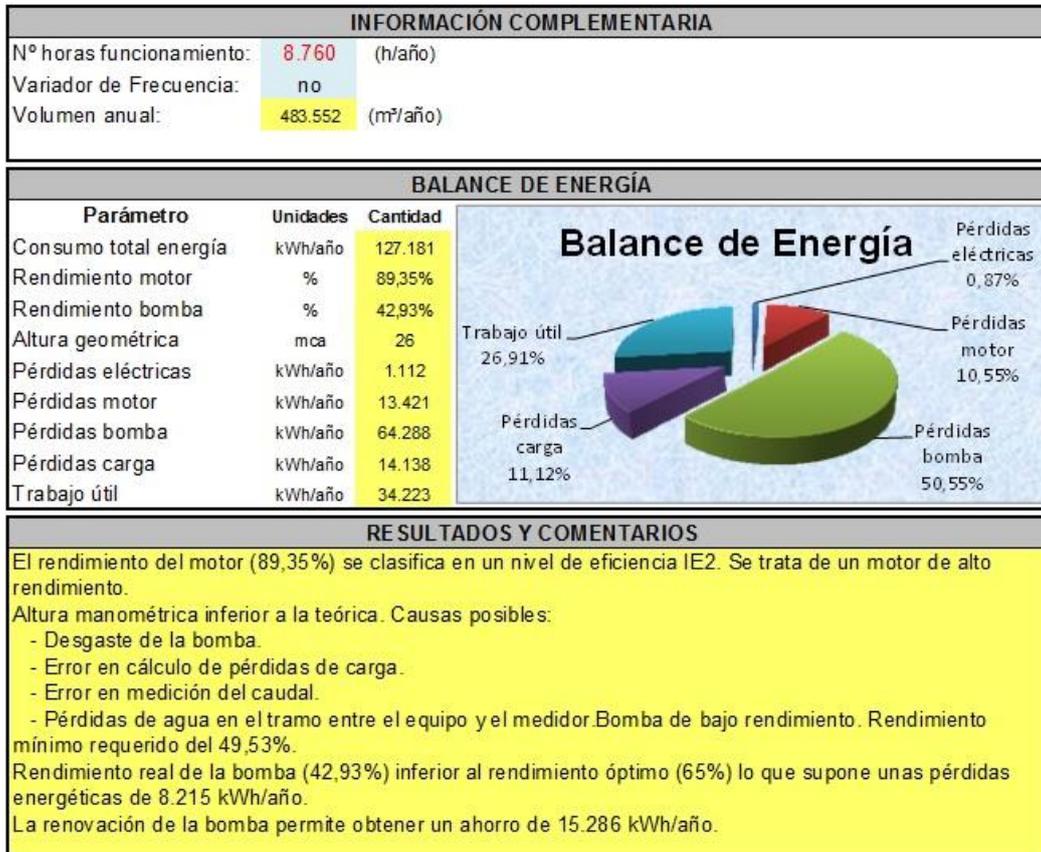
- **Carga de bombeo.**
 - **Pérdidas en aspiración.** Pérdidas de carga entre el manómetro instalado en la conducción de aspiración y la bomba.
 - **Pérdidas en descarga.** Se diferencian dos casos:
 - **Pozo.** Pérdidas de carga entre el brocal y el manómetro instalado en la conducción de descarga.
 - **Rebombeo.** Pérdidas de carga entre la bomba y el manómetro en la conducción de descarga.
 - **Pérdidas en accesorios.** Pérdidas de carga en los accesorios comprendidos entre los manómetros y la bomba
 - **Viscosidad fluido.** Viscosidad del fluido en función de la temperatura del mismo.
 - **Densidad fluido.** Densidad del fluido en función de la temperatura del mismo.
 - **H. manométrica real.** Altura manométrica real que aporta la bomba según las mediciones realizadas.
 - **H. manom. Teórica.** Altura manométrica teórica que debería aportar la bomba para el caudal real medido, según su ficha técnica.
- **Caudal.** Caudal real que pasa por la bomba medido en un contador o caudalímetro en m³/h.
- **Potencia hidráulica.** Potencia transmitida por la bomba al fluido en kW.
- **Rendimientos.**
 - **Rendimiento electromecánico.** Rendimiento del conjunto motor-bomba.
 - **Rendimiento real bomba.** Rendimiento real con el que está funcionando la bomba.
 - **Rendimiento teórico bomba.** Rendimiento teórico que debería tener la bomba para el caudal real medido, según su ficha técnica.
 - **Rendimiento óptimo bomba.** Rendimiento de la boba en su punto de máximo rendimiento según su ficha técnica.
- **Pérdidas en la tubería.** Se diferencian dos casos en este apartado: Caso A, pozo; Caso B, rebombeo. Según la instalación que se desee analizar se rellenará un apartado u otro.

