



Universidad  
Carlos III de Madrid

Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos

Escuela Politécnica Superior

Ingeniería Industrial

PROYECTO FIN DE CARRERA

IMPLEMENTACIÓN DE UN  
SISTEMA DE GESTIÓN DE LA  
ENERGÍA EN LA LOGÍSTICA DE  
COMBUSTIBLES

Autor: Ana Rebeca Manrique Marina

Tutor: Rubén Ventas Garzón

Director: Félix Gómez Cuenca

Madrid, Julio de 2014

**Título: Implementación de un sistema de gestión de la energía en la logística de combustibles.**

Autor: Ana Rebeca Manrique Marina

Tutor: Rubén Gómez Garzón

Director: Félix Gómez Cuenca

## TRIBUNAL

Presidente: Jorge Parra Moreno

Vocal: Miguel Marco Esteban

Secretario: Fernando Campo Paredes

## Agradecimientos

Siempre pensé que la página de agradecimientos sería la más fácil de redactar, pero sin embargo he descubierto que no es tan sencillo expresar todo lo que debo a tanta gente en unas simples líneas.

Si debo iniciar mis agradecimientos por alguien, por supuesto, que sea por mis padres. A ellos les debo absolutamente todo y creo que su ejemplo, cariño y apoyo me han mostrado que nunca hay que rendirse y que merece la pena luchar por lo que uno cree hasta el final.

No puedo olvidarme de los que ya formáis parte de mi familia, Laura, Elena y Patricia, vuestro granito siempre ha sido latente.

Respecto a la realización del proyecto, agradezco a mis compañeros Víctor y Sergio y por su puesto a Félix por su ayuda, paciencia y colaboración.

## Resumen

El conocimiento y la información sobre el límite de los recursos energéticos y las consecuencias negativas sobre el medio ambiente del uso abusivo e indiscriminado de la energía, han dado lugar a una profunda inquietud en el seno de la sociedad, poniendo en evidencia la necesidad de consumir de forma sostenible.

En este proyecto se pretende estudiar la mejora de la gestión de la energía de CLH mediante la implantación del sistema de gestión de la energía ISO 5001, con el objetivo de reducir costes y mejorar el desempeño energético. Para ello se pretende realizar la planificación energética que exige la norma.

Consiste en un análisis de situación por el que se obtiene un conocimiento de las principales fuentes de energía de la compañía, el funcionamiento de sus instalaciones de almacenamiento y oleoductos y sus consumos energéticos. En definitiva, conocer dónde, cómo y para qué se utiliza la energía consumida en la compañía logística de hidrocarburos.

La planificación energética abarca la toma de datos de las instalaciones de almacenamiento, iluminación, sistemas de bombeo y consumo en los oleoductos, el análisis de los mismos mediante indicadores de desempeño energético y la elaboración de recomendaciones de mejoras bajo criterios de eficiencia energética y medioambiental de sus instalaciones consumidoras.

**Palabras clave:** energía, medio ambiente, eficiencia energética, planificación.

## Abstract

The knowledge and information about the limit of energy resources and the negative consequences on the environment caused by the abusive and indiscriminate use of energy, have led to a deep concern within society, highlighting the need to consume sustainably.

This project aims to study the improvement of energy management through the implementation of CLH energy management system ISO 50001, in order to reduce costs and improve energy performance. To get this objective it is needed to develop the energy planning required by the standard.

It consists of a situation analysis to obtain knowledge of the main energy sources of the company, the operation of its storage facilities, pipelines and energy consumption. In conclusion, to know where, how and why is energy consumed in the transport oil company.

Energy planning includes extracting data from storage facilities, lighting, pumping systems and consumer pipelines, analyzing the energy performance indicators and making recommendations for improvements based on energy and environmental efficiency criteria of their consumer installations.

**Keywords:** energy, environment, energy efficiency, planning.

## ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS .....	11
1.1. Introducción .....	11
1.2. Objetivos .....	16
1.3. Estructura de la memoria .....	19
2. PRINCIPALES FUENTES DE ENERGÍA EN LA COMPAÑÍA .....	20
3. INSTALACIONES DE ALMACENAMIENTO .....	21
3.1. Descripción del proceso de producción en la instalación .....	21
3.2. Descripción de los sistemas de bombeo .....	24
3.3. Descripción de los sistemas de iluminación .....	25
3.4. Evolución del consumo en las instalaciones de almacenamiento .....	26
3.5. Evolución de la actividad de las instalaciones .....	28
3.6. Análisis de la actividad en relación al consumo .....	29
3.7. Análisis por instalación .....	30
3.8. Línea base energética de las instalaciones de almacenamiento .....	32
3.9. Indicador de desempeño energético de las instalaciones de almacenamiento .....	32
4. OLEODUCTOS .....	37
4.1. Descripción de los oleoductos .....	38
4.2. Control de operaciones en los oleoductos .....	50
4.3. Línea base energética de red de oleoductos .....	51
4.4. Indicador de desempeño energético de los oleoductos .....	52
5. PROPUESTAS DE MEJORA .....	54
5.1. Reducción de la energía consumida en las instalaciones de almacenamiento .....	54
5.2. Reducción de la energía consumida en la red de oleoductos .....	64
6. PRESUPUESTO .....	70
7. CONCLUSIONES Y DESARROLLOS FUTUROS .....	72

7.1. Conclusiones .....	72
7.2. Posibles desarrollos futuros .....	73
ANEXO 1 TRAMOS EN LA RED DE OLEODUCTOS .....	76
ANEXO 2 EVOLUCIÓN DEL CONSUMO EN LA RED DE OLEODUCTOS .....	78
ANEXO 3 PROGRAMA ANÁLISIS DE LAS BOMBAS DEL CARGADERO .....	85
ANEXO 4 CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS DEL CARGADERO .....	93
ANEXO 5 CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS DEL CARGADERO .....	98
ANEXO 6 CÓDIGO DE PRODUCTOS .....	103
ANEXO 7 MÉTODO DE CÁLCULO COEFICIENTES DE AHORRO PARA LOS VARIABLES .....	105

## Índice de Tablas

Tabla 1. Variación en % del consumo anual .....	27
Tabla 2. Variación en % de las salidas a terceros.....	29
Tabla 3. Relación entre actividad y consumo.....	30
Tabla 4. Selección estrategia de control .....	61
Tabla 5. Presupuesto de la realización del proyecto.....	71



## Índice de Figuras

Figura 1. Mapa de la red logística de CLH.....	11
Figura 2. Evolución de la red de oleoductos de CLH.....	12
Figura 3. Ventajas del Sistema de Gestión de Energía.....	14
Figura 4. Diagrama de la planificación energética.....	16
Figura 5. Gráfico del consumo en función del producto.....	17
Figura 6. Esquema conceptual de la revisión energética.....	17
Figura 7. Gráfico fuentes de energía.....	20
Figura 8. Sistema de carga de combustible a camiones.....	24
Figura 9. Gráfico del consumo en Instalaciones de almacenamiento en MWh.....	27
Figura 10. Gráfico de las salidas en m <sup>3</sup> en las instalaciones analizadas.....	28
Figura 11. Gráfico de las salidas a terceros en m <sup>3</sup> .....	28
Figura 12. Gráfico evolución actividad-consumo.....	29
Figura 13. Gráfico salidas por instalación en m <sup>3</sup> .....	30
Figura 14. Gráfico salidas por instalación en m <sup>3</sup> .....	31
Figura 15. Gráfico Actividad en función del consumo.....	32
Figura 16. Gráfico Ratio de eficiencia energética.....	33
Figura 17. Gráfico ratios de eficiencia.....	34
Figura 18. Gráfico Ratios de eficiencia Islas Baleares.....	34
Figura 19. Gráfico salidas frente promedio de ratio eficiencia en 2012.....	35
Figura 20. Gráfico evolución salidas y ratio de eficiencia en Albuixech.....	36
Figura 21. Dispatching o Centro de Control.....	37
Figura 22. Cabecera del oleoducto.....	39
Figura 23. Componentes de la bomba centrífuga.....	40
Figura 24. Curvas características de la bomba.....	41
Figura 25. Curvas características del sistema.....	43
Figura 26. Curva característica altura – caudal.....	45
Figura 27. Acoplamiento de bombas en serie.....	46
Figura 28. Curvas de bombas en serie.....	46
Figura 29. Curvas de dos bombas acopladas en paralelo.....	47
Figura 30. Tubería del oleoducto.....	48
Figura 31. Hitos del oleoducto.....	48

Figura 32. Gráfico consumo frente a la actividad en los tramos de oleoductos .....	51
Figura 33. Gráfico evolución anual del consumo frente a la actividad por km recorridos .....	52
Figura 34. Gráfico ratio de eficiencia en los oleoductos .....	53
Figura 35. Volumen carga horario de Gasóleo A en 2013 .....	55
Figura 36. Distribución semanal por productos en 2013.....	55
Figura 37. Volumen expedido en 2013 diferenciado por producto en la compañía.....	56
Figura 38. Gráfico número de recirculaciones por producto en el año 2013 .....	57
Figura 39. Gráfico consumo de las bombas por instalación de almacenamiento.....	58
Figura 40. Ratio iluminación W/m <sup>2</sup> .....	59
Figura 41. Esquema de un sistema automático de control de una lámpara de descarga, con los diferentes tipos de sensores con los que puede operar .....	60
Figura 42. Sustitución de lámparas convencionales T8 por Eco-Eficientes .....	62
Figura 43. Curvas del sistema con puntos de funcionamiento .....	65
Figura 44. Curvas del sistema y puntos de funcionamiento .....	68

## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

### 1.1. Introducción

El grupo CLH es la compañía líder en el transporte y almacenamiento de productos petrolíferos en el mercado español, así como en la distribución y puesta a bordo de combustibles y lubricantes en aviación.



Figura 1. Mapa de la red logística de CLH

La actual Compañía Logística de Hidrocarburos CLH, S.A., fue creada en 1927 bajo la denominación Compañía Arrendataria del Monopolios de Petróleos, S.A. (CAMPSA), y es el resultado de la escisión de los activos comerciales de la antigua CAMPSA en 1992, como culminación del proceso de liberación del sector petrolífero que se produjo en España tras su integración en el Mercado Común Europeo.

Por su parte, CLH Aviación, constituida en 1997 y filial 100% de CLH, está presente en la mayoría de los aeropuertos españoles de la Península Ibérica e Islas Baleares ofreciendo un servicio de almacenamiento, distribución y puesta a bordo en aeronaves (*service into plane*) de combustibles y lubricantes de aviación.

La principal actividad de CLH es el almacenamiento, transporte y distribución de productos petrolíferos en todo el territorio peninsular y las islas Baleares garantizando además el libre acceso a terceros a su sistema logístico.

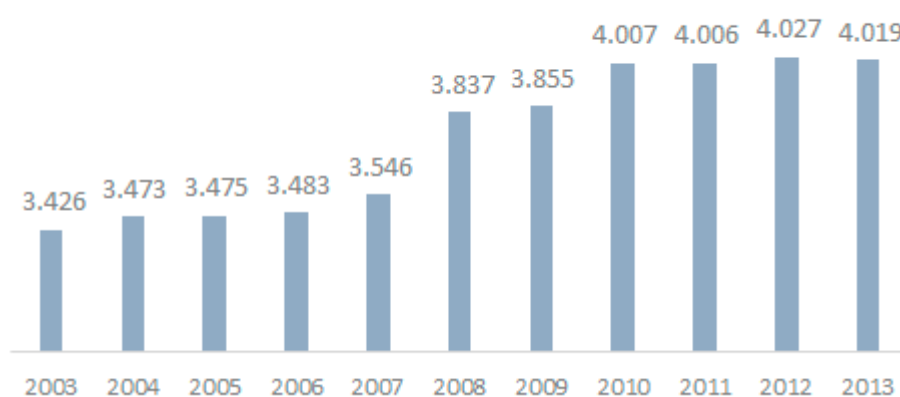


Figura 2. Evolución de la red de oleoductos de CLH

Para ello, la compañía cuenta con una de las mayores y más eficientes redes integradas de transporte y almacenamiento de productos petrolíferos de todo el mundo.

En la actualidad, CLH tiene concertados contratos de servicios logísticos para la utilización de sus instalaciones con la mayor parte de los operadores que actúan en España y compite con más de una decena de compañías logísticas que prestan servicio de almacenamiento y transporte en el mercado español [1].

Para ello, los clientes pueden contratar para cada uno de los productos que se gestionan a través de las infraestructuras de CLH, el volumen anual de transporte origen-destino desde las refinerías o puertos de entrada hasta los centros de almacenamiento, así como las cantidades que van a retirar de cada uno de los destinos.

Estos productos entregados se registran en cuentas definidas por compañía, producto e instalación de destino en las que el cliente según el producto puede realizar operaciones de consignación, reconsignación y transferencia.

Otro de los grandes activos de la compañía es un gran equipo humano, formado por las más de 1.600 personas con una gran experiencia en todas las actividades relacionadas con el almacenamiento y transporte de productos petrolíferos, divididos por toda la península, ya sea en las distintas instalaciones, como a pie de campo.

CLH ha desarrollado además como soporte a sus clientes, un sistema integrado de operadores que pone a su disposición en tiempo real toda la información necesaria para el desempeño de su actividad, a la vez que permite realizar diversas operaciones directamente desde sus oficinas: alta y consulta de pedidos y clientes, movimientos y consultas de los saldos de sus cuentas de producto y consulta de transportistas y camiones.

La visión de la compañía es colaborar al progreso económico, medioambiental y social, proporcionar a los clientes un servicio excelente, asegurar la rentabilidad a los accionistas, fomentar la promoción laboral de los empleados y la conciliación de su vida personal y profesional. CLH pretende ser un referente internacional en la distribución de energía, colaborando a su uso responsable, atendiendo a la seguridad de las personas y a la protección del medio ambiente. Por lo tanto, ante el gran problema existente por la disponibilidad de los recursos energéticos y el coste creciente de la energía, su influencia en la estructura de costes de las empresas es cada vez más relevante. La reducción de este tipo de costes ha adquirido una gran importancia, por ello, la gestión energética se convierte en una clave competitiva de la empresa. Esto produce la necesidad de implantar sistemas de gestión energética que faciliten el ahorro de energía.

El Sistema de Gestión Energética es el conjunto de procedimientos y actividades integrado en el sistema organizacional de la empresa, para alcanzar el consumo mínimo de energía. El sistema de gestión energética engloba el compendio de medios que dispone la Dirección de una empresa para alcanzar los objetivos en materia energética [2]. Estos medios se traducen en:

- La dotación de recursos económicos y humanos que desencadenan cambios en la estructura organizativa.

- La asignación de nuevas responsabilidades.
- La creación de procesos y procedimientos que estipulen y faciliten el entendimiento.
- La aplicación de la política energética elegida.

La eficiencia energética se define como la obtención de los mismos bienes y servicios energéticos, pero con menos consumo de energía, menos contaminación y fomentando la sostenibilidad. La eficiencia energética no implica renunciar a la calidad de vida puesto que consiste en obtener más y mejores resultados con menos recursos, lo cual implica además menos costes de producción para producir lo mismo [3].

En cuanto a las ventajas de implantar un sistema de gestión energética podrían resumirse en el siguiente cuadro:

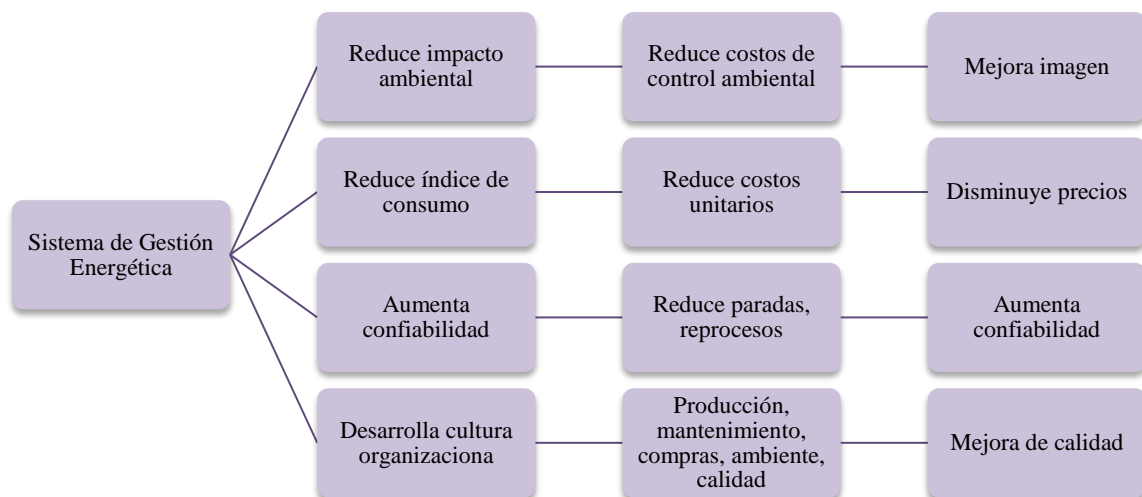


Figura 3. Ventajas del Sistema de Gestión de Energía

Es decir, la implantación de un sistema de gestión energética tiene como objetivo final la disminución, tanto de los costes energéticos y económicos, como del impacto ambiental asociado a la explotación de los diferentes tipos de energía, y conlleva los siguientes beneficios [4]:

- Mejora de la eficiencia de los procesos.
- Promoción de tecnologías menos contaminantes.
- Disminución de los costes de control.

- Facilitación de la adaptación a mayores exigencias legislativas y a otros requisitos.
- Mejora de la imagen y marca de la empresa en el mercado.

Por tanto, con la actual situación de dependencia energética y la lucha del cambio climático, existe la necesidad de crecer económicamente pero con un menor consumo energético [5].

A largo plazo, la implantación de un sistema de gestión energética es un valor añadido al activo de la empresa y posibilita la creación de productos y servicios innovadores que permitan el fortalecimiento de la empresa.

Dada la importancia que está adquiriendo la concienciación en el ahorro energético, se ha publicado recientemente (por la Organización Internacional de Normalización ISO) la norma ISO 5001 “Sistema de Gestión de la Energía”.

La implantación de un sistema de gestión energética se puede realizar utilizando las pautas facilitadas por la norma de referencia, lo cual es muy recomendable al posibilitar la certificación futura del sistema. No obstante, cada empresa requiere un modelo de gestión propio para adaptarlo a su actividad.

## 1.2. Objetivos

El objetivo fundamental de este proyecto es mejorar la gestión de la energía de CLH estudiando la implantación del sistema de gestión de la energía ISO 50001, con el objetivo de reducir costes y mejorar el desempeño energético. Tal y como se ha definido anteriormente, la eficiencia energética es la obtención de los mismos bienes y servicios energéticos, pero con menos consumo de energía, menos contaminación y fomentando la sostenibilidad. La eficiencia energética no implica renunciar a la calidad de vida puesto que consiste en obtener más y mejores resultados con menos recursos, lo cual implica además menos costes de producción para producir lo mismo [3].

Dado que en la compañía se tiene implantados otros sistemas de gestión (ISO 140001 e ISO 9001), la implementación de uno nuevo se beneficiaría de varios procedimientos ya creados, siendo necesario profundizar principalmente en la planificación energética. El siguiente diagrama conceptual pretende proporcionar una mejor comprensión del proceso de planificación energética.