- **Caso A. Pozo.** Se ha dejado una fila extra por si fuese necesario diferenciar dos tramos de diferente sección en la columna de impulsión.
 - **ϵ_{abs} (mm).** Rugosidad absoluta de la conducción hidráulica según el material en mm. Consultar la rugosidad absoluta de cada material en la hoja “Pérdidas hidráulicas”.
 - **L_{prof.bomba}.** Longitud desde el brocal hasta la bomba en metros.
 - **L_{brocal-man}.** Longitud de conducción desde el brocal hasta el manómetro en metros.
 - **D (mm).** Diámetro de la conducción hidráulica en mm.
 - **V (m/s).** Velocidad del agua a través de la conducción en metros por segundo.
 - **Re.** Número de Reynolds.
 - **f.** Factor de fricción.
 - **hf.** Pérdidas de carga en mca.
- **Caso B. Rebombeo:** Se diferencian la conducción de aspiración y la de descarga en dos filas diferentes.
 - **ϵ_{abs} (mm).** Rugosidad absoluta de la conducción hidráulica según el material en mm. Consultar la rugosidad absoluta de cada material en la hoja “Pérdidas hidráulicas”.
 - **L.** Longitud desde el manómetro de aspiración/descarga hasta la bomba
 - **D (mm).** Diámetro de la conducción hidráulica de aspiración/descarga en mm.
 - **V (m/s).** Velocidad del agua a través de la conducción en metros por segundo.
 - **Re.** Número de Reynolds.
 - **f.** Factor de fricción.
 - **hf.** Pérdidas de carga en mca.
- **Pérdidas en accesorios.**
 - **Unidades.** Cantidad de accesorios del mismo tipo entre manómetros y bomba.
 - **Diámetro.** Diámetro del accesorio en mm.
 - **Coefficiente K.** Coeficiente de pérdidas menores.
 - **Velocidad (m/s).** Velocidad del fluido a través del accesorio.
 - **Hacesorios (m).** Pérdidas de carga en los accesorios
 - **Otros.** Accesorios diferentes a un codo, válvula de corte y válvula de retención que son los más comunes.
 - **Coefficiente K.** Consultar el coeficiente k de pérdidas menores para estos accesorios en la hoja “Pérdidas hidráulicas”.

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

- **Nº horas funcionamiento.** Número de horas que funciona la instalación al año.
- **Variador de frecuencia.** Si existe variador de frecuencia o no en la instalación. Poner “sí” o “no”.
- **Volumen anual.** Volumen de agua trasegada por la bomba en un periodo de un año en m³.

Gráfico A3.3. Hoja "Cálculos", página 1



BALANCE DE ENERGÍA

- **Consumo total energía.** Energía consumida por la instalación a lo largo de un año en kWh.
- **Rendimiento motor.** Eficiencia real del motor calculada previamente en %.
- **Rendimiento bomba.** Eficiencia real de la bomba calculada previamente en %.
- **Altura geométrica.** Desnivel de altura que ha de vencer la bomba para impulsar el agua hasta el punto más elevado de la instalación sin tener en cuenta las pérdidas por rozamiento. Se mide en mca.
- **Pérdidas eléctricas.** Pérdidas eléctricas en las conducciones eléctricas desde el punto de acometida hasta bornes del motor en kWh/año.
- **Pérdidas motor.** Pérdidas eléctricas en el motor en función de su rendimiento real en kWh/año.
- **Pérdidas bomba.** Pérdidas energéticas en la bomba debidas a su rendimiento real en kWh/año.
- **Pérdidas carga.** Pérdidas energéticas en el fluido debidas al rozamiento por las conducciones hidráulicas y los posibles accesorios. Se mide en kWh/año.
- **Trabajo útil.** Energía final que es transferida al fluido en kWh/año.