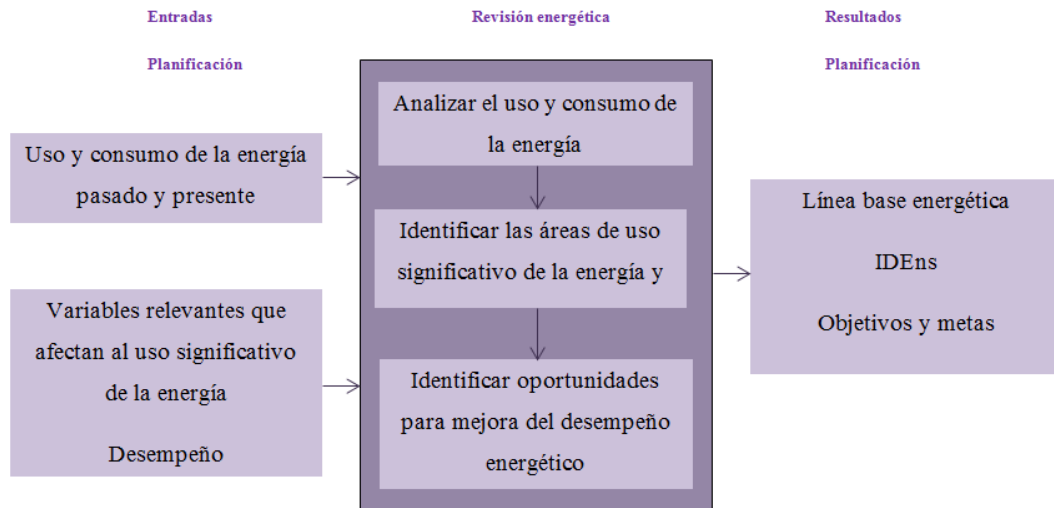


Figura 4. Diagrama de la planificación energética [6]

En base a la planificación energética, se proponen los siguientes objetivos parciales de especial interés en la gestión energética:

1. Revisión energética: para ello se realizará un análisis de las principales áreas de consumo energético para establecer una línea base energética, orientada a la identificación de oportunidades de mejora que sirve para conocer el valor de los



indicadores de desempeño energético en el momento en el que se realiza el estudio, obteniendo la tendencia del consumo energético de la compañía. Es imprescindible establecer una línea de base energética, que represente el comportamiento energético actual y actúe como referencia en el momento de implantar el sistema de gestión de energía [6].

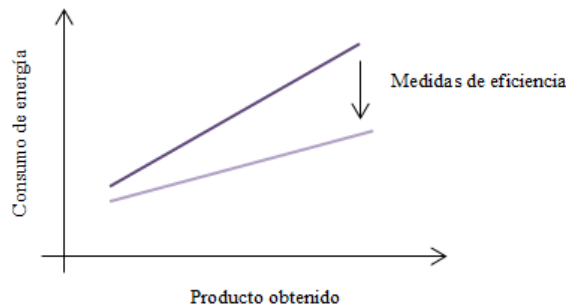


Figura 5. Gráfico del consumo en función del producto

Se debe desarrollar, registrar y mantener la revisión energética.

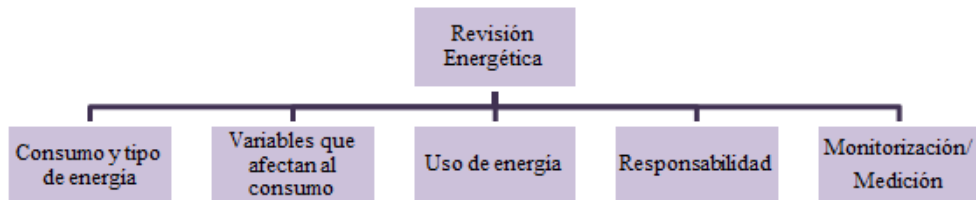


Figura 6. Esquema conceptual de la revisión energética

2. Desarrollo de un cuadro operativo de consumo energético: se obtendrán los indicadores de desempeño energético más importantes, en diferentes niveles (compañía, oleoducto e instalación de almacenamiento) y su relación entre ellos, para la correcta gestión energética. Se analizará la evolución de estos indicadores.
3. Estudio de los factores de influencia en el gasto eléctrico en la logística de hidrocarburos: se estudiará cómo influyen las diferentes variables de la logística

(volúmenes transportados, orígenes y destinos, mix de productos, etc.). El objetivo es estudiar los factores que inciden en el gasto eléctrico mediante el estudio teórico y los datos históricos, con el objetivo de optimizar y realizar propuestas en materia de eficiencia energética.

4. Identificar, evaluar y seleccionar oportunidades de mejora.

### **1.3. Estructura de la memoria**

El capítulo 2 menciona las principales fuentes de energía que se utilizan para abastecer el consumo de energía requerido.

En el capítulo 3 se detallará el proceso de producción en las instalaciones de almacenamiento: recepción del producto, operaciones de trasiego y expedición del producto. Durante este capítulo se describen los sistemas de bombeo y los sistemas de iluminación dónde se justificará la evolución del consumo y la actividad en las instalaciones de almacenamiento.

Durante el capítulo 4 se define el sistema de oleoductos que consta de la descripción de las estaciones de bombeo, características de las bombas centrífugas, curvas de las bombas y las curvas del sistema, descripción del tubo e identificación de un oleoducto. Posteriormente se hace mención al control de operaciones que se realizan en ellos para analizar la evolución del consumo frente a la actividad y obtener un ratio de desempeño energético que permita implantar la planificación energética.

Por lo tanto, en los capítulos 3 y 4, se aborda la revisión energética, se obtienen los indicadores de desempeño energético más importantes para la compañía y se estudia cómo influyen las diferentes variables en el consumo eléctrico.

En el capítulo 5 se trata de identificar, evaluar y seleccionar oportunidades de mejora como determina la norma ISO 50001 “Sistema de Gestión de la Energía”.

En el capítulo 6 se realiza un presupuesto de la realización del presente proyecto y en el capítulo 7 se presentan las conclusiones y posibles desarrollos futuros.

## 2. PRINCIPALES FUENTES DE ENERGÍA EN LA COMPAÑÍA

Las principales fuentes de energía en la compañía logística de hidrocarburos son tanto eléctricas como térmicas.

El consumo de energía eléctrica en las instalaciones de almacenamiento se proporciona en los sistemas de bombeo en el cargadero, en el sistema de iluminación, en la unidad de recuperación de vapores, tratamiento y control de efluentes, etc. El consumo eléctrico en los oleoductos, principalmente se produce en el bombeo.

Considerando las fuentes de energía térmica, tenemos el gasóleo C utilizado en las calderas de calentamiento de productos pesados.

En la mayoría de las instalaciones de almacenamiento el consumo térmico no es representativo, solamente en las siguientes instalaciones: Barcelona, Algeciras, Tarragona, Castellón, Cartagena, La Coruña, Gijón, Huelva y Villaverde.

En el siguiente gráfico se observa el porcentaje del consumo procedente de las distintas fuentes de energía:

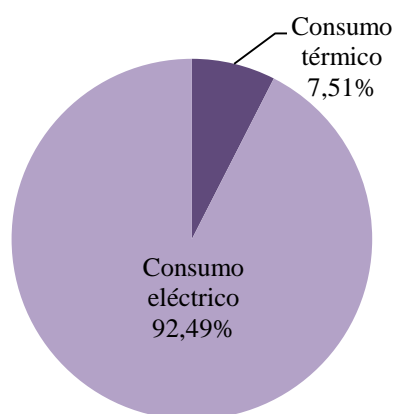


Figura 7. Gráfico fuentes de energía

### 3. INSTALACIONES DE ALMACENAMIENTO

CLH cuenta con una amplia red de instalaciones de almacenamiento distribuidas por todo el territorio español de la Península Ibérica e Islas Baleares. Esta red está integrada por 38 instalaciones que almacenan todo tipo de productos petrolíferos que en conjunto representan una capacidad de almacenamiento de más de 7 millones de metros cúbicos [7].

Las instalaciones se operan desde una sala de control, y están equipadas con sistemas que permiten la carga automática de camiones cisterna.

La red dispone de un *Dispatching Central* que apoya, gestiona y supervisa todas las instalaciones y desde el que se puede operar directamente sobre los sistemas de cualquiera de ellas y resolver posibles incidencias, garantizando de este modo, el servicio de carga de camiones en las instalaciones 24 horas los 365 días del año.

#### 3.1. Descripción del proceso de producción en la instalación

Las fases del proceso de producción de una instalación de almacenamiento son las siguientes: la recepción del producto, las operaciones de trasiego, expedición del producto por camión cisterna, expedición por pantalán, expedición por oleoducto y expedición al correspondiente aeropuerto.

##### Recepción del producto

La recepción del producto se produce bien por buque tanque, por el oleoducto correspondiente o por otras terminales externas a CLH del muelle de inflamables del puerto.

La descarga se realiza por bombeo desde el mismo buque tanque o, en el caso del oleoducto desde la planta de estación de bombeo. En el caso de la recepción de producto, el consumo energético es mínimo ya que el bombeo viene dado por terceros. Solamente existe algún consumo auxiliar de purgas, separación de mezclas, devoluciones, etc.

También existe la recepción de los aditivos, como el bioetanol, que se produce por descargas de camiones cisterna hasta los depósitos de almacenamiento apropiado. El bombeo del producto hasta el tanque viene dado por el camión cisterna. Estos aditivos son imprescindibles para la actividad de la instalación, ya que en unos casos son aditivos fiscales y en otros de calidad. Los aditivos son descargados a su tanque correspondiente mediante el

bombeo desde el mismo camión que lo transporta a la planta. El almacenamiento se realiza en tanques atmosféricos, de techo y/o pantalla flotante o fija.

#### Operaciones de trasiego

Las operaciones de trasiego son todas aquellas operaciones que suponen movimiento de producto entre tanques por cuestiones de logística, espacio u otras cuestiones técnicas como puede ser la limpieza de los tanques, repintados periódicos, etc.

Para cada producto existen las motobombas necesarias para el movimiento del producto en cuestión entre los tanques, que a la vez, alguna de ellas puede ser usada por otros trabajos de la instalación como de bomba booster, bomba utilizada para cebar otras bombas de mayor potencia, o para la carga de la gabarra o de otros buques.

#### Expedición del producto

Los varios productos que son suministrados a los clientes también pueden ser suministrados de distintas maneras dependiendo del transporte a utilizar. Las distintas maneras de expedir el producto son: expedición por camión cisterna, expedición por pantalán, expedición por oleoducto y expedición al aeropuerto.

A continuación se explica cómo el producto se suministra al cliente por cada uno de los sistemas antes señalados.

La expedición por camión cisterna empieza cuando el camión en cuestión llega a la entrada de la instalación de CLH. Al insertar la tarjeta que todos los transportistas llevan para entrar en las instalaciones el programa tiene ya previamente gestionado vía telemática todos los parámetros de la carga, como el producto o productos que va a retirar el camión en cuestión, la isleta de carga apropiada, datos del conductor, etc.

Los productos que pueden ser expedidos por cargadero son los siguientes: Gasolina 95, gasolina 98, gasóleo A, gasóleo B, gasóleo C y JET-A1.

El proceso de carga del camión cisterna en el cargadero consiste en el bombeo desde su tanque de almacenamiento del producto base así como, desde los depósitos de aditivos de calidad o fiscales, hacia el brazo de carga de cada isleta, dónde se mezcla con la proporción adecuada a la entrada del camión, consiguiendo así el producto final deseado.

Una vez el camión está cargado, pasa por la báscula para comprobar la cantidad de producto despachado es el adecuado, abriéndose la barrera para poder salir de la instalación.

Para la expedición por el cargadero de cada producto tenemos los equipos exclusivos para cada uno, que se compone del grupo motobomba que bombea desde el tanque de almacenamiento más el grupo de motobomba que inyecta el o los aditivos necesarios en cada uno de ellos. Además, para cada producto existen las bombas dedicadas al trasiego del producto en cuestión.

Se entiende por expedición por pantalán todo el producto que se sirve desde el embarcadero de la instalación, o sea, a buques y a la gabarra que da servicio al puerto correspondiente.

La expedición de producto por buque tanque se da muy pocas veces durante el año. Sólo se suministra producto ocasionalmente en verano para satisfacer la demanda de las Islas Baleares principalmente.

Por lo que respecta a la carga de gabarra, se produce de manera habitual a lo largo de todo el año, puesto que es para dar servicio a los barcos que atracan en el puerto y lo requieren. La gabarra puede suministrar IFO del 1% o del 4,5%, dependiendo de la demanda que puede haber en el puerto. Para la carga de la gabarra se emplea el equipo de bombeo correspondiente, según el producto que vaya a ser despachado.

En el proceso de expedición por oleoducto se suministra producto o productos por paquetes homogéneos sin separación entre ellos. Para este proceso, los equipos usados para bombear los productos son bombas de mucha potencia que operan a media tensión, que pueden trabajar en serie o en paralelo. Además, son necesarias unas bombas secundarias que actúan como booster para dar el caudal necesario a las principales para que puedan operar.

Existen otros equipos auxiliares para poder maniobrar el proceso correctamente como es la reinyección, las tomas de muestra, etc.

La expedición al aeropuerto se realiza para suministrar JET-A1. Se hace habitualmente durante todo el año, en función de las solicitudes que se tengan del aeropuerto.

Todos estos procesos que se ejecutan en las instalaciones necesitan de otros procesos complementarios para que puedan ser realizados satisfactoriamente. Por procesos

complementarios entendemos los siguientes: la unidad de recuperación de vapores para el control de emisiones de compuestos orgánicos volátiles resultantes del almacenamiento y distribución de gasolina, el tratamiento y control de efluentes que se trata de dos redes de aguas independientes, pluviales y fecales que desembocan directamente a la red de alcantarillado público, y las aguas hidrocarburadas y una red que no genera vertidos para la descarga de tanques y el sistema térmico para el calentamiento de la línea de IFO y sus tanques de almacenamiento , compuesto por dos calderas y un depósito de almacenamiento.

### 3.2. Descripción de los sistemas de bombeo

El esquema de bombeo general de la instalación de almacenamiento, para un solo combustible es el que se presenta a continuación, cada combustible presentará un esquema similar, variando el número de bombas y el número de brazos de bombeo. No se presenta en el mismo el bombeo de aditivos, que poseen su propio circuito y conectan directamente con el cargadero, para discriminar a qué camiones se les inyecta uno u otro.

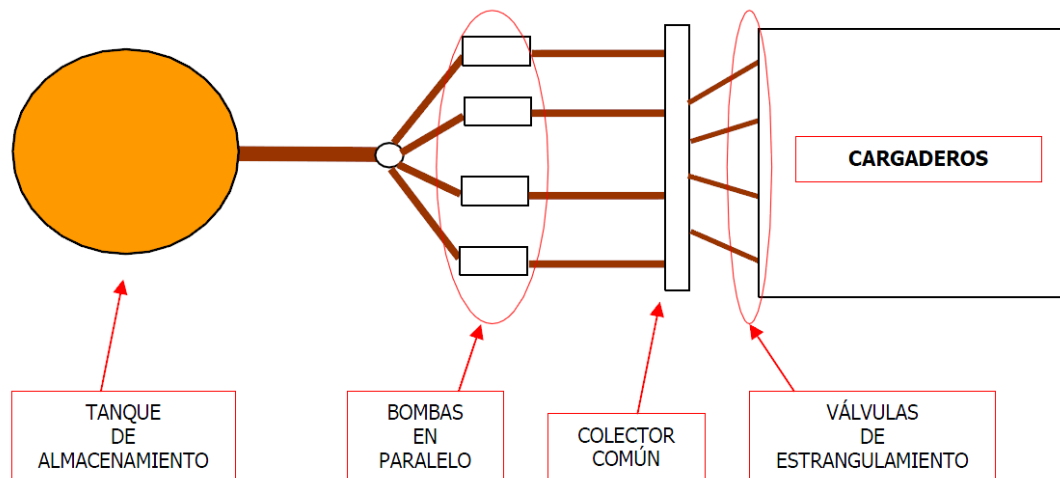


Figura 8. Sistema de carga de combustible a camiones



### 3.3. Descripción de los sistemas de iluminación

En las instalaciones de CLH se utilizan distintas clases de luminarias en función, principalmente, del tipo de recinto al que van destinadas. En los apartados siguientes se describe de manera detallada los sistemas de iluminación interior y exterior instalados.

#### Iluminación interior

La iluminación se divide por zona de instalación:

- Oficinas y laboratorios: Se corresponde principalmente con lámparas fluorescentes de 18-36W, varios downlights de 26 W y escasos halógenos de 50W.
- Almacenes y talleres: Se corresponde principalmente con lámparas fluorescentes de 36W.

Generalmente se mantienen encendidas de 08:00 h a 19:00 h, pudiendo ampliarse el horario en función de la zona.

#### Iluminación exterior

La iluminación exterior se divide por zonas de instalación:

- Viales zona cargadero: El cargadero de camiones cisterna donde se realiza la transferencia de producto de la instalación de almacenamiento al camión cisterna. En esta zona se produce la manipulación y conexión de isleta con el camión cisterna, programación de órdenes de carga lectora, etc. El acceso de clientes se produce a cualquier hora del día para realizar la carga de camiones cisterna. El alumbrado se corresponde con lámparas de halogenuros metálicos de 250W de potencia, que se distribuyen en 4 por cada isleta (2 por servicio) con protección ATEX puesto que la zona está clasificada como CLASE I ZONA 2, y por focos de 750W, los cuales no poseen protección puesto que se encuentran en la parte superior de la cubierta, no clasificada como área peligrosa.
- Alumbrado torres: el recinto cuenta con un número determinado de torres de alumbrado (dependiendo del tamaño de la instalación) mediante proyectores con potencias de 1kW y 250W de vapor de sodio, dependiendo de la zona a iluminar, que

dan servicio a los viales de circulación, tránsito de personal, camiones cisterna y demás vehículos.

- Alumbrado perimetral: Se realiza por medio de lámparas de 250W de halogenuros metálicos. Este tipo de luminarias son utilizadas tanto para alumbrado exterior como para alumbrado en el cargadero.

### **3.4. Evolución del consumo en las instalaciones de almacenamiento**

El consumo en las instalaciones de almacenamiento principalmente es eléctrico. El consumo mayoritario se produce en los sistemas de bombeo, en el cargadero y en iluminación.

En el presente apartado se analiza la evolución del consumo eléctrico en las instalaciones de almacenamiento de CLH, relacionándolo con la evolución de la actividad que se llevan en ellas. Cabe destacar que durante el periodo analizado ha existido un descenso de la actividad, el cual lleva asociado un descenso del consumo energético. Aunque evolucionan muy correlacionados, el descenso de consumo no es tan intenso.

Aunque globalmente el sistema se ha comportado como se ha descrito existen discrepancias si se analizan las instalaciones por separado.

Para no distorsionar los resultados de consumo sólo se han tenido en cuenta para este análisis las instalaciones de almacenamiento puro (en las que no se realiza ningún tipo de bombeo hacia el oleoducto).

La actividad que se contempla es la suma de las salidas a terceros, salidas por traslado y salidas por traspaso, considerando que en todas estas operaciones existe un aporte energético. Las instalaciones analizadas son: Albuxech, Alcázar, Alicante, Burgos, Gerona, Gijón, Ibiza, La Coruña, León, Mahón, Málaga, Mérida, Motril, Navarra, Salamanca, Sevilla, Son Banya, Tarragona, Vigo y Villaverde.

La tarea principal en la mayoría de las instalaciones de almacenamiento es la carga de camiones, que directamente tiene aparejada un consumo energético debido a los bombeos.

Además de los bombeos, existen unos consumos auxiliares en las factorías como ya se ha mencionado anteriormente. Estos consumos son los siguientes:

- Sistema de Generación de Aire Comprimido (en los casos que se cuente con válvulas camflex)
- Unidad de Recuperación de Vapores (URV)
- Tratamiento y control de efluentes (API)
- Sistema de Iluminación

En este periodo analizado se ha producido un descenso del consumo del 5%, como se puede ver en el gráfico y la tabla inferior (datos extraídos del informe “acumulado de movimientos mensuales” de la aplicación configuración y consolidación de balances).