RESULTADOS Y COMENTARIOS

En este apartado, se muestran una serie de resultados según el funcionamiento de la instalación. Las condiciones para que se muestre cada uno de los resultados se muestran en la hoja 3 “Condiciones Resultados” (véase *Gráfico A3.3*). Ésta hoja sirve de apoyo para los resultados que se muestran en este apartado.

Se analizarán con más detenimiento los principales equipos consumidores de energía, es decir, el motor y la bomba. De ambos bloques se hace una clasificación según la eficiencia de funcionamiento de los equipos, se analiza las condiciones de diseño y se estudia el desgaste de los equipos.

De la Instalación eléctrica se analizan las pérdidas eléctricas. De las pérdidas de carga en las conducciones no se muestran resultados en este apartado, pues se considera que no corresponde a este estudio el análisis de las conducciones hidráulicas.

A continuación, en el *Gráfico A3.3*, se muestran los comentarios que pueden aparecer en este apartado y las condiciones que han de cumplirse.

Hoja 3. Condiciones Resultados

Gráfico A3.3. Hoja “Condiciones Resultados”

| CONDICIONES RESULTADOS Y COMENTARIOS | | | | | |
|--------------------------------------|-----------------------|--|--|---|--|
| Bloque | Condiciones | Resultados | Concepto | Extracto de los resultados o bibliografía consultada | |
| 1 | Instalación eléctrica | Si las pérdidas eléctricas son mayores del 3% | Pérdidas eléctricas | Banco Internacional de Desarrollo, 2011. <i>Evaluación para sistemas de bombeo de agua. Manual de eficiencia energética. Primera edición.</i> | |
| 2 | Motor | Clasificación del motor según la IEC en 4 niveles de eficiencia | Clasificación eficiencia del motor | IEC: International Electrotechnical Commission. <i>Norma técnica IEC 60034-30-1.</i> | |
| 3 | | Si $\eta_{\text{nominal motor}} < 0,96 * \eta_{\text{máximo nominal}}$ | Bajo rendimiento del motor debido a que está sobredimensionado | Diseño | <i>Tras un análisis exhaustivo de las curvas de funcionamiento de diferentes motores asíncronos, se aprecia como el rendimiento decae ligeramente cuando el factor de carga desciende de 0,5.</i> |
| 4 | | Si $\eta_{\text{real motor}} < 0,95 * \eta_{\text{técnico motor}}$ | La renovación del motor permite obtener un ahorro de XXX kWh/año | Desgaste | <i>Análisis energético del ahorro que conlleva renovar.</i> |
| 5 | Bomba | Si $H_{\text{teórica}} > 1,1 * H_{\text{real}}$ | Desgaste o posibles fallos | <i>Tras un análisis de las posibles causas de una desviación de la altura man. Medida frente a la teórica para el caudal real, se llegó a estas cuatro posibles conclusiones.</i> | |
| 6 | | Si $\eta_{\text{real bomba}} < 0,85 * \eta_{\text{mínimo UE}}$ | Bomba de bajo rendimiento | Evaluación $\eta_{\text{real bomba}}$ | <i>Reglamento (UE) nº 547/2012 de la Comisión, de 25 de junio de 2012, por el que se aplica la Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo a los requisitos de diseño ecológico para las bombas hidráulicas.</i> |
| 7 | Bomba | Si Consumo bomba punto real > 1,05 * Consumo bomba punto óptimo | Diseño | <i>Tras un análisis de la influencia en el consumo energético del punto de funcionamiento de la bomba, se llegó a esta conclusión.</i> | |
| 8 | | Si $\eta_{\text{real bomba}} < 0,95 * \eta_{\text{técnico bomba}}$ | La renovación de la bomba permite obtener un ahorro de XXX kWh/año | Desgaste | <i>Análisis energético del ahorro que conlleva renovar.</i> |

Esta hoja resume los resultados que se muestran en la hoja “Cálculos”. Los resultados que muestra la Auditoría Energética se separan en tres bloques:

- Instalación Eléctrica.
- Motor.
- Bomba.