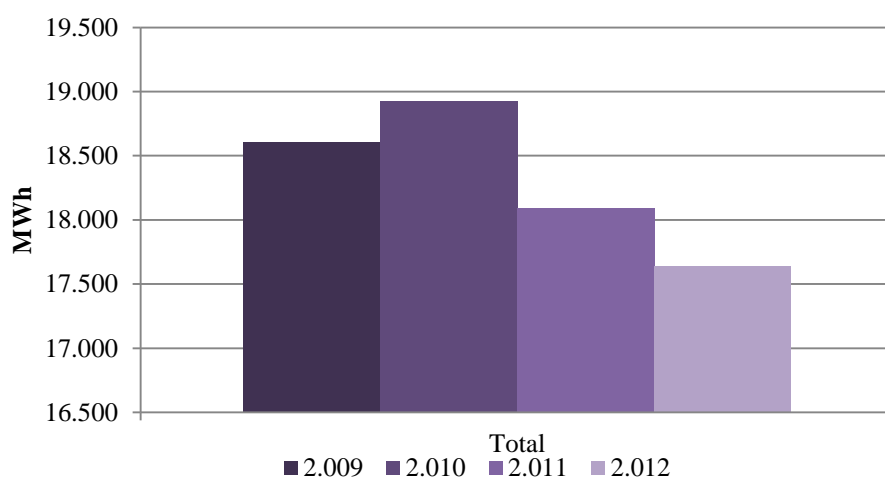


Figura 9. Gráfico del consumo en Instalaciones de almacenamiento en MWh

Periodo	Variación Consumo %
2009/2010	2%
2010/2011	-4%
2011/2012	-3%
2009/2012	-5%

Tabla 1. Variación en % del consumo anual

### 3.5. Evolución de la actividad de las instalaciones

Las salidas de las instalaciones se dividen en salidas a terceros que son las salidas realizadas por el cargadero, los trasposos, es decir, el cambio de operador en el producto y traslados que son el movimiento físico del producto vía oleoducto.

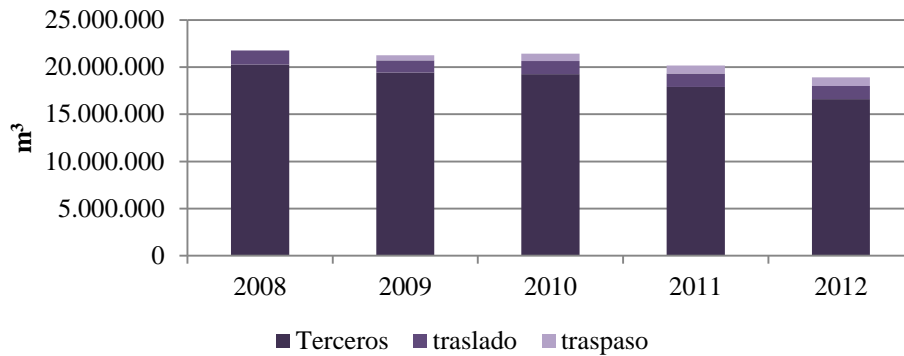


Figura 10. Gráfico de las salidas en m<sup>3</sup> en las instalaciones analizadas

Como se ve en el gráfico superior la actividad más importante en las instalaciones de almacenamiento analizadas son las salidas a terceros (carga de camiones cisterna), mientras que las otras tienen una influencia menor.

Dado su peso es importante ver la evolución de las salidas a terceros en un periodo amplio de tiempo:

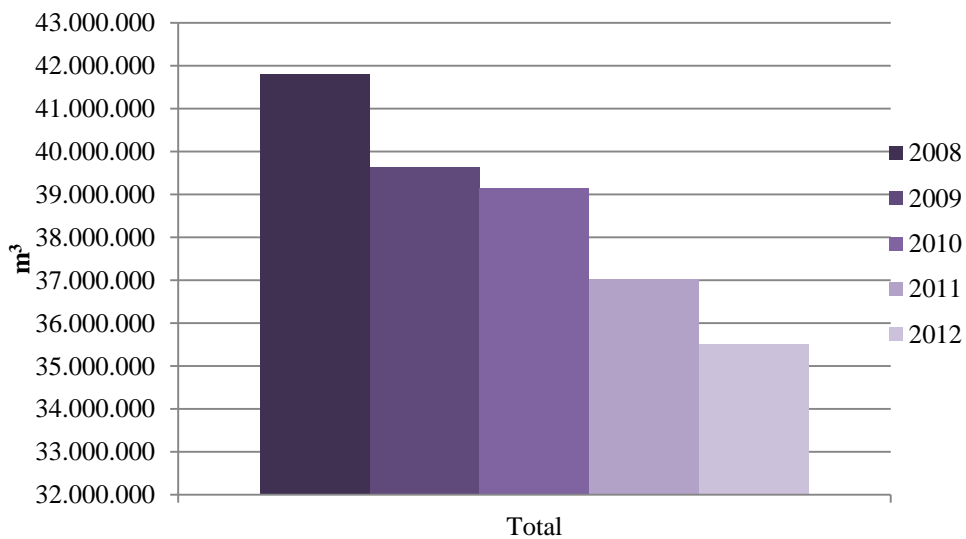


Figura 11. Gráfico de las salidas a terceros en m<sup>3</sup>

Desde el año 2008 hasta 2012 hay una caída del 15% en el global de la compañía.

Periodo	Variación Salidas terceros %
2008/2009	-5%
2009/2010	-1%
2010/2011	-5%
2011/2012	-4%
2008/2012	-15%

Tabla 2. Variación en % de las salidas a terceros

### 3.6. Análisis de la actividad en relación al consumo

Como se puede ver en los datos anteriores, las bajadas de actividad no redundan en descensos del consumo en la misma medida.

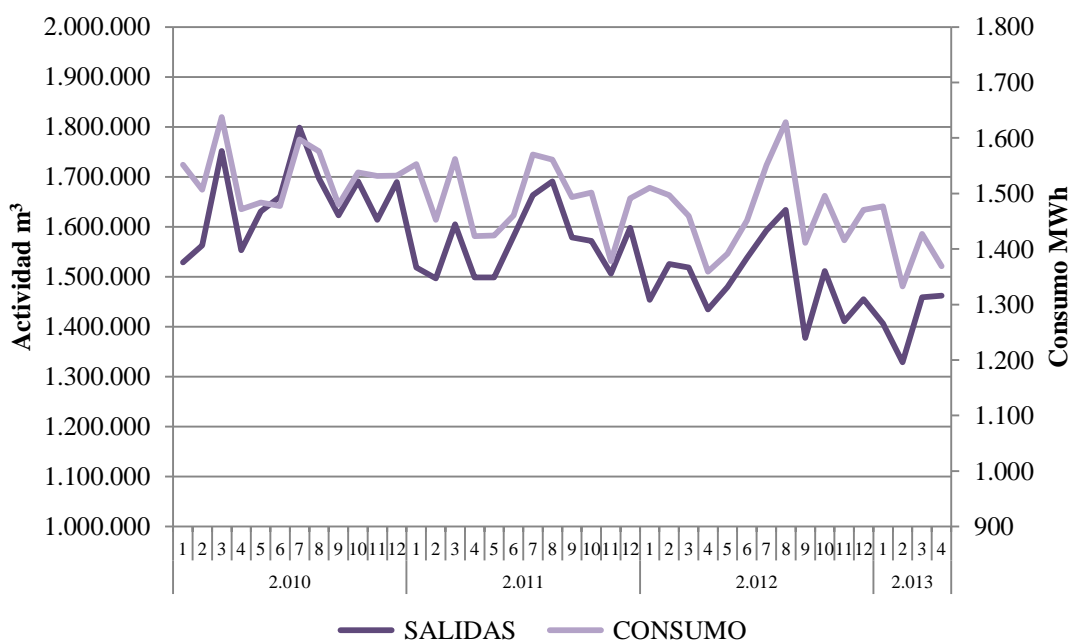


Figura 12. Gráfico evolución actividad-consumo

Si estudiamos cómo evolucionan mes a mes se puede ver que ambas magnitudes están estrechamente relacionadas, con un coeficiente de correlación en todo el periodo de aproximadamente de 0.78.

Aunque estén muy correlacionadas ambas magnitudes es importante ver como se relacionan con el ratio MWh/m<sup>3</sup>.

Periodo	Consumo MWh	Actividad m <sup>3</sup>	MWh/m <sup>3</sup>	Variación Consumo	Variación Actividad	Variación Ratio
2009	18.605	21.802.916	0,853341	-	-	-
2010	18.926	21.243.007	0,890969	2%	-3%	4%
2011	18.095	21.424.660	0,844604	-4%	1%	-5%
2012	17.642	20.166.967	0,874802	-3%	-6%	4%
2009/2012	-	-	-	5%	-8%	3%

Tabla 3. Relación entre actividad y consumo

El consumo no ha seguido anualmente las tendencias de la actividad, pero en el periodo 2009-2012 se ha producido un descenso del consumo acompañado con la actividad.

Los ratios de consumo se mantienen muy estables a lo largo del periodo analizado.

### 3.7. Análisis por instalación

El reparto de las salidas por instalación no es uniforme, y está lleno de estacionalidades, como se observa en el gráfico inferior:

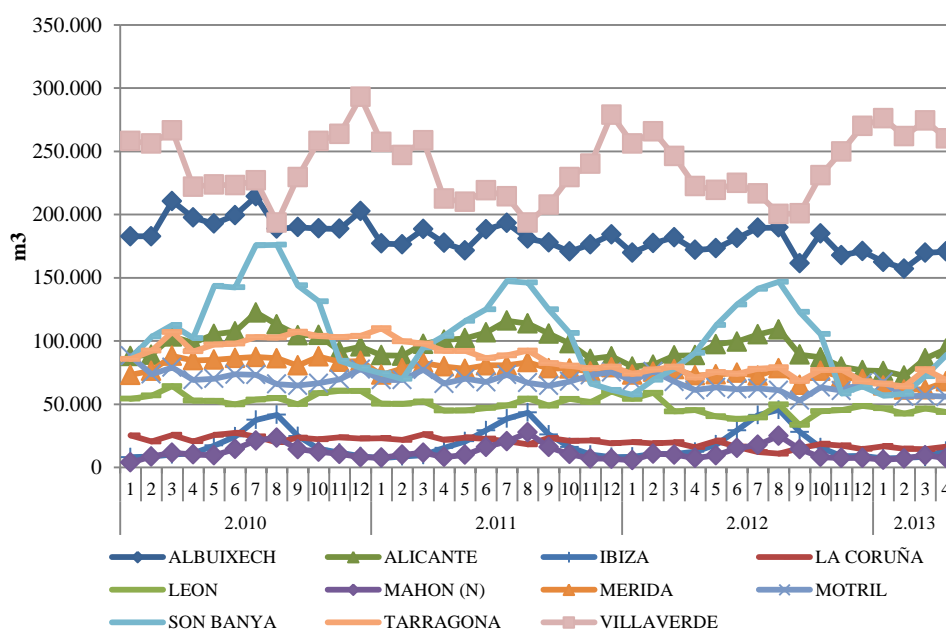


Figura 13. Gráfico salidas por instalación en m<sup>3</sup>

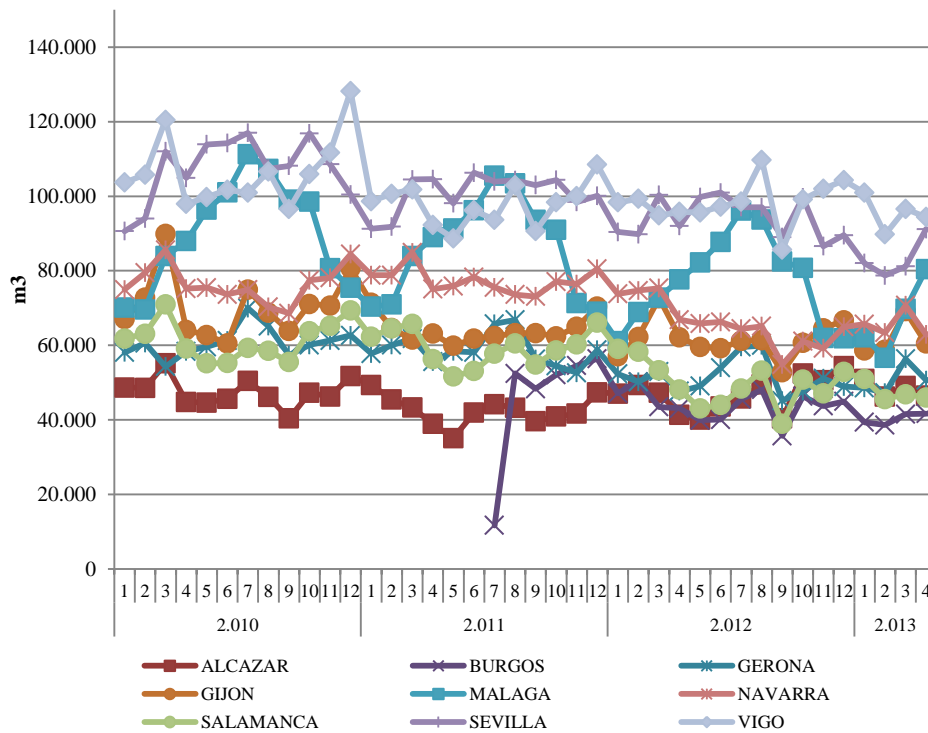


Figura 14. Gráfico salidas por instalación en m<sup>3</sup>

El mayor número de salidas de las instalaciones analizadas corresponde a la instalación de almacenamiento de Villaverde, seguida de la instalación de almacenamiento de Albuixech. En el caso de Villaverde se une una estacionalidad grande debido al consumo de Gasóleos B y C en los meses más fríos del año. En otro grupo están la mayoría de las instalaciones, con salidas entre 100.000 y 50.000 m<sup>3</sup> mensuales. Por otro lado están las instalaciones de las islas que presentan mucha estacionalidad, siendo los meses centrales del año los que asumen la mayoría de la actividad anual. En el caso de Son Banya sus salidas llegan a ser muy importantes en los meses de verano. Ibiza y Mahón tienen una actividad muy inferior.

Cabe destacar la instalación de Son Banya que tiene un consumo muy superior a las instalaciones que tienen actividad similar. Sin embargo, en la instalación de almacenamiento de Vigo observamos un consumo inferior a las instalaciones de su entorno de actividad.

### 3.8. Línea base energética de las instalaciones de almacenamiento

Se puede observar cómo aumenta el consumo de energía en función del aumento de la actividad. Considerando cada instalación independiente vemos que el consumo y su actividad están estrechamente relacionados.

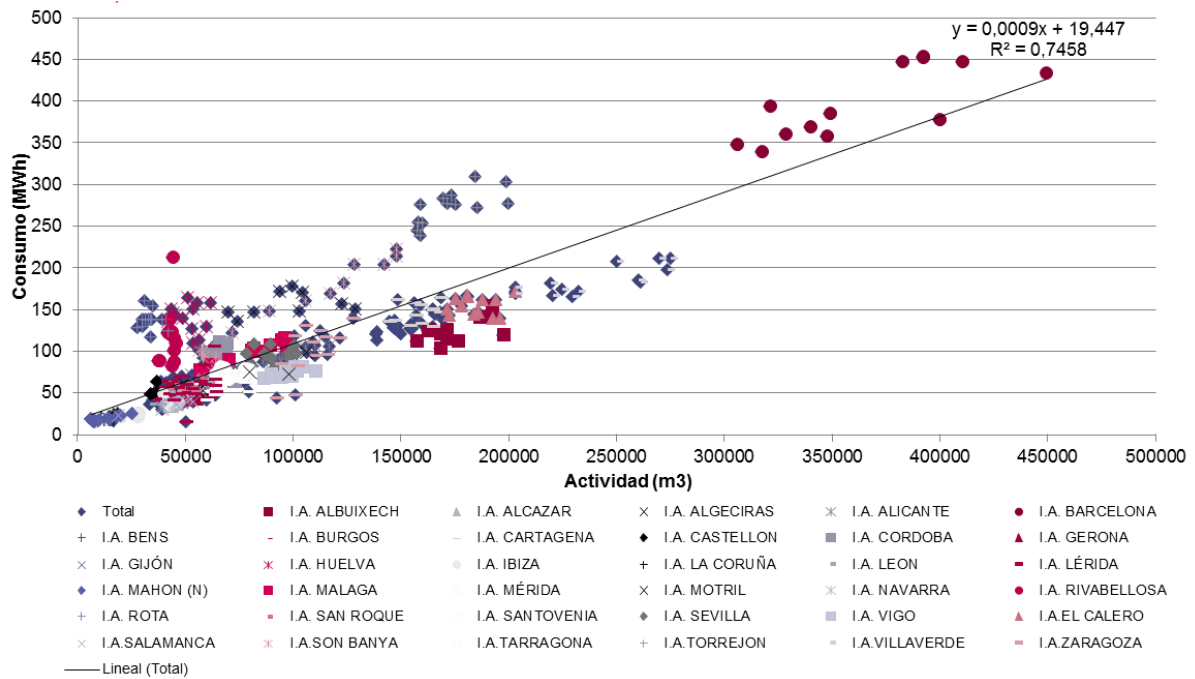


Figura 15. Gráfico Actividad en función del consumo

### 3.9. Indicador de desempeño energético de las instalaciones de almacenamiento

Los indicadores energéticos son ratios técnico-económicos, usados a niveles finales de consumo de energía, que relacionan el consumo de energía con un indicador de actividad físico [8].

Los indicadores de desempeño energético permiten el monitoreo y medición del desempeño energético de la compañía. Estos indicadores se han definido considerando que deben ser tanto cuantificables como apropiados a las actividades de la compañía.

Se han determinado los ratios de intensidad energética individuales por sistema, así como ratios globales de la planta, donde se considera la cantidad de productos bombeados y el consumo mensual por facturación. En estos últimos se tiene en cuenta tanto el consumo



directo por bombeo, cómo diferentes sistemas auxiliares de la planta (iluminación, sistema de generación de aire comprimido, etc.).

El seguimiento de los valores de estos indicadores permite a la compañía conocer la evolución de la eficiencia de la planta, con lo que se puede detectar anomalías y variaciones en la eficiencia de los sistemas. Se pueden implantar medios para observar desvíos, como por ejemplo, realizar un análisis de desviación para que al producirse una desviación se refleje en el sistema.

En el caso de las instalaciones de almacenamiento definir un ratio de eficiencia  $kWh/m^3$  mensual nos muestra la eficiencia relacionada con el consumo frente la actividad y nos refleja la eficiencia con respecto a la estacionalidad. En las islas es donde se produce este efecto y es más visible como se observa posteriormente.

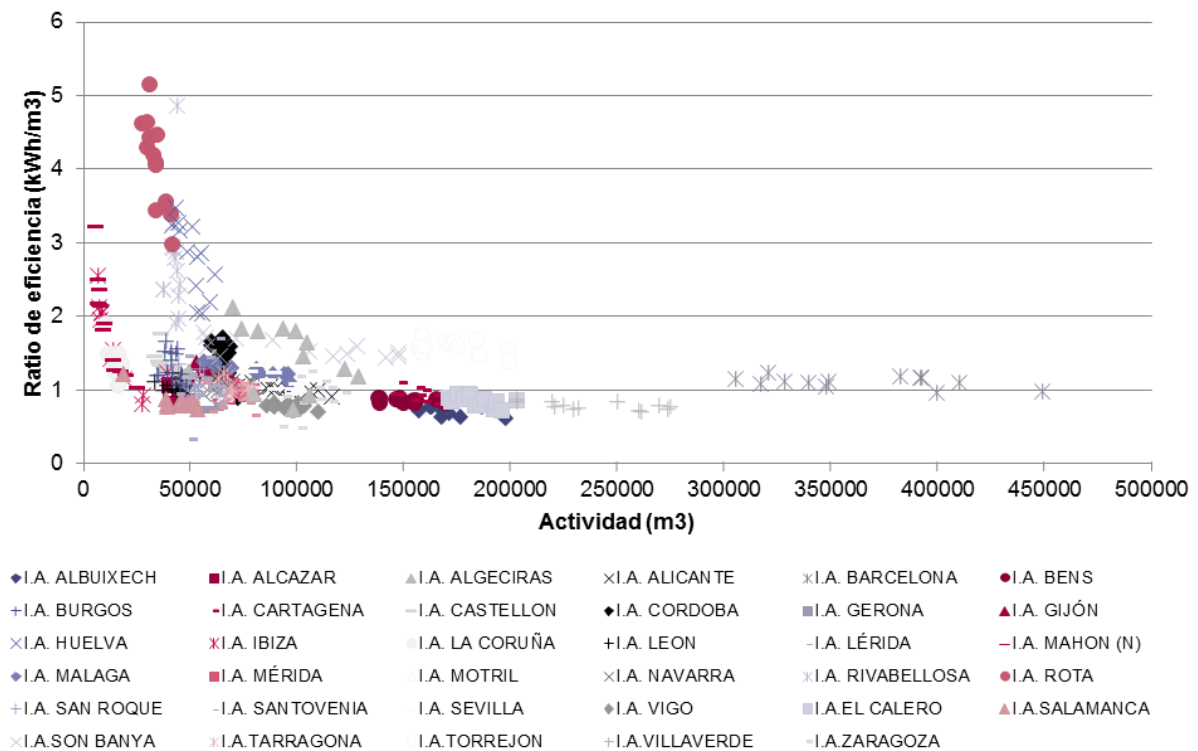


Figura 16. Gráfico Ratio de eficiencia energética

Si se analiza la evolución del consumo en función de la actividad en los últimos años se obtiene el siguiente gráfico:

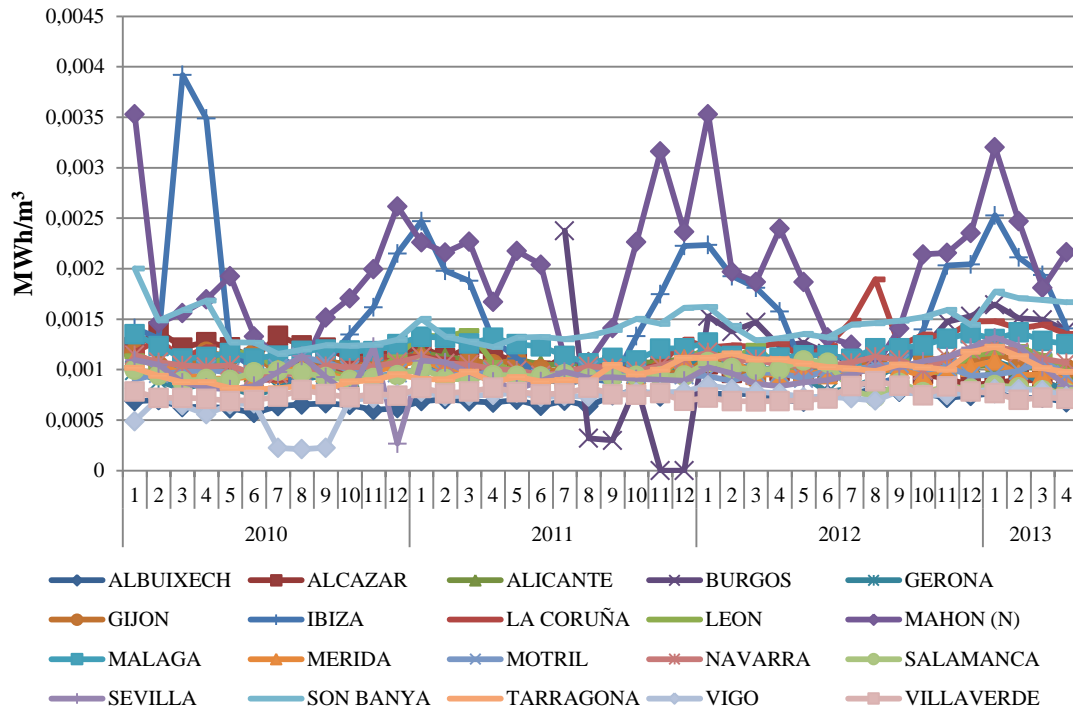


Figura 17. Gráfico ratios de eficiencia

Como se puede observar hay unas pocas instalaciones que se salen del patrón establecido. Estas instalaciones son las de las islas que en los meses de invierno se vuelven enormemente ineficientes debido a su baja actividad.

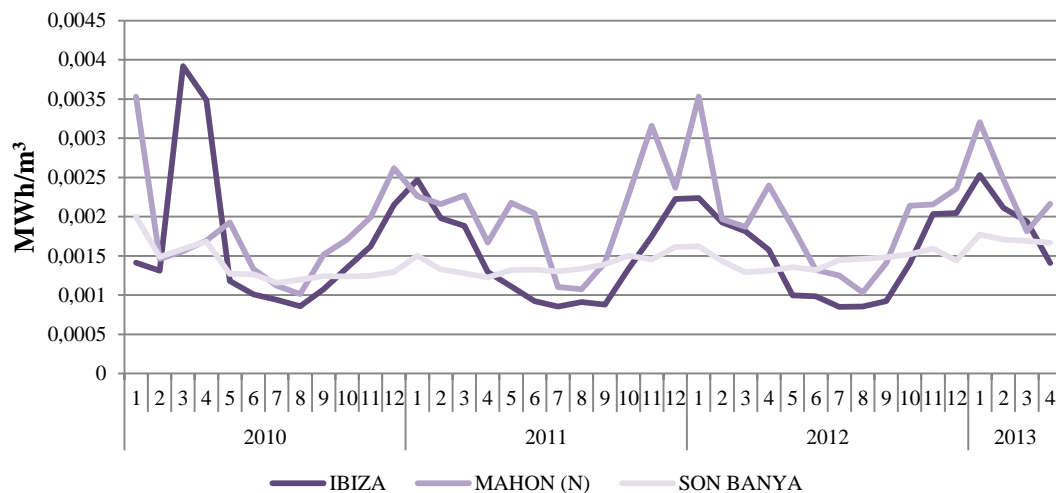


Figura 18. Gráfico Ratios de eficiencia Islas Baleares

Dentro de las instalaciones restantes se puede hacer una diferenciación, en función de su actividad.

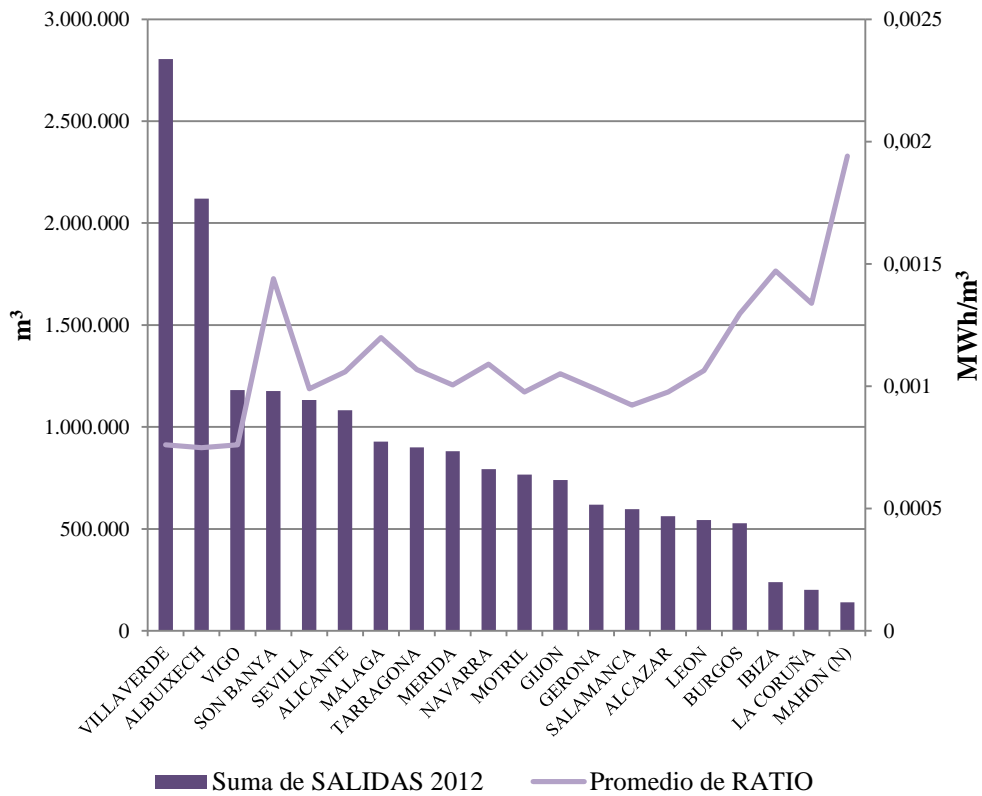


Figura 19. Gráfico salidas frente promedio de ratio eficiencia en 2012

Como se ve, Villaverde, Albuixech y Vigo tienen ratios inferiores, siendo estas las instalaciones que más actividad tienen. Descontando las instalaciones de las islas, el resto de instalaciones tienen ratios similares, aumentando sensiblemente en el caso de la instalación de almacenamiento de Burgos.

Además, a la vista del gráfico anterior, y como se podía deducir en el estudio de consumos de las instalaciones, se corrobora que en las instalaciones con menos actividad los consumos fijos penalizan en gran medida la eficiencia de las instalaciones.

Como ejemplo ilustrativo esta la instalación de Albuixech, que es una de las que ha sufrido una mayor caída de la actividad.

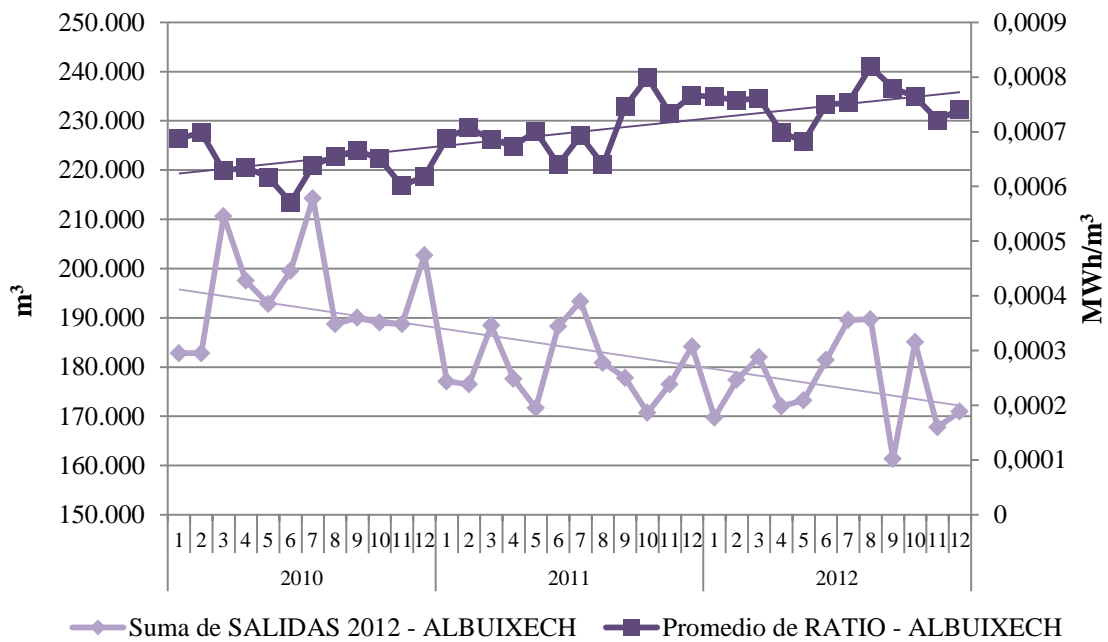


Figura 20. Gráfico evolución salidas y ratio de eficiencia en Albuixech

Como se puede ver mientras que la actividad cae, el ratio aumenta, demostrando, al igual que en las instalaciones de las islas, que un descenso de la actividad provoca una disminución de su eficiencia.

#### 4. OLEODUCTOS

La red de oleoductos de CLH conecta las ocho refinerías que existen en la península con las instalaciones de almacenamiento situadas en las áreas de mayor consumo, las terminales marítimas y algunos de los principales aeropuertos, y constituye el principal medio de transporte de la compañía.

Esta red, que consta de más de 4.000 kilómetros de longitud, dispone de un sofisticado sistema de control, desde el punto de vista operativo y de seguridad, conectado vía satélite que permite a tiempos de actualización de la información de 1 a 5 segundos como máximo y con una fiabilidad del 99,66% [7].

Por la red de oleoductos se transportan anualmente 35 millones de m<sup>3</sup> de combustibles lo que evita la emisión a la atmósfera de más de 360.000 toneladas de CO<sub>2</sub> anuales que serían las emisiones equivalentes si el transporte se realizara mediante camiones cisternas.

Esta compleja red incluye 36 estaciones de bombeo que suministran la presión necesaria para el desplazamiento de los productos a través de los oleoductos. La red cuenta también con 378 válvulas de corte, de las cuales 181 están telemandadas a lo largo de las tuberías, lo que facilita el aislamiento de los tramos en caso de necesidad [9].

Desde el Dispatching o Centro de Control se operan y controlan a distancia los equipos y parámetros de estaciones de bombeo, terminales de recepción, válvulas de seccionamiento de las líneas y permite realizar el seguimiento de los paquetes de producto, el control de seguridad, etc. Este moderno centro de control está operativo las 24 horas del día del año.

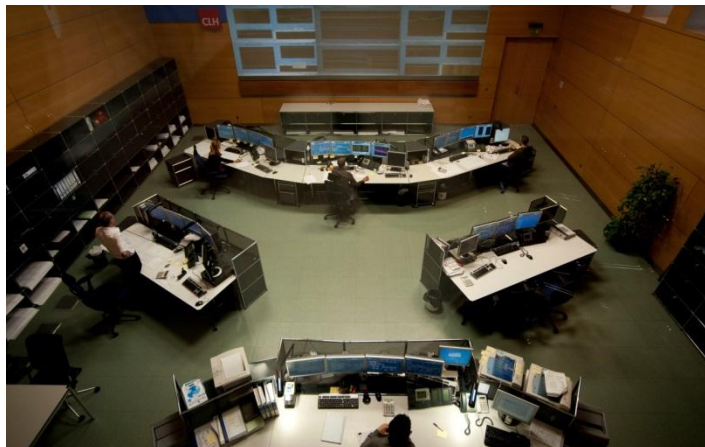


Figura 21. Dispatching o Centro de Control [7]

## 4.1. Descripción de los oleoductos

Un oleoducto es una canalización de acero enterrada que transporta y distribuye productos petrolíferos a diferentes partes de nuestro país con el fin de garantizar el suministro de los mismos. Los oleoductos están declarados de utilidad pública y se encuentran amparados por una legislación que recoge las obligaciones y servidumbres requeridas para su protección y mantenimiento de su integridad. El producto circula desde una primera estación de bombeo situada en la cabeza de la instalación, y que está normalmente unida a los tanques de una refinería, hasta los distintos puntos terminales, donde se recoge el producto en depósitos. En nuestro caso disponemos de una red de oleoductos que se compone de oleoductos interconectados entre sí, cuya misión es el transporte de productos, que posteriormente analizaremos por tramos de oleoducto [10].

El oleoducto se divide básicamente en estaciones de bombeo y terminales. Las uniones entre los diferentes puntos de la instalación se realizan por medio de tuberías.

A continuación, se explica de forma descriptiva estos componentes, así como las bombas que componen las estaciones de bombeo, además de cómo se controla y gestiona toda la red de oleoductos de la compañía con el fin de asegurar su correcto funcionamiento y supervisar en todo momento el transporte de combustibles.

### 4.1.1. Descripción de la estación de bombeo

Las estaciones de bombeo, además de otros elementos propios de éste tipo de instalaciones, como filtros, separadores, válvulas de seguridad, etc., constan de los siguientes equipos:

Grupo auxiliar de bombeo: está formado por varias bombas de tipo booster asociadas en paralelo. El número de bombas que en cada momento estén activadas va a depender del caudal que se necesite en dicho momento.

Grupo principal de bombeo: está formado por un cierto número de bombas asociadas en serie. El número de bombas que funcionan simultáneamente dependerá de la presión de salida necesaria para transportar el combustible a través del oleoducto.

Válvula de regulación del caudal de las bombas principales: están situadas en serie con las bombas principales en la salida de la estación y su objetivo es permitir bombear a distintos caudales desperdiciando energía.

Válvulas de seguridad: están situadas posteriormente a la válvula de regulación. Está tarada a una presión máxima acorde con las características del tubo del oleoducto. El disparo de estas válvulas puede provocar la parada automática de alguna de las bombas.

Las estaciones de bombeo se localizan en la cabecera del oleoducto. Sin embargo, a lo largo de la red de oleoductos existen otras estaciones de bombeo con la misión de aumentar la presión del fluido transportado, para compensar las pérdidas producidas en los tramos de oleoducto anteriores.



Figura 22. Cabecera del oleoducto [7]

#### 4.1.2. Características de las bombas centrífugas

En sentido general entendemos las bombas como máquinas destinadas a impulsar fluidos por canalizaciones o tuberías.

El trabajo que desarrollan consiste en comunicar al líquido una energía de presión, al hacerla pasar desde un estado de baja presión en la aspiración o entrada a un punto de alta presión en la descarga [11].

Dentro de los diversos tipos de bombas cobran mayor importancia las bombas centrífugas, por ser las que comúnmente se utilizan en el transporte por oleoducto. Por ello vamos a resaltar sus características más importantes.

Las bombas centrífugas proporcionan una energía de presión al líquido a bombear, por la fuerza centrífuga que genera la rotación de una rueda provista de álabes.



Figura 23. Componentes de la bomba centrífuga [12]

Como se observa en la figura 22, el líquido que entra por el centro del impulsor es recogido por los álabes o impulsores. A causa de la fuerza centrífuga las partículas del fluido tienden a separarse del eje para, al final, debido a la curva de los álabes, ser proyectadas contra la voluta envolvente.

El creciente aumento de la sección de ésta hace que la velocidad se reduzca progresivamente, transformándose gran parte de esta energía cinética en energía potencial o energía de presión. Este cambio de energía es el resultado de la combinación de dos movimientos. Por un lado el impulsor en su rotación confiere al líquido un movimiento con una componente radial, mientras que por las tendencias al líquido a seguir al impulsor aparece



una componente tangencial. La resultante de estas dos componentes representará la velocidad absoluta del líquido.