Para cada uno de los 3 bloques se analizan unos conceptos y se muestran unos resultados del funcionamiento de la instalación según unas condiciones impuestas. Para cada condición-resultado se muestra el documento del que ha sido extraída la información, o bien, cómo se ha llegado a esta conclusión.

La instalación eléctrica junto con las pérdidas de carga son los bloques analizados de menor importancia. Las pérdidas energéticas son menos relevantes que en los bloques del motor y la bomba. Además, el estudio de una reducción en las pérdidas de carga no atañe a este proyecto. Para el bloque de la instalación eléctrica, la Auditoría Energética muestra un mensaje de atención cuando las pérdidas eléctricas superen el 3%.

El motor y la bomba son los bloques más importantes. Por lo general, la mayor parte de las pérdidas energéticas se producen en uno de estos bloques. Para realizar un análisis sencillo de la instalación, nos fijaremos en el desgaste, diseño y rendimiento real del motor y la bomba.

- **Motor**. La Auditoría Energética muestra tres resultados según el comportamiento del motor.
 - En todos los casos se muestra un resultado con su rendimiento real y su clasificación IEC, según su nivel de eficiencia.
 - El diseño del motor se analiza comparando el máximo rendimiento del motor en su curva de funcionamiento F.C. – Rendimiento, frente al rendimiento nominal. Cuando el rendimiento nominal sea un 4% menor que el rendimiento máximo de la curva, el motor trabaja para factores de carga muy bajos y, por tanto, el motor está sobredimensionado.
 - El desgaste del motor se analiza comparando el rendimiento real del motor frente a su rendimiento nominal. Cuando decaiga más de un 5%, se considera que el motor está desgastado y se muestra un mensaje con los ahorros que supone renovar el motor.
- **Bomba**. La Auditoría Energética muestra cuatro resultados según el comportamiento de la bomba.
 - El rendimiento real de la bomba se compara con el rendimiento mínimo ecológico exigido por la UE depreciando éste un 15%, puesto que se supone este rendimiento para bombas nuevas. Cuando el rendimiento real de la bomba sea inferior que el mínimo exigido, se muestra un mensaje “Bomba de bajo rendimiento”.
 - La altura manométrica real que aporta la bomba, se compara frente a la altura manométrica teórica que debería aportar según el caudal real medido. Cuando la altura teórica sea más de un 10% mayor que la altura real, estaremos en una situación de fallo en la medición o desgaste de la bomba.
 - Cuando el consumo de la bomba sea un 5% mayor, en su punto de funcionamiento, que el consumo de la bomba en su punto óptimo de funcionamiento, nos indica que estamos frente a un fallo en las condiciones de diseño de la bomba, y por tanto, tenemos unas pérdidas energéticas de XXX kWh/año.
 - El rendimiento real de la bomba se compara con el rendimiento teórico de la bomba para el caudal real medido. Cuando el rendimiento teórico sea mayor o igual de un 5% superior al rendimiento real, indica un desgaste de la bomba. En estos casos, se propone una renovación de la bomba y se muestran los ahorros energéticos.

BIBLIOGRAFÍA

- Banco Internacional de Desarrollo, 2011. Evaluación para sistemas de bombeo de agua. Manual de eficiencia energética. Primera edición.
- IEC: International Electrotechnical Commission. Norma técnica IEC 60034-30-1.
- Reglamento (UE) nº 547/2012 de la Comisión, de 25 de junio de 2012, por el que se aplica la Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo a los requisitos de diseño ecológico para las bombas hidráulicas.
- https://www.uclm.es/area/ing_rural/Trans_hidr/Tema8.PDF (Pérdidas de carga en accesorios).
- Mott, Robert L. Mecánica de Fluidos. Sexta Edición (Pérdidas de carga en contracciones/dilataciones).
- <http://www.tlcontrol.com/CalcularDiametroTuberia.aspx> (Rugosidad absoluta materiales).
- <http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/HIDRAULICA2013.pdf> (Rugosidad absoluta materiales).
- https://www.spri.upv.es/IOP_ELEC_02.htm (Efectos físicos de una descarga de corriente).
- UNE-EN/60228 (Resistividad de los conductores eléctricos).