#### 4.1.2.1. Curvas características de una bomba

Las características básicas de funcionamiento de una bomba para diferentes condiciones de bombeo se representan en unas curvas dadas por el fabricante, en las que se relacionan sus parámetros principales [13]:

- Caudal
- Altura manométrica
- Rendimiento
- Potencia absorbida
- Altura neta positiva de aspiración requerida (NPSHr)

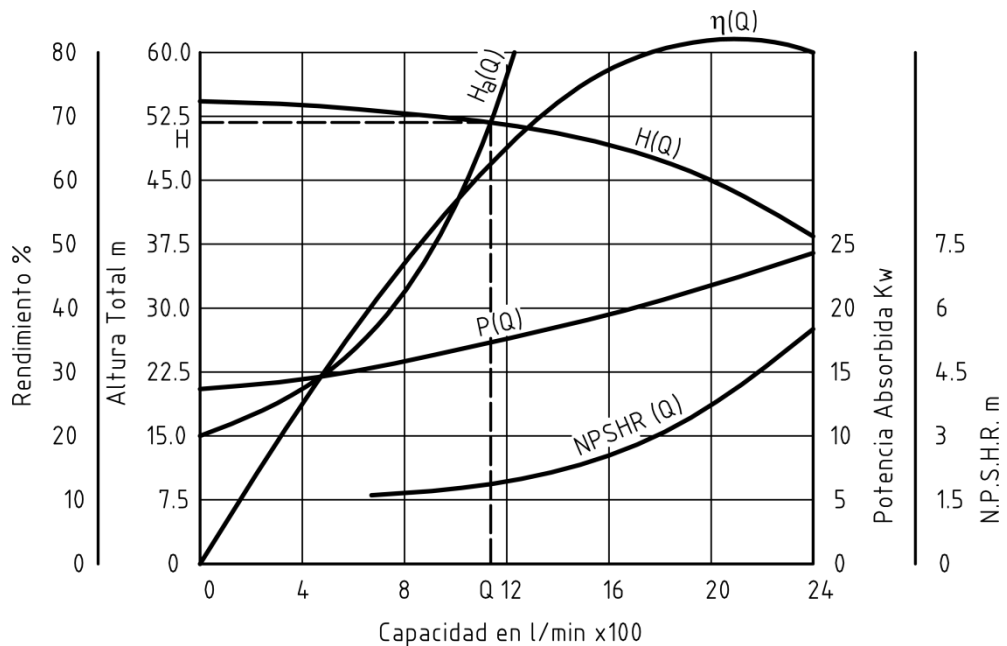


Figura 24. Curvas características de la bomba [14]

Estas curvas, indicadas en la Figura 24, se calculan en fábrica con los resultados que se obtienen al ir variando el caudal desde cero hasta capacidad máxima, manteniendo la velocidad constante.

Para un diámetro de impulsor y una velocidad determinada, la curva Q-H (caudal-altura) indica la altura manométrica que desarrolla la bomba en cada punto de caudal. En esta curva se puede observar como la altura máxima la consigue la bomba para  $Q = 0$ , y cómo la altura

manométrica va disminuyendo según el caudal aumenta. Esto se debe a las pérdidas por choque y por frotamiento que son proporcionales al cuadrado de la velocidad, por lo que varían de forma parabólica en función del caudal. Así, esta curva viene definida por una función de la forma:

$$Hm = aQ^2 + bQ + c$$

En muchos casos estas curvas están determinadas para agua, por lo que para otros productos habrá que corregirlas, especialmente cuando la viscosidad sea muy diferente.

El rendimiento lógicamente es cero a caudal y altura nulos, aumentando su curva progresivamente hasta alcanzar un punto máximo para un cierto caudal y altura, que representará el punto de máxima eficiencia, disminuyendo a continuación.

La potencia absorbida varía en relación con el caudal, con la altura desarrollada por la bomba y, específicamente, con el rendimiento. Según se observa en la Figura 24, la potencia aumenta con los incrementos de caudal.

La curva de Net Pressure Suction Head (NPSHr) sólo se suele incluir en aquellos casos en que se considera que las condiciones de aspiración puedan ser críticas, y las suministra el fabricante bajo petición.

#### 4.1.2.2. *Curva del sistema*

El sistema de tuberías integrado con la operación de una bomba centrífuga está sometido a una serie de restricciones, como la diferencia de cotas geométricas a vencer, la diferencia de presiones residuales y, sobre todo, las pérdidas de carga que se van a producir.

A caudal cero, al no haber movimiento, no hay pérdidas por rozamiento, pero sí será necesario considerar una altura de elevación para vencer la diferencia de cotas y la diferencia de presiones entre la entrada y la salida del sistema, por lo que siempre habrá que considerar para  $Q = 0$  una cantidad constante como altura de elevación.

A partir del momento en el que haya flujo, tanto al tubería como los equipos insertados en ella van a estar sometidos a unas pérdidas de carga proporcionales al cuadrado de la velocidad, por lo cual, tomando ambas consideraciones, podemos trazar una curva que denominaremos curva del sistema.

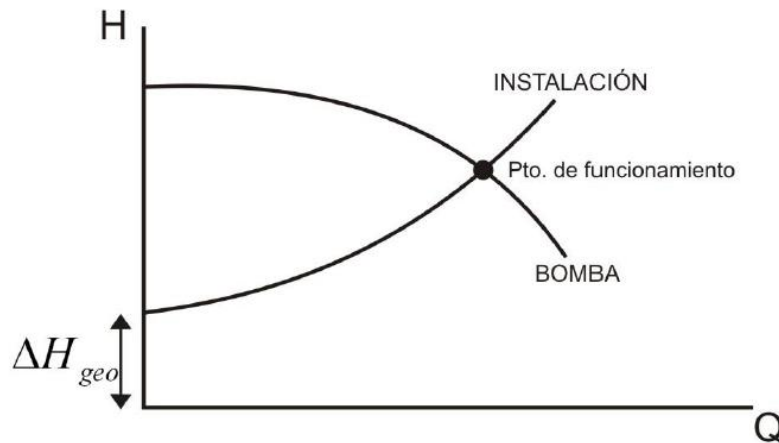


Figura 25. Curvas características del sistema [15]

#### 4.1.2.3. Punto de funcionamiento

Una vez definida la curva del sistema que representa sus necesidades para cualquier capacidad de bombeo, posicionando sobre ella la curva característica Q/H de la bomba, podemos definir el punto de intersección de ambas curvas como el punto de funcionamiento del sistema. Este punto nos permitirá conocer cuál será la altura manométrica con que vamos a trabajar para un caudal determinado.

Cuando se vaya a trabajar con bombas en serie o paralelo, habrá que definir la curva correspondiente a esa configuración y superponerla sobre la curva del sistema para definir el punto de funcionamiento. Igualmente habrá diferentes curvas del sistema para las distintas calidades o viscosidades de los productos a transportar.

#### 4.1.2.4. Potencia absorbida

A la potencia teórica que transmite la bomba al líquido bombeado se le denomina potencia hidráulica y está relacionada con el caudal, la altura manométrica y el peso específico del líquido.

Sin embargo, en la práctica el líquido en el interior de la bomba está sometido a unos rozamientos internos en los álabes, la carcasa, etc., de forma que la potencia que es necesario aplicar al eje, para conseguir su funcionamiento en unas ciertas condiciones, será mayor al estar afectada por el que se denomina rendimiento hidráulico.

Dicho rendimiento hidráulico es debido a pérdidas hidráulicas, a la potencia de disco, a pérdidas por fugas, a pérdidas mecánicas, etc. La potencia absorbida por la bomba se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P_a = \frac{Q \cdot H \cdot d}{270 \cdot \eta_h}$$

Dónde:

$P_a$  es la potencia absorbida en CV.

$Q$  es el caudal en  $m^3/h$ .

$H$  es la altura manométrica en  $m.c.l.$

$d$  es el peso específico.

$\eta_h$  es el rendimiento hidráulico.

Si la unidad motriz es un motor eléctrico como es nuestro caso, para calcular la potencia eléctrica hay que corregir la potencia anterior con el rendimiento debido a las pérdidas internas del motor.

$$P_e = 0,746 \cdot \frac{P_a}{\eta_e}$$

Dónde:

$P_e$  es la potencia eléctrica demandada en kW.

$\eta_e$  es el rendimiento eléctrico (aproximadamente 0,95).

#### 4.1.2.5. *Acoplamiento de bombas*

Es necesario considerar para cada una de las bombas que aparecen en el oleoducto la curva característica altura – caudal proporcionada por el fabricante. Esta curva nos dice el salto que es capaz de producir la bomba, cuando está funcionando a un determinado caudal. Se considera que esta curva es independiente del producto que se está bombeando en cada instante [16].

Normalmente las bombas booster se encuentran asociadas en paralelo, por lo tanto el caudal de salida es el caudal emitido por una de ellas por el número de bombas asociadas en paralelo en funcionamiento.

Sin embargo, las bombas principales se encuentran en nuestro sistema generalmente asociadas en serie (solamente en el tramo de Zaragoza existen dos bobas diesel asociadas en paralelo a la principal), por lo que se suman las alturas de cada bomba en funcionamiento. A través de la densidad del producto y de la presión de aspiración se obtiene la presión de salida. Si ésta superase el valor de la seguridad, la diferencia habrá que hacerla caer mediante válvulas de control, ocasionando pérdidas de energía.

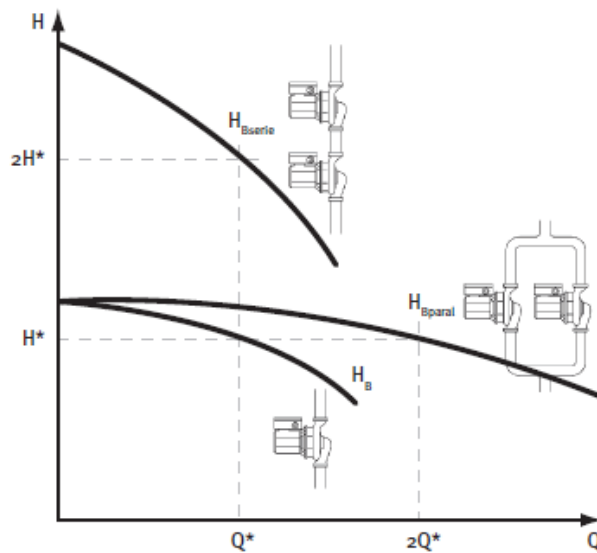


Figura 26. Curva característica altura – caudal [17]

### Acoplamiento en serie

En este tipo de acoplamiento tanto los colectores de aspiración como de impulsión van conectados a la misma tubería. De esta forma, la presión de impulsión de la primera bomba pasa directamente a la aspiración de la segunda, donde vuelve a experimentar un aumento, incrementándose sucesivamente en cada grupo de bombeo.

El acoplamiento en serie se emplea cuando se desea aumentar la altura manométrica o presión de salida de la estación.

Para evitar que ocurra una recirculación del producto, es decir, que la presión de impulsión de una bomba pase a su misma aspiración, se intercalan válvulas de retención entre los colectores de entrada y salida de cada grupo.

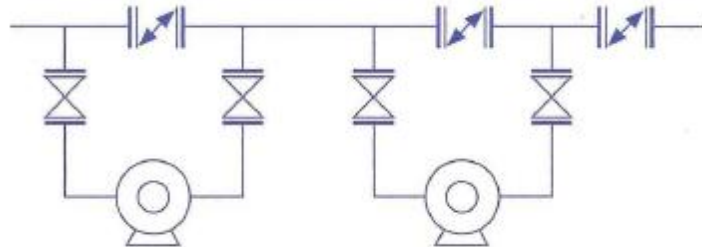


Figura 27. Acoplamiento de bombas en serie [10]

Según vemos en la Figura 28, en un acoplamiento de bombas en serie, para cada valor de caudal, las alturas manométricas de cada bomba se suman, obteniéndose una curva resultante de acoplamiento.

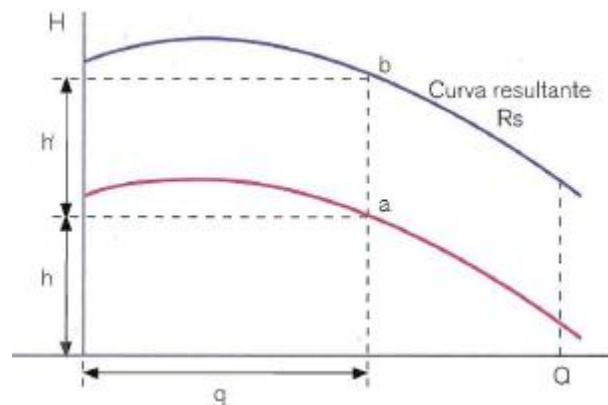


Figura 28. Curvas de bombas en serie [10]

En una instalación calculada para un cierto número de bombas en serie, arrancar más bombas de las previstas supone una mayor presión de descarga y, por consiguiente, un mayor caudal en el sistema. Este aumento de caudal supone un incremento de la potencia absorbida por cada bomba, por lo que pueden sobrecargarse los motores.

#### Acoplamiento en paralelo

En este tipo de acoplamiento todas las tuberías de aspiración van conectadas a un colector, mientras que las de impulsión descargan sobre un colector diferente.

Este tipo de acoplamiento se lleva a cabo en las estaciones en que aumentos posibles de demanda hacen necesario aumentar el caudal.

En un acoplamiento de bombas en paralelo, para un mismo valor de la altura manométrica, los caudales de cada bomba se suman. Si en un sistema calculado para un determinado número de bombas en paralelo se arrancan más bombas de las previstas no ocurre nada, pero si se disminuye el número de bombas en funcionamiento el caudal del sistema se distribuirá entre las restantes, aumentando instantáneamente la potencia absorbida y pudiendo como consecuencia sobrecargar los motores.

El acoplamiento de bombas en paralelo es más problemático y su control más crítico que el de las bombas en serie, puesto que una bomba puede sobrecargar a otra. Esto ocurre especialmente si las curvas de las bombas son planas, en cuyo caso la segunda bomba en arrancar puede tener problemas para coger la carga, sobrecargándose la primera y trabajando la segunda con caudales mínimos. Por ello, es conveniente que las bombas que vayan a trabajar en paralelo tengan curvas idénticas y con una inclinación acusada.

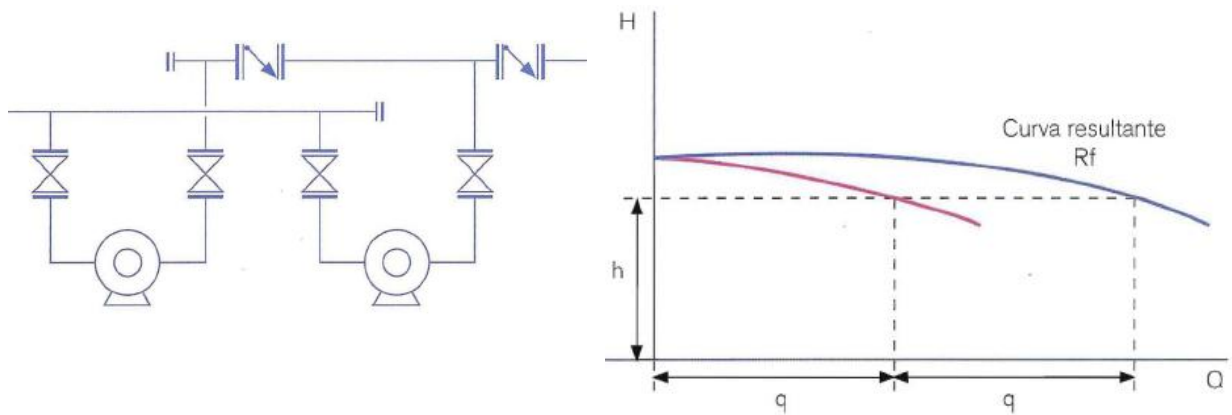


Figura 29. Curvas de dos bombas acopladas en paralelo [10]

#### 4.1.3. Descripción del tubo

La comunicación entre refinería y terminales se realiza a través de un tubo. Debido entre otras cosas a la rugosidad del tubo, se producirán en él unas caídas de presión que pueden llegar a ser muy importantes debido a la longitud de éstos.



Figura 30. Tubería del oleoducto [7]

#### 4.1.4. Identificación de un oleoducto

El oleoducto discurre enterrado a lo largo de todo su trazado, utilizándose para su localización aproximada hitos o postes de señalización en la superficie del terreno. Estos postes se encuentran en los cruces de caminos, carreteras, ferrocarril y muchos otros puntos a lo largo de su recorrido.

Los postes de señalización llevan una referencia de longitud con las siglas P.K. (punto kilométrico) y un teléfono de contacto 24 horas con el Centro de Control de la compañía CLH. Estos postes no indican la profundidad o el número de tuberías que discurren en la zona ni la situación exacta de las mismas. El oleoducto no tiene por qué seguir necesariamente un trazado recto entre dos hitos consecutivos.



Figura 31. Hitos del oleoducto [7]



#### *4.1.5. Secuencias de bombeo*

Se debe considerar que los distintos productos se introducen uno tras otro en el conducto produciéndose una continuidad. Cada producto introducido en el oleoducto constituye lo que se denomina un paquete [17].

En el transcurso del recorrido de dos paquetes contiguos, se produce una difusión de uno sobre otro. Dicha difusión se designa como interfase.

La longitud de una interfase depende del caudal medio (a mayor caudal, menor interfase), de las viscosidades de los dos productos (a mayor viscosidad, mayor interfase) y de la longitud recorrida de la interfase (a mayor distancia, mayor interfase).

Debido a que se realiza una planificación previa, y que los volúmenes involucrados en una interfase son pequeños en comparación con los paquetes que se envían y que se dirigen a unos tanques de almacenamiento a la llegada de la instalación, no se tiene en cuenta en el estudio dicha interfase.

#### *4.1.6. DRA (Drag Reducer Additive)*

Hoy en día, se están utilizando polímeros de larga cadena como agentes reductores de la resistencia al avance que al incorporarse al producto modifica las propiedades de éste, de tal forma que disminuye la densidad del mismo [18].

Por otro lado, hay que tener en cuenta que el aditivo no mantiene sus propiedades inalterables con el tiempo, tras mezclarse con el producto en los puntos de inyección, y a medida que éste viaja por el oleoducto mezclado con el producto, va experimentando una degradación progresiva. Por lo tanto, se debe inyectar a lo largo de los tramos de los oleoductos.

En el caso particular de que el producto circule a través del oleoducto sea gasolina de aviación (JET-A1), no se inyecta polímero, puesto que la composición de dichos productos no debe ser modificada, por exigencias de las compañías aéreas.

## **4.2. Control de operaciones en los oleoductos**

### *4.2.1. Flujo de datos*

El control de la red conlleva un flujo de datos de más de 70.000 señales que proporciona la amplia instrumentación de campo: presiones, caudales, temperaturas, densidades, niveles de tanques, estado de válvulas y equipos, controles, etc. La compañía dispone en el propio centro de control un almacenamiento histórico de estos datos que asegura la disponibilidad de la información durante un mínimo de cinco años. Esta información también se traslada a los sistemas generales de la compañía para su utilización desde otras aplicaciones y usuarios.

### *4.2.2. Programación del transporte*

En una red de oleoductos como la de CLH es fundamental una programación de transporte de productos que concilie las disponibilidades en refinerías, las necesidades de abastecimiento y la capacidad de transporte, con criterios de optimización de consumos energéticos y calidad de los productos. De esta labor se encarga la unidad de Programación de Oleoductos, dependiente de la Dirección General Comercial, que con ayuda de modernas y sofisticadas herramientas de programación logística emite los programas de bombeo que pasan a la ejecución del Centro de Control [19].

### *4.2.3. Centros de explotación de oleoductos*

Como apoyo a la actividad del Centro de Control se dispone de seis centros de Explotación de Oleoductos, estratégicamente ubicados en puntos de la red, con personal disponible las 24 horas del día para atender los requerimientos de los operadores del Centro de Control. Periódicamente se recorre el trazado con patrulleras a pie y se realizan inspecciones aéreas a baja altura para comprobar que no ha habido ningún tipo de variación del terreno, ni actuación que pueda perjudicar el estado del oleoducto. CLH también inspecciona internamente las tuberías con equipos especiales para comprobar su perfecto estado.

### 4.3. Línea base energética de red de oleoductos

En el presente apartado se analiza la evolución del consumo eléctrico en los distintos tramos de oleoductos de CLH, relacionándolo con actividad que se transporta por kilómetro recorrido. Cabe destacar que durante el periodo analizado ha existido un descenso de la actividad, que lleva aparejado un descenso del consumo energético. Al dividir el consumo en tramos existe la posibilidad de compararlos, identificando y cuantificando la influencia de sus variaciones en el total. Existe la posibilidad de comparar los flujos con una eficiencia promedio de un determinado periodo, eliminando la influencia de los kilómetros.

En el siguiente análisis se ha analizado flujos de producto para el cálculo del consumo considerando la estación o estaciones de bombeo de las que depende el transporte a través de tramos del oleoducto.

La tendencia del consumo en cada tramo de la red de oleoductos con respecto a la cantidad de producto transportado en relación a los kilómetros recorridos se puede observar en la siguiente gráfica:

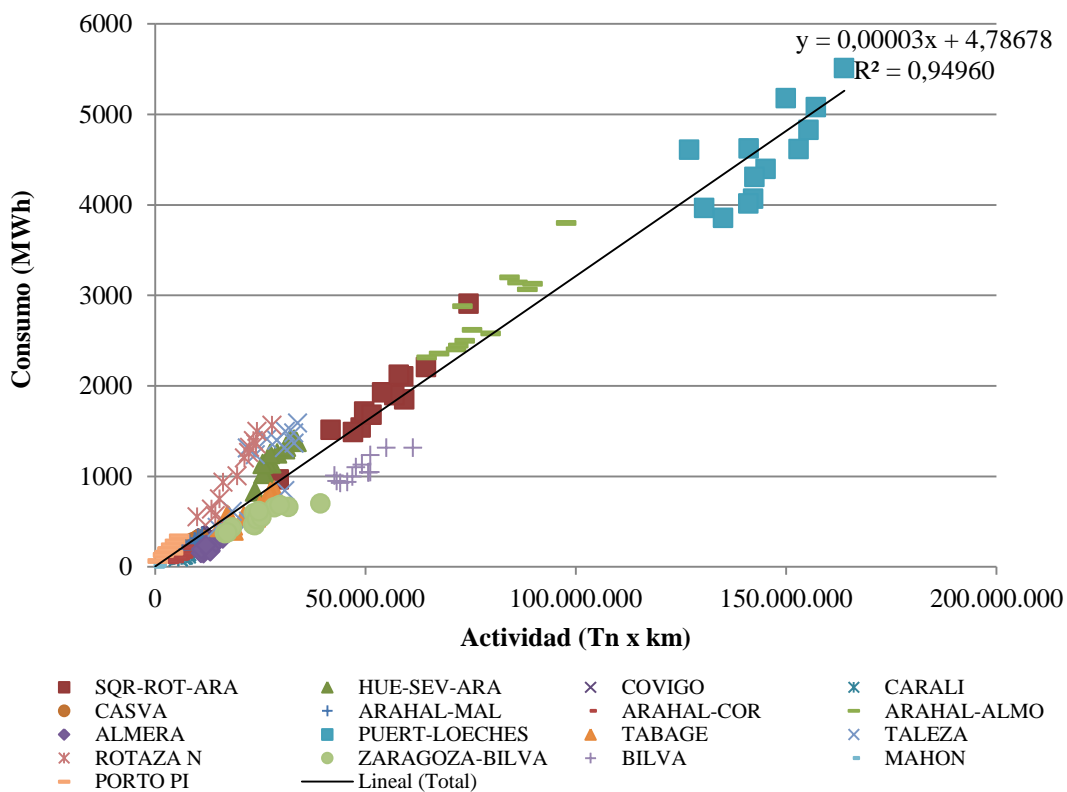


Figura 32. Gráfico consumo frente a la actividad en los tramos de oleoductos

Para analizar el rendimiento energético, se ha tenido en cuenta la línea base energética que representa el comportamiento energético actual de los oleoductos. Se ha obtenido la tendencia actual y evolución del consumo frente a la actividad. Si observamos dos años consecutivos, nos permite medir la mejora de eficiencia con respecto a las acciones de mejora tomadas:

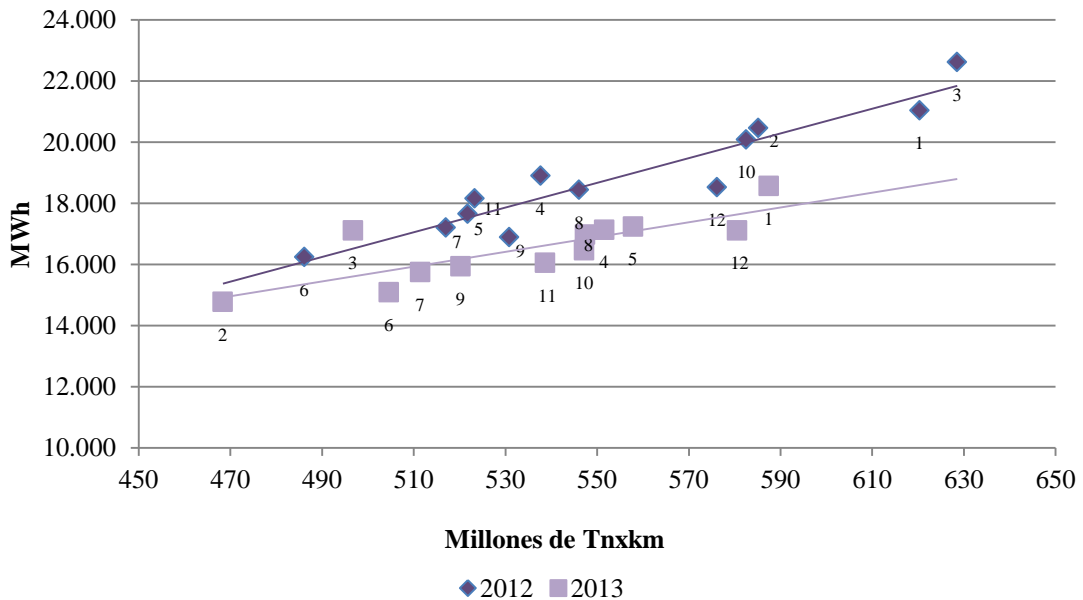


Figura 33. Gráfico evolución anual del consumo frente a la actividad por km recorridos

#### 4.4. Indicador de desempeño energético de los oleoductos

Tal y como se ha mencionado en apartados anteriores, los indicadores de desempeño energético permiten el monitoreo y medición del desempeño energético de la compañía. Estos indicadores se han definido considerando que deben ser tanto cuantificables como apropiados a las actividades de la compañía.

Se ha realizado un análisis de cómo varía el consumo frente a la actividad utilizando el siguiente ratio en el caso del análisis de la red de oleoductos:

$$\text{Ratio Intensidad Energética} = \frac{\text{kWh eléctrico}}{\text{Volumen}_{\text{producto}} \cdot \text{km recorrido}_{\text{producto}}}$$

Para un determinado volumen de transporte de paquetes el sistema es menos eficiente. Sin embargo, se observa que a partir de cierta actividad la eficiencia es prácticamente constante:

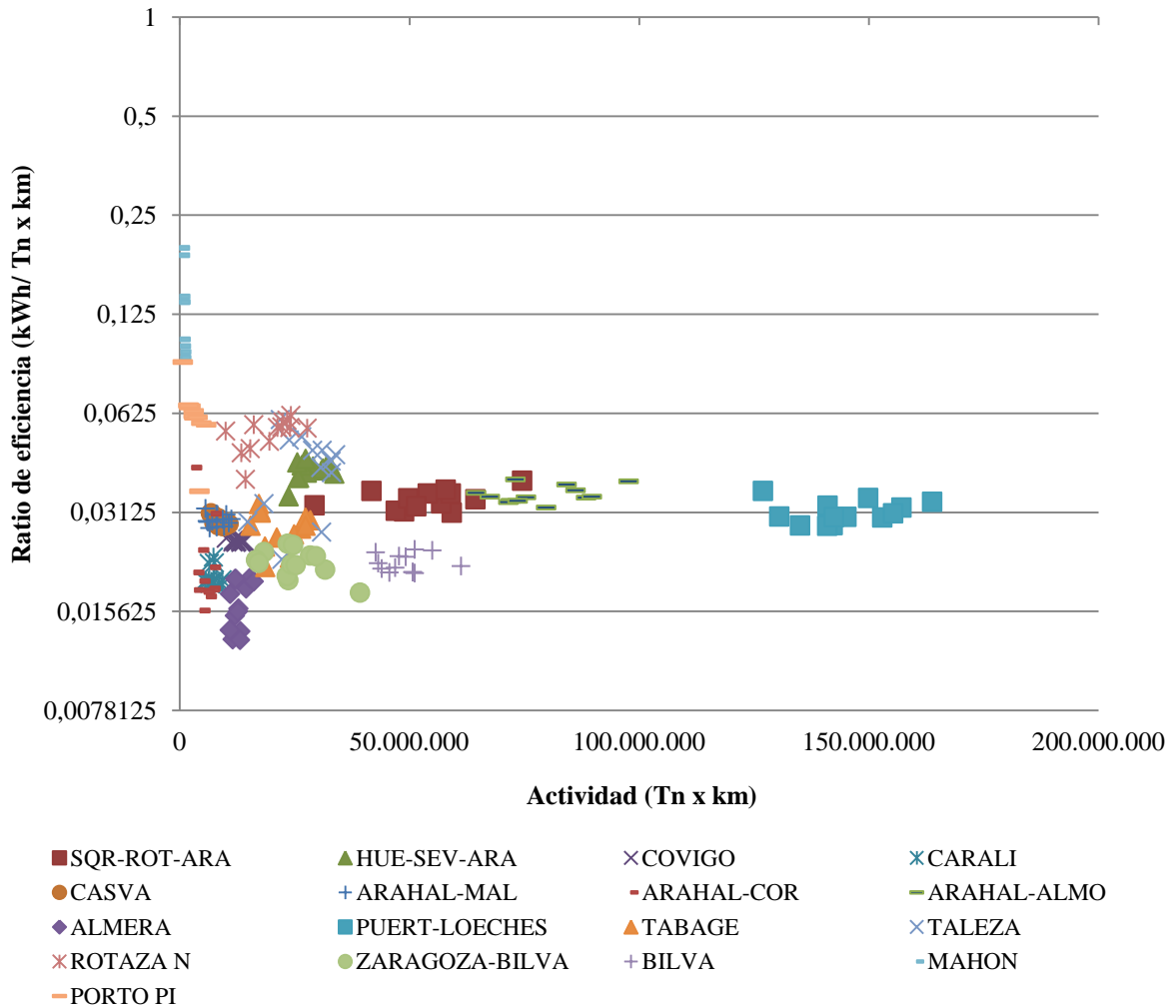


Figura 34. Gráfico ratio de eficiencia en los oleoductos

## **5. PROPUESTAS DE MEJORA**

### **5.1. Reducción de la energía consumida en las instalaciones de almacenamiento.**

#### *5.1.1. Regulación con variadores de frecuencia en los cargaderos*

Se va a proceder a la cuantificación del ahorro que se puede obtener en el consumo de energía, derivado de la introducción de técnicas de regulación de velocidad en las bombas del sistema de carga de cisternas en las instalaciones de almacenamiento.

El estudio se centra en la carga de gasóleo A, al ser el producto de mayor volumen suministrado y posteriormente la extrapolación a los distintos productos. Se han considerado unas bombas semejantes a las de la instalación de Burgos.

El sistema de carga de cisternas de Gasóleo A en las plantas de las instalaciones dispone de un número determinado de bombas en paralelo y una serie de brazos de carga.

Cada bomba dispone de un conducto de by-pass para recirculación cuando no existe carga. Cada brazo de carga dispone de una válvula regulación de caudal.

Para estimar el ahorro que se produciría con el uso de variadores, es necesario calcular los estados de planta (combinaciones de bombas y brazos de carga), mediante los tiempos de carga y volúmenes cargados. Para ello, se ha procedido a realizar un programa (Anexo 3) que a partir de la fecha del sistema, el código de evento, el código del contador, el código del producto y la cantidad bruta, se estima el tiempo de carga, número de bombas y brazos en marcha, además del tiempo que están en marcha y en paro las bombas en el cargadero.

#### *5.1.1.1. Análisis de datos de las instalaciones*

Con el fin de analizar el funcionamiento de bombeo de Gasóleo A para la carga de cisternas en las plantas de CLH, y con carácter previo al planteamiento de las mejoras en eficiencia energética, se ha realizado un estudio estadístico de los registros de la base de datos operativa, registrados en el año 2013.

Se puede observar la distribución del volumen de carga de los cargaderos en los siguientes gráficos.

La distribución horaria es la que se muestra en la siguiente figura:

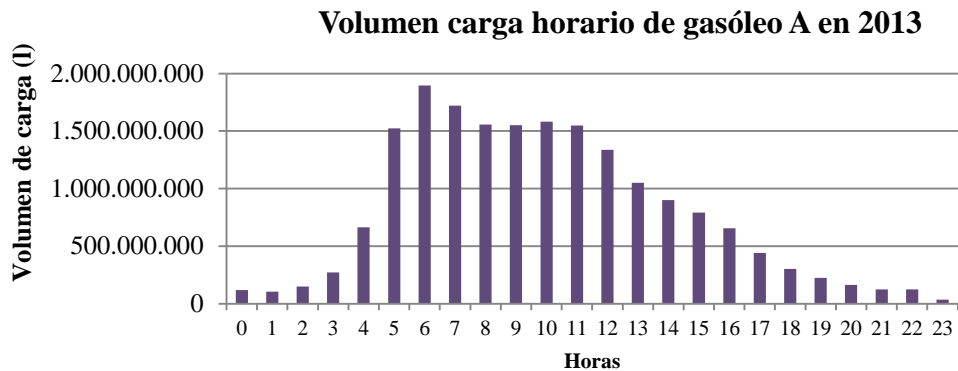


Figura 35. Volumen carga horario de Gasóleo A en 2013

Se observa una concentración de actividad entre las 5 y las 14 horas, reduciéndose entre las 14 y las 4 horas. La hora en la que el gasóleo A es máxima es entre las 6 y las 7 horas.

Se ha registrado una carga total de productos en cisternas en el periodo anual del 2013, distribuido como se muestra a continuación:

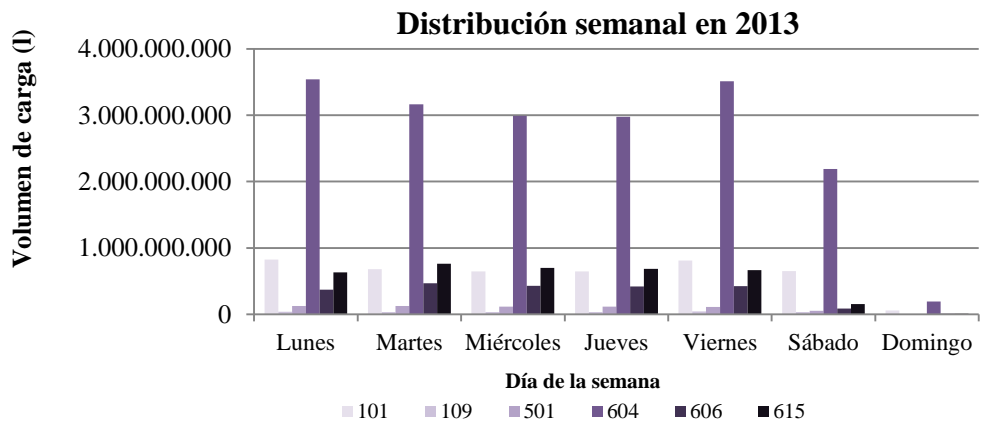


Figura 36. Distribución semanal por productos en 2013

Se observa que entre el lunes y el sábado la carga diaria oscila entre 2 y 3,5 billones de litros mientras que el domingo disminuye notablemente la actividad. Se mantiene el mismo patrón de carga para todos los productos, siguen el patrón del gasóleo A.

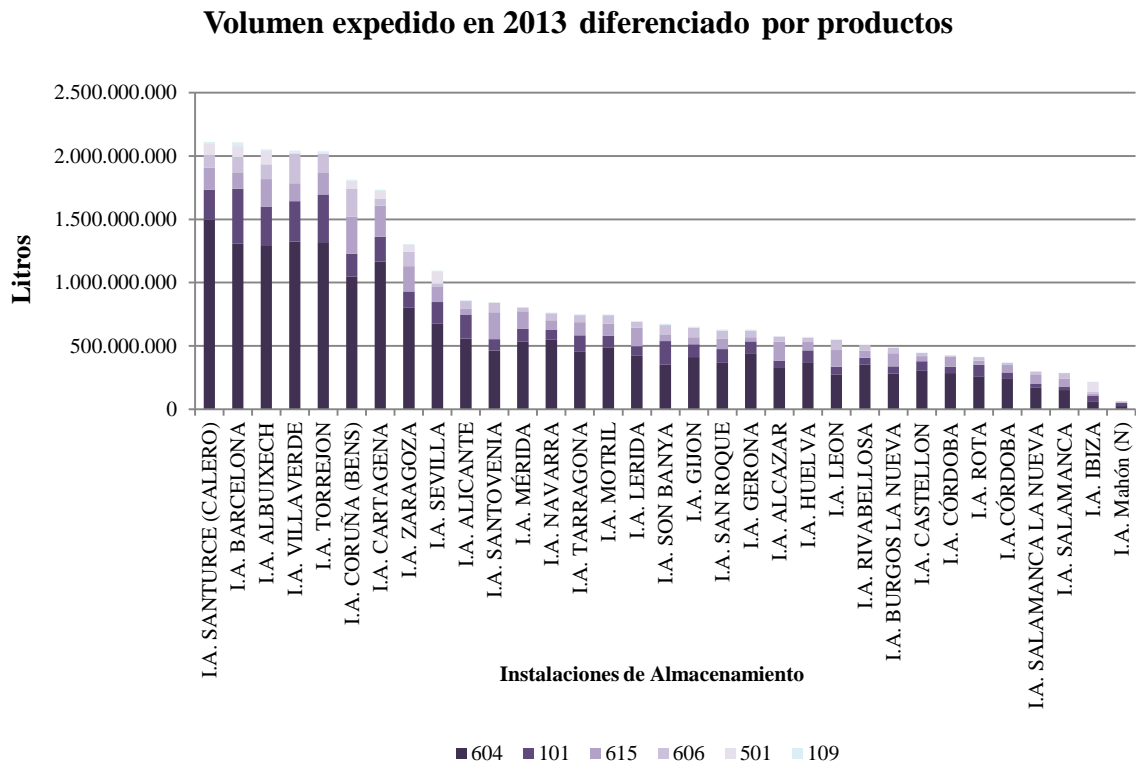


Figura 37. Volumen expedido en 2013 diferenciado por producto en la compañía

Tal y como se observa en el gráfico superior, el producto mayoritario que se expide por camión cisterna en todas las instalaciones es el gasóleo A.

#### 5.1.1.2. Estudio del uso de variadores

Para el estudio del ahorro de la implantación de los variadores es necesario calcular unos coeficientes que determinan la disminución del consumo al instalarse variadores en las bombas del cargadero válidos para todas las instalaciones.

Puesto que el caudal de carga cisternas está regulado por una válvula en el propio brazo de carga, independientemente del estado de las bombas, para el estudio se considerará a estos efectos constante de  $143 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $Q=2383 \text{ l/min}$ ), que se corresponde aproximadamente con el valor actual de consigna de caudal para carga de cisternas.

Para la estimación del consumo energético en modo velocidad variable se ha definido dos patrones de funcionamiento. Para ambos casos, el cálculo de las velocidades óptimas según el caudal se ha realizado mediante un proceso iterativo.



En el primer patrón se mantiene la distribución temporal de estados de planta en lo que se refiere al número de bombas en marcha y número de brazos en carga, y para cada estado se busca la velocidad de rotación de las bombas que presente un menor consumo.

En el segundo patrón, se mantiene la distribución temporal de estados de planta en lo que se refiere al número de brazos en carga, buscando la combinación del número de bombas en marcha y velocidad de rotación que representa el mínimo consumo. Se selecciona como la combinación de bombas que presenta el mínimo consumo energético de entre las posibilidades calculadas en el caso del patrón 1, que se corresponden con las velocidades del mínimo consumo.

### *5.1.1.3. Ahorro económico estimado*

Puesto que en las plantas de almacenamiento se realiza la carga de cisternas con distintos tipos de combustible, se realiza una estimación del consumo de energía total debido a dichos bombeos y del potencial del ahorro existente.

Dicha estimación se ha realizado como extrapolación, proporcionalmente a los resultados obtenidos en el caso del gasóleo A con respecto a los volúmenes respectivos suministrados. Se ha procedido calculando un ratio que relaciona el caudal con el consumo.

Se observa que en el patrón 2, el ahorro es más significativo debido a que se selecciona la combinación de bombas en marcha y velocidades de rotación que otorgan el mínimo consumo para cada número de brazos en marcha.

Implementación de un sistema de gestión de la energía en la logística de combustibles

Denominación	Ratio Actual kWh/m <sup>3</sup>	Coste €	Patrón 1			Patrón 2		
			Ratio variadores kWh/m <sup>3</sup>	Coste €	Ahorro	Ratio variadores kWh/m <sup>3</sup>	Coste €	Ahorro
I.A. ALBUIXECH	0,28890908	43.119	0,186093	27.774	35,6%	0,09420425	14.060	67,4%
I.A. ALCAZAR	0,32008313	14.463	0,167654	7.576	47,6%	0,105606186	4.772	67,0%
I.A. ALICANTE	0,323891245	20.326	0,190808	11.975	41,1%	0,112175485	7.040	65,4%
I.A. BARCELONA	0,307249141	46.193	0,197321	29.666	35,8%	0,108375192	16.293	64,7%
I.A. BURGOS LA NUEVA	0,311253816	11.980	0,162107	6.240	47,9%	0,102846096	3.959	67,0%
I.A. CARTAGENA	0,267251308	30.132	0,173256	19.535	35,2%	0,095126419	10.725	64,4%
I.A. CASTELLON	0,318936193	9.411	0,171017	5.046	46,4%	0,106417997	3.140	66,6%
I.A. CÓRDOBA	0,322798564	17.936	0,180648	10.038	44,0%	0,109456747	6.082	66,1%
I.A. CORUÑA (BENS)	0,276408217	34.607	0,172661	21.617	37,5%	0,096946163	12.138	64,9%
I.A. GERONA	0,309843085	15.455	0,157005	7.831	49,3%	0,100926107	5.034	67,4%
I.A. GIJON	0,365118908	18.935	0,178824	9.274	51,0%	0,117278382	6.082	67,9%
I.A. HUELVA	0,303924648	12.267	0,157942	6.375	48,0%	0,099637215	4.022	67,2%
I.A. IBIZA	0,392281685	6.884	0,127677	2.240	67,5%	0,103945634	1.824	73,5%
I.A. LEON	0,32646451	14.424	0,172931	7.641	47,0%	0,10882136	4.808	66,7%
I.A. LERIDA	0,314975268	15.246	0,176162	8.527	44,1%	0,107129173	5.185	66,0%
I.A. Mahón (N)	0,384719528	1.915	0,139679	695	63,7%	0,107067891	533	72,2%
I.A. MÁLAGA	0,346548076	14.269	0,143013	5.889	58,7%	0,10217342	4.207	70,5%
I.A. MÉRIDA	0,344385859	21.890	0,189754	12.061	44,9%	0,116722399	7.419	66,1%
I.A. MOTRIL	0,291092523	17.029	0,165852	9.703	43,0%	0,099767408	5.837	65,7%
I.A. NAVARRA	0,292695393	17.996	0,177680	10.924	39,3%	0,103137466	6.341	64,8%
I.A. RIVABELLOSA	0,350350231	12.343	0,204879	7.218	41,5%	0,121790253	4.291	65,2%
I.A. ROTA	0,389784556	10.715	0,149245	4.103	61,7%	0,110807557	3.046	71,6%

Implementación de un sistema de gestión de la energía en la logística de combustibles

Denominación	Ratio Actual kWh/m3	Coste €	Patrón 1			Patrón 2		
			Ratio variadores kWh/m3	Coste €	Ahorro	Ratio variadores kWh/m3	Coste €	Ahorro
I.A. SALAMANCA	0,769734634	17.471	0,332552	7.548	56,8%	0,232899559	5.286	69,7%
I.A. SALAMANCA LA NUEVA	0,666617027	-	0,292122	-	56,2%	0,20196414	-	69,7%
I.A. SAN ROQUE	0,346093871	14.504	0,142539	5.974	58,8%	0,101974358	4.274	70,5%
I.A. SANTOVENIA	0,304339406	17.315	0,183205	10.423	39,8%	0,106583572	6.064	65,0%
I.A. SANTURCE (CALERO)	0,266731266	41.062	0,180965	27.859	32,2%	0,095782318	14.745	64,1%
I.A. SEVILLA	0,28774175	24.685	0,161703	13.872	43,8%	0,098043821	8.411	65,9%
I.A. SON BANYA	0,339599036	16.498	0,149709	7.273	55,9%	0,10332395	5.020	69,6%
I.A. TARRAGONA	0,352036474	19.100	0,202051	10.963	42,6%	0,121463234	6.590	65,5%
I.A. TORREJON	0,275659587	40.290	0,173388	25.342	37,1%	0,096006147	14.032	65,2%
I.A. VILLAVERDE	0,502996577	70.555	0,359880	50.480	28,5%	0,180708356	25.348	64,1%
I.A. ZARAGOZA	0,27800365	25.371	0,166834	15.226	40,0%	0,097154796	8.867	65,1%

TOTAL COSTE CONSUMO ACTUAL: 694.388 €

TOTAL COSTE CONSUMO VARIADORES (Patrón 1): 406.905 € → **AHORRO ESTIMADO 41,4 %**

TOTAL COSTE CONSUMO VARIADORES (Patrón 2): 235.474 € → **AHORRO ESTIMADO 66,1 %**

A la hora de realización de este estudio se han obtenido una serie de limitaciones a considerar.

En primer lugar, el estudio se ha realizado para el Gasóleo A al disponer los datos y características de las bombas para dicho producto de la auditoría energética de la instalación de almacenamiento de Burgos y haberse medido in situ los caudales en recirculación y en carga. Dichas características se han utilizado para obtener los coeficientes de ahorro energético en la utilización de variadores para los posibles estados de las distintas plantas de la compañía (Anexo 7). A partir del estudio, se ha realizado una extrapolación para estimar los ahorros posibles en todo el conjunto de las instalaciones de almacenamiento.

Para el estudio del consumo con variadores de frecuencia, según indicaciones de la propia compañía, la velocidad mínima de rotación de las bombas se corresponde con 1.800 rpm. Esto es debido a que aunque la bomba pueda suministrar el caudal necesario a 1.500 rpm, se debe de proporcionar una mayor velocidad para que se refrigere en el caso de existir un sobrecaudal de recirculación mínimo contra válvula abierta.

Para el cálculo del tiempo de los estados de las bombas en marcha, al tener el código de cada brazo que está cargando en cada instante, se ha considerado que una bomba es capaz de alimentar a dos brazos. Cabe destacar que se determinan el número de bombas en marcha pero puede darse el caso en que una instalación dispone de una serie de bombas pero habitualmente solo trabajan parte de ellas, estando el resto en reserva.

El caudal medio por bomba se ha supuesto constante, sin embargo, el caudal medio estimado por bomba en marcha puede variar.

Por lo tanto, se podría reducir hasta en un 45% la energía necesaria en los bombeos hacia el cargadero. Sin embargo, la instalación de variadores de frecuencia en los cargaderos supone un alto coste para la compañía debido al coste de la tecnología puesto que se debería de implantar un variador por bomba, a la instalación del cuadro de control, al cableado necesario e incluso a la necesidad en algunas instalaciones de aumentar el espacio para su implantación que podría hacer inviable dicha mejora.

5.1.2. *Recirculación de las bombas del cargadero*

En la actualidad, tras una carga de un camión cisterna en el cargadero, las bombas puestas en marcha se mantienen en recirculación durante un minuto a la espera de que en ese minuto se disponga a cargar otro camión.

En el periodo del estudio considerado, se ha obtenido un indicador que nos determina cuando la recirculación de las bombas es innecesaria, debido a que no se ha producido la entrada de ningún camión en ese tiempo de recirculación. Se ha determinado el ahorro que supondría evitar la recirculación en dichos periodos innecesarios.

Con el fin de analizar el funcionamiento de la recirculación de las bombas de los distintos productos para la carga de cisternas en las instalaciones de almacenamiento de CLH, y con carácter previo al planteamiento de las mejoras en eficiencia energética, se ha realizado un estudio de los registros de la base de datos operativa registrados en el año 2013.

Se ha realizado un programa que a través de los datos obtenidos del servidor de la compañía de cada instalación de almacenamiento (código de evento, hora de inicio y fin de la carga, tipo de producto, etc.), proporciona el número de recirculaciones de las bombas del cargadero. Además, se ha definido un indicador cuyo valor es uno cuando la bomba se ha puesto en recirculación y en menos de un minuto no se ha procedido a la carga de otro camión cisterna, pudiéndose evitar dicha recirculación. No obstante, ese indicador toma el valor de cero cuando ha sido útil la recirculación de la bomba.

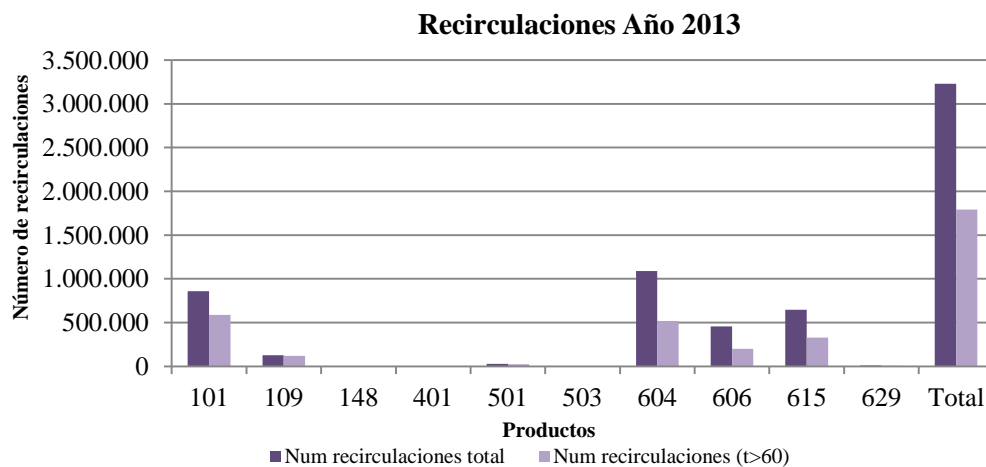


Figura 38. Gráfico número de recirculaciones por producto en el año 2013

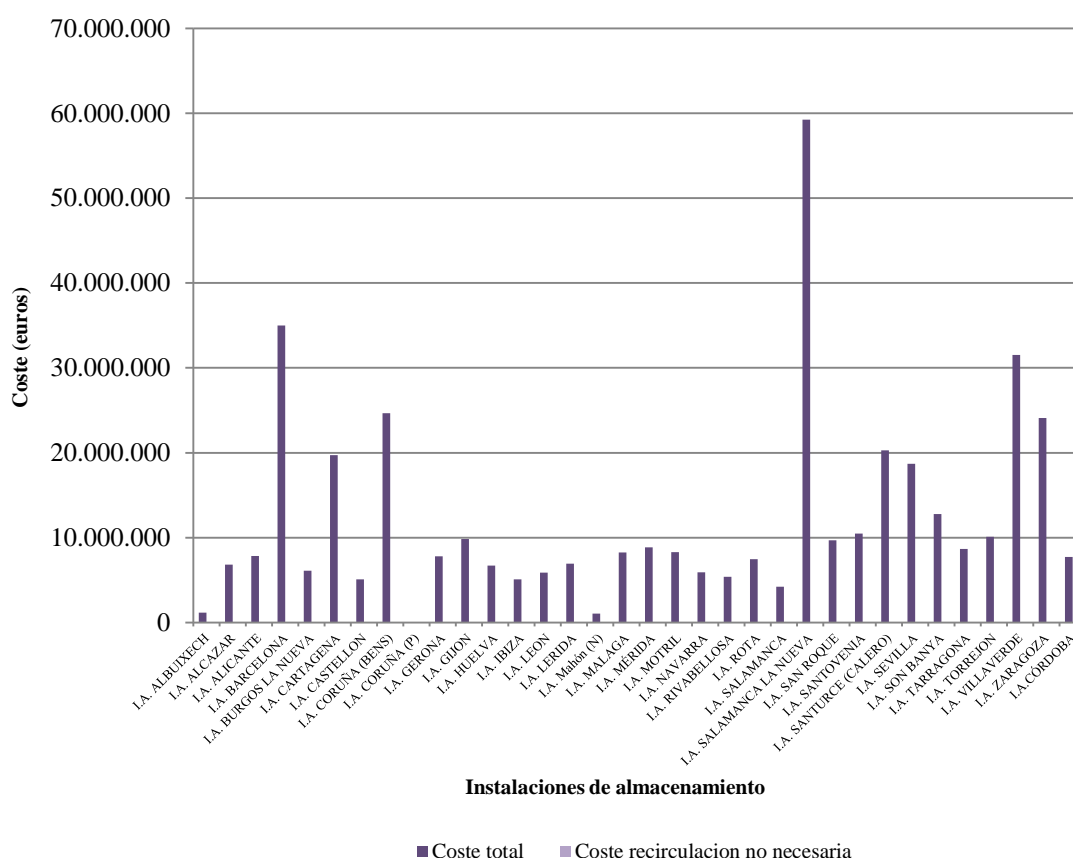


Figura 39. Gráfico consumo de las bombas por instalación de almacenamiento

Se observa que el ahorro económico en el consumo de las bombas que supondría dejar de recircular las bombas no supera el 1% para ninguna de las instalaciones de almacenamiento.

Se observa para la mayoría de las instalaciones de almacenamiento, que aproximadamente en un 70% de los casos se podría evitar el consumo por recirculación de las bombas. Cabe destacar que las instalaciones de San Roque, Rota, La Coruña, Gijón y Salamanca ese porcentaje ronda el 35%.

Considerando el análisis por producto, para la gasolina G98, casi el 98% de las veces se podría evitar la recirculación aunque el ahorro que esto supone no supera el 1%.

Analizando la recirculación de las bombas del cargadero, no se ha observado un patrón en el cual las recirculaciones sean innecesarias.

Tras el análisis de este estudio, no existe una viabilidad técnica-económica del proyecto.

5.1.3. Reducción de la energía destinada a la iluminación

El estudio de la reducción de la energía destinada a la iluminación se basa en la cuantificación del ahorro que se obtiene en el consumo de energía, derivado de la introducción de técnicas de regulación de tensión, cambio de luminarias y apagado de luminarias en una serie de instalaciones de almacenamiento. El consumo energético en iluminación es comparable al del bombeo de gasóleos en el cargadero. Es un consumo no operativo, no relacionado con la actividad. Afecta directamente a la eficiencia de las instalaciones de almacenamiento. El gasto anual estimado supera el 15% del gasto de las instalaciones de almacenamiento.

Con el fin de analizar el consumo de la iluminación mínima necesaria de las instalaciones de almacenamiento se ha considerado la iluminación cuarto horaria las 24 horas del día. La iluminación se ha estimado como diferencia entre el promedio del consumo nocturno (de 0 a 4 h) y el promedio del consumo diurno (de 10 a 21 h).

En las instalaciones de almacenamiento que tienen centro de bombeo, esta metodología no es útil porque no se puede diferenciar los consumos destinados a cada operación.

Hay que considerar también que, dependiendo la instalación de almacenamiento, es más exacto considerar la moda de los consumos que el promedio por lo que el método es un tanto poco objetivo, que obliga a analizar los consumos instalación por instalación.

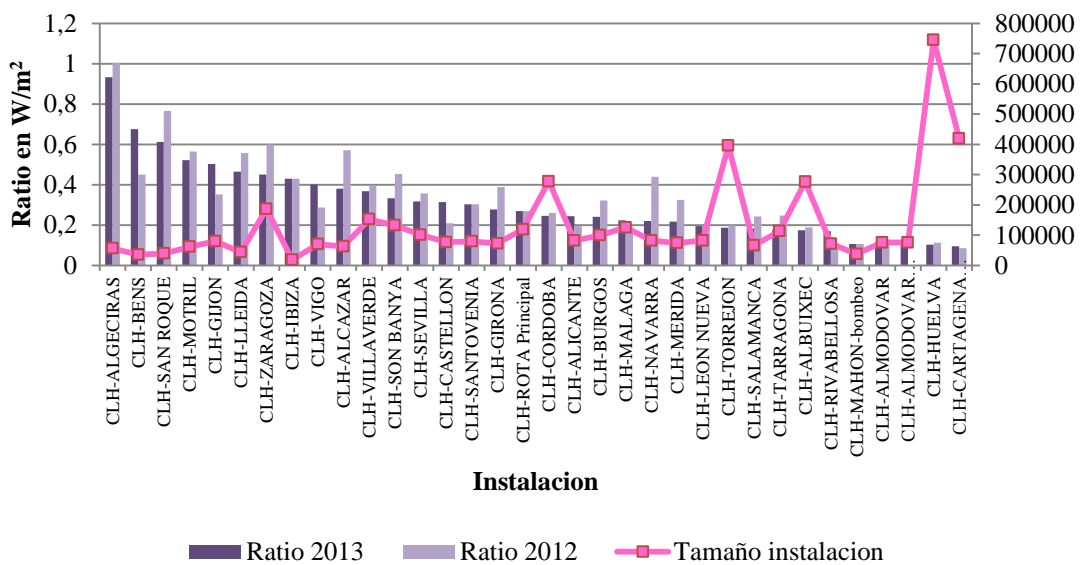


Figura 40. Ratio iluminación W/m²

Se observa que del año 2012 al año 2013 mediante las medidas adoptadas en una serie de instalaciones, se ha conseguido disminuir el ratio, al disminuir el consumo.

### 5.1.3.1 Acciones para reducir el gasto en la iluminación

#### 5.1.3.1.1 Implementación de sistemas de control encendido – apagado en el área de iluminación interior

Un sistema automático de control de iluminación puede definirse como un dispositivo de control de alumbrado artificial, que tiene la finalidad de proveer algunas de las siguientes funciones: encendido, apagado y atenuación (control de flujo luminoso). Estos sistemas aparecen como una alternativa al control manual, pudiéndose ejecutar tareas automáticamente y de acuerdo a un patrón establecido orientado al ahorro energético y en función de una o más de las siguientes variables [20]:

- Nivel de iluminación por luz artificial o natural
- Ocupación en el local
- Horario de ocupación

Los tipos de sensores que permiten evaluar las condiciones de los ambientes y generar una señal de control son: sensor ocupacional, sensor fotoeléctrico y sensor de tiempo:

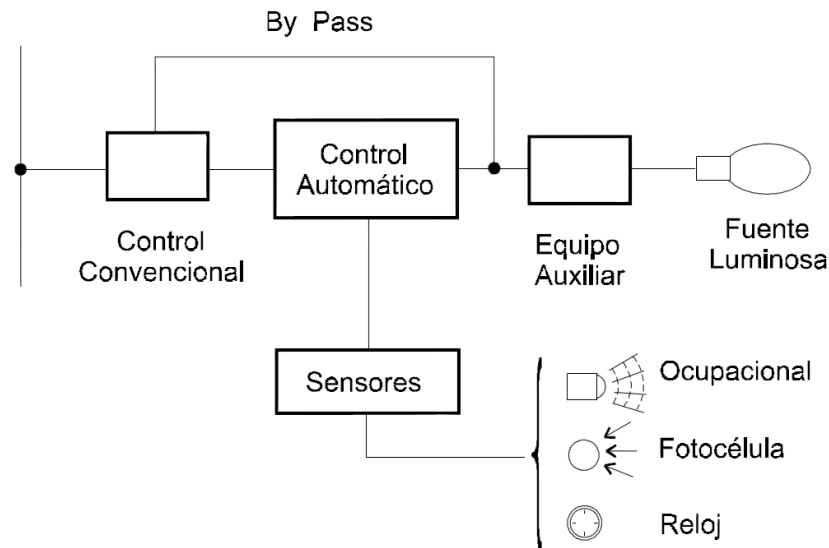


Figura 41. Esquema de un sistema automático de control de una lámpara de descarga, con los diferentes tipos de sensores con los que puede operar [20]

La selección de la estrategia de control está orientada a lograr un buen resultado del método de control. Una selección adecuada implica la elección del sensor más apropiado en



función del tipo de actividad desarrollada. En la tabla 4, se muestra las recomendaciones del “Building Research Establishment”, en cuanto a los sensores más adecuados teniendo en cuenta el tipo de ocupación y la cantidad de ocupantes.

**Tabla 4.** Recomendaciones respecto a los sensores más apropiados en distintas circunstancias. (Fuente: BRE, 1983.)

Tipo de ocupación	Cantidad de ocupantes	Sensor horario	Sensor ocupacional	Sensor fotoeléctrico
Variable	Muchos	+++	+	+
Variable	Uno o dos	+	++	+
Horario Intermitente	Muchos	+++	+	+
Continua	Muchos	+++	Solo en áreas localizadas	+++
Continua	Uno o dos	+	Solo en áreas localizadas	++
Horario Intermitente	Uno o dos	---	+++	+
Eventual	Cualquiera	+++	+++	---

Notas: +++ Muy apropiado ; ++ Aceptable; + No recomendable; --- No aplicable

Tabla 4. Selección estrategia de control [20]

#### 5.1.3.1.2 *Sustitución de lámparas fluorescentes por lámparas de bajo consumo*

En el sector industrial se debe potenciar el ahorro y la eficiencia energética de los procesos e impulsar la fabricación e implantación de productos que sean más competentes en su uso posterior o que requieran un menor consumo de energía durante su ciclo de vida útil [21].

Actualmente existen en el mercado lámparas fluorescentes con un consumo menor a los actuales tubos fluorescentes T8. En la figura 42 se muestran las recomendaciones de sustitución según fabricante Philips. Estos mismos fluorescentes pueden ser encontrados para otros fabricantes. Estas sustituciones se pueden realizar sin cambio en los equipos auxiliares y a las luminarias, por lo que no supone un coste extra de instalación.



Figura 42. Sustitución de lámparas convencionales T8 por Eco-Eficientes [20]

Se propone en las dependencias de las instalaciones de CLH donde se disponga de tubos fluorescentes, la sustitución por fluorescentes de menor consumo una vez se haya agotado la vida útil de los actuales.

#### 5.1.3.1.3 *Instalación de detectores de presencia en el cargadero*

La zona de carga de camiones en cargadero dispone de iluminación local para el correcto alumbrado de la zona. Este sistema está compuesto por lámparas de descarga de vapor de sodio de alta presión, controlado por las mismas fotocélulas que el resto de luminarias exteriores.

La presencia de camiones en el cargadero no es continua, existiendo tiempos en las que las lámparas permanecen encendidas sin realizarse trabajo alguno.

Se propone instalar un sistema de regulación automático e independiente de encendido y apagado del alumbrado de los cargaderos.

Este sistema consiste en la instalación de equipos de detección en cada línea de carga. De este modo se consigue que se active/desactive el alumbrado de forma individual de la presencia de camiones de una línea de carga. Lógicamente, el sistema estaría condicionado a que el detector crepuscular existente aguas arriba posibilite el paso de corriente. Esta mejora

lleva implícita la sustitución de las lámparas y las luminarias ATEX que actualmente están instaladas en los cargaderos.

El cambio de luminaria viene dado por los siguientes motivos:

- Las lámparas actuales son del tipo de descarga y tienen un tiempo de respuesta de encendido de 5 minutos aproximadamente, que resulta elevado para el sistema propuesto. Además de ello, las lámparas de estas características no se pueden encender y apagar constantemente puesto que su vida útil se ve afectada notablemente.
- Se reduciría la potencia instalada garantizando los niveles de iluminación mínimos en la zona en función del trabajo que se realiza.

Para un adecuado funcionamiento del sistema propuesto se debe implementar detectores de presencia para coadyuvar al adecuado encendido y apagado de las lámparas fluorescentes, siendo programado el apagado con una histéresis apropiada de manera que se eviten apagados y encendidos constantes por llegadas secuenciales de camiones.

Considerando la instalación de almacenamiento de Barcelona como ejemplo, que posee 12 isletas y conociendo la iluminación de cada isleta la cual se corresponde con lámparas de halogenuros metálicos de 250W de potencia, que se distribuyen en 4 por cada isleta (2 por servicio) con protección ATEX, y por dos focos de 750W, el cargadero tiene una potencia en iluminación de 30kW.

$$Potencia = 12 \text{ isletas} \cdot 4 \text{ lámparas} \cdot 250 \text{ W} + 12 \text{ isletas} \cdot 2 \text{ lámparas} \cdot 750 \text{ W} = 30 \text{ kW}$$

Por lo tanto, si se instalara un control de encendido y apagado sabiendo que la potencia mínima total registrada en horario nocturno es de 192 kW (cargadero apagado), y tenemos en cuenta la potencia en iluminación (30 kW) y el porcentaje de ocupación del cargadero (72%), se puede estimar el ahorro que supondría apagar la iluminación en el caso de que el cargadero esté vacío.

$$Ahorro = (192 \text{ kW/h} + 30 \text{ kW} \cdot 0,28) \cdot 0,5819 \text{ €/kWh} = 5000 \text{ €/anuales}$$

El coste de la implantación de dicho sistema es de 2.000€. Por lo tanto, en el caso de la instalación de Barcelona se amortizaría en 5 meses aproximadamente.

Dicha estimación de ahorro no se puede extrapolar al resto de instalaciones debido a que cada instalación posee distinto número de isletas y distinto grado de ocupación. Sin embargo,

se ha tomado como referencia la instalación de Barcelona por disponer de los datos y al ser una de las instalaciones con más actividad y mayor grado de ocupación de cargadero, esto supone que se podría apagar menos tiempo el cargadero que en el resto de instalaciones, siendo el ahorro menor.

## **5.2. Reducción de la energía consumida en la red de oleoductos.**

### *5.2.1. Control y regulación en la estación de bombeo*

En un oleoducto de multiproducto, en condiciones normales, el sistema se considera autoequilibrado ajustando el mismo las pequeñas perturbaciones que se producen. Sin embargo, si el caudal es muy variable debido a cambios de las condiciones de bombeo o producto ligero o pesado en línea, será necesario disponer de un sistema de regulación.

Para cubrir todas las circunstancias del transporte, el diseño de las estaciones de bombeo se hace considerando la situación de máxima necesidad y con presiones de operación próximas al límite de la tubería. Esto hace que se produzcan situaciones, donde para adecuarse a las necesidades del transporte, es necesario reducir el caudal, y otras en que por su seguridad es imprescindible reducir la presión de descarga de las bombas para proteger la tubería. Por ello, en muchos casos se requiere algún método para controlar y regular las presiones y caudales del sistema, de forma que se pueda conseguir un punto de funcionamiento que cumpla con los requerimientos del transporte. Este punto de funcionamiento vendrá determinado por el punto de corte de la curva del sistema con la curva resultante de las bombas en funcionamiento.

Partiendo de la premisa de que una regulación en el oleoducto será necesaria, ésta se puede realizar por varios métodos:

- Control por estrangulación por válvula
- Control por variación de velocidad
- Control por derivación
- Control por arranque-parada
- Control por arranque de diferentes grupos de bombeo

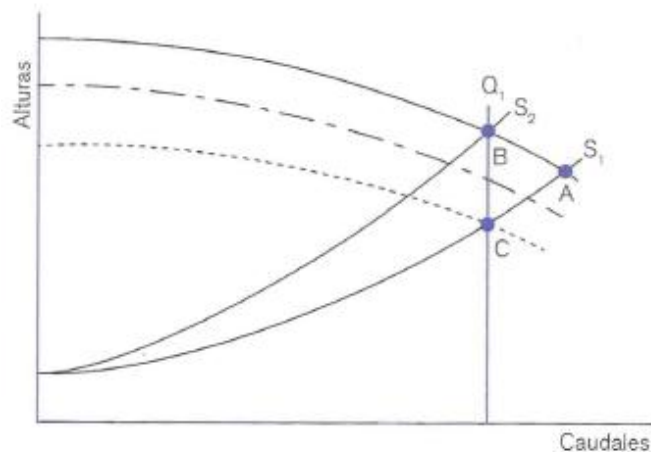


Figura 43. Curvas del sistema con puntos de funcionamiento

Observando la figura 43, si la curva del sistema es  $S_1$  y la curva característica de la bomba es  $H_1$  el punto de funcionamiento será  $A$ . Pero si el caudal de operación que queremos conseguir es  $Q_1$ , el punto de funcionamiento no podrá ser  $A$ , sino un punto que esté situado sobre una línea vertical a  $Q_1$ .

Si la bomba está accionada por un motor de velocidad constante, la curva  $H_1$  no puede variar, por lo que una forma de conseguir el punto de funcionamiento  $B$  puede ser variar artificialmente la curva del sistema, de forma que sea la  $S_2$ . Esto requiere la creación de una pérdida de carga mayor en el sistema, lo cual suele realizarse estrangulando una válvula en la descarga.

Si la bomba está accionada por un motor de velocidad variable, la regulación será más sencilla y óptima. En este caso, la curva del sistema permanece fija (sin estrangulación), variando la velocidad de la bomba de forma que su curva se desplace hasta alcanzar la posición  $H_3$ , donde cortaría a la  $S_1$  en el punto  $C$ , que correspondería al caudal  $Q_1$  solicitado.

#### Regulación por estrangulación con válvula de control

Por su simplicidad, es el método de regulación convencional y más utilizado en un gran número de oleoductos. Sin embargo, tiene algunos inconvenientes como pueden ser su dificultad de ajuste en oleoductos de grandes dimensiones y el derroche de grandes cantidades de energía.

El estrangulamiento de la válvula de control restringe el líquido en la tubería, lo cual supone una pérdida de energía. La potencia de la bomba depende directamente del caudal y de la presión, y con independencia del nivel de flujo, la presión siempre va a ser alta, al estar mantenida por la válvula.

#### Regulación por variación de velocidad

La regulación por variación de velocidad es el método más óptimo, tanto por no ser necesaria la creación de una pérdida de carga por estrangulación extra, como porque en ocasiones se puede trabajar a velocidades menores con mejor rendimiento y menor demanda de energía.

La variación de giro de la bomba se puede conseguir por varios sistemas, considerándose como más conocidos los siguientes:

- Accionamiento por motor diesel
- Acoplamiento magnético
- Variador hidráulico
- Variador eléctrico de frecuencia

El accionamiento por motor diésel es un buen sistema, pero en la actualidad se está limitando a algunas actividades concretas, dado el alto coste que supone tanto el combustible como el mantenimiento del motor.

En cuanto a la variación por deslizamiento del acoplamiento del motor y la bomba en el que se basan el variador hidráulico y el acoplamiento magnético, su utilización siempre ha estado restringida a pequeñas potencias y no se ha progresado en su desarrollo y uso debido a su pobre rendimiento.

Sin embargo, cada vez se utiliza de forma más habitual el control de velocidad por variadores eléctricos de frecuencia que proporcionan en algunos casos ahorros de energía de hasta un 50%. Estos variadores se han desarrollado mucho en los últimos tiempos, tanto en fiabilidad como en capacidad, por lo cual aunque la inversión es mayor, se está generalizando su empleo debido al ahorro de energía que conlleva. Al final de este capítulo se incluye un ejemplo de ahorro de energía con variadores de velocidad eléctricos.

### Regulación por derivación

Es un sistema que consiste en dotar a la bomba en un by-pass con una válvula de regulación, que permite derivar un cierto caudal hacia la aspiración, de forma que el proceso reciba sólo el caudal necesario.

Es un método muy utilizado en refinerías donde disponen de bombas de muy alto caudal para la carga de barcos, que en circunstancias de bombeo al oleoducto deben trabajar con caudales mucho más bajos, por lo cual desvían hacia la aspiración el caudal sobrante. En este caso, la bomba siempre trabaja con un caudal máximo muy superior al caudal que demanda el proceso, consumiendo más energía.

### Control por arranque-parada

Esta forma de regulación consiste en parar o arrancar un número determinado de motobombas, o grupos de diferente capacidad, de forma que se consiga la presión y caudal necesario.

Este sistema generalmente debe de ir acompañado de una posible estrangulación y rendimiento bajo, considerando el conjunto de los grupos. Por otra parte, las frecuentes puntas de arranque van a suponer un exceso en el consumo de energía y, por otro lado, un deterioro de las instalaciones por los continuos golpes de ariete que se producen.

Aunque es mejor que la regulación por estrangulación, la regulación del proceso con la selección de grupos de diferente caudal y altura manométrica sigue teniendo un rendimiento más pobre que el que se consigue con los variadores.

### *5.2.2. Ahorro energético con regulación por variación de velocidad*

A modo de ejemplo, a continuación desarrollaremos el cálculo energético de un bombeo comparando la potencia demandada realizando un control por estrangulación y realizándolo por variación de velocidad.

El estudio se realiza considerando un oleoducto determinado de unos 100 km de longitud y 12" de diámetro, por el que se quieren transportar 18.000 m<sup>3</sup> con un caudal de 450 m<sup>3</sup>/h, con 2 bombas, conectadas en serie, de las siguientes características nominales:

- Caudal  $Q = 450 \text{ m}^3/\text{h}$

- Altura manométrica  $H = 450 \text{ m.c.l.}$
- Rendimiento  $\eta = 0,80$

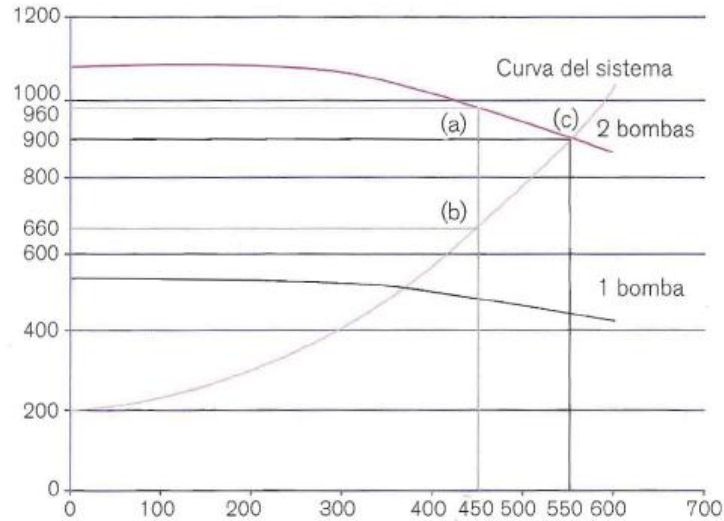


Figura 44. Curvas del sistema y puntos de funcionamiento

En la figura 44 se representan las curvas caudal – altura de una bomba, de dos bombas trabajando en serie, y la curva del sistema.

En el caso de regulación por estrangulación el punto de trabajo de la bomba será el (a) y la energía eléctrica absorbida por la red:

$$P_{e1} = \frac{Q \cdot H \cdot d}{270 \cdot \eta_h \cdot \eta_e} = \frac{450 \cdot 960 \cdot 0,850}{270 \cdot 0,80 \cdot 0,95} = 1789 \text{ kW}$$

En el caso de regulación por variación de velocidad, se reducirían las r.p.m. hasta que la curva de las dos bombas alcance el punto de funcionamiento (b). En este caso, el rendimiento del motor con variador será algo menor (0,92%), y según las curvas de la bomba el rendimiento hidráulico será algo mejor (0,81%); el resultado será la potencia demandada:

$$P_{e2} = \frac{Q \cdot H \cdot d}{270 \cdot \eta_h \cdot \eta_e} = \frac{450 \cdot 660 \cdot 0,850}{270 \cdot 0,81 \cdot 0,92} = 1255 \text{ kW}$$

Comparando los dos resultados, se obtendría un ahorro de potencia demandada:

$$\Delta P = P_{e1} - P_{e2} = 1789 - 1255 = 534 \text{ kW}$$



El tiempo de bombeo sería:

$$T = \frac{18000}{450} = 40 \text{ horas}$$

Y se conseguiría un ahorro económico de:

$$W = 534kW \cdot 40 h \cdot 0,075 \text{ €/kWh} = 1602 \text{ €}$$

Se debe analizar en cada estación de bombeo lo que supone integrar los variadores de velocidad y si es rentable la inversión y en cuanto tiempo se rentabilizaría puesto que como se ha comprobado supone un ahorro energético.

### *5.2.3. Uso eficiente de caudales*

Adicionalmente se regulan los caudales de transporte haciendo un uso más eficiente de los grupos de bombeo, ya que el objetivo no es cumplir el programa de transporte en el mejor tiempo posible, si no cumplirlo en el tiempo disponible con la mayor eficiencia posible. La energía necesaria para aumentar el caudal crece cuadráticamente con este, por lo que siempre que es posible se ajustan los grupos para cumplir el programa con caudales más eficientes.

### *5.2.4. Optimización del uso de aditivos mejoradores de flujo*

Para mejorar conseguir caudales superiores se utilizan aditivos mejoradores de flujo “DRA”, que reducen la fricción del producto con las paredes de la tubería.

Estos aditivos mejoran el flujo según la cantidad que se aditiva, pero no linealmente, y tienen un coste que no se puede obviar, aunque una buena gestión de la compra de este aditivo permite incrementar su uso en detrimento de la energía eléctrica.

Considerando el precio de la energía en cada momento, y como varia esta energía en función del producto transportado, las características de la tubería y los caudales de transporte, se han realizado estudios para optimizar el coste final de la operación, formado por el uso de DRA y electricidad.

## 6. PRESUPUESTO


 UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID Escuela Politécnica Superior					
PRESUPUESTO DE PROYECTO					
<b>1.- Autor:</b>					
ANA REBECA MANRIQUE MARINA					
<b>2.- Departamento:</b>					
INGENIERÍA TÉRMICA Y DE FLUIDOS					
<b>3.- Descripción del Proyecto:</b>					
Título		IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA EN LA LOGÍSTICA DE COMBUSTIBLES			
Duración (meses)		10,5			
Tasa de costes Indirectos:		10%			
<b>4.- Presupuesto total del Proyecto (valores en Euros):</b>					
22.149 Euros					
<b>5.- Desglose presupuestario (costes directos)</b>					
PERSONAL					
Apellidos y nombre	N.I.F. (a título informativo)	Categoría	Dedicación (hombres mes) <sup>a)</sup>	Coste hombre mes	Coste (Euro)
MANRIQUE MARINA, ANA REBECA		Ingeniero	7,35	2.694,39	19.803,77
<b>Total</b>					<b>19.803,77</b>
<sup>a)</sup> 1 Hombre mes = 4 semanas · 40 horas/semana = 160 horas Dedicación total: 10,5 meses al 70% semanal					
EQUIPOS					
Descripción	Coste (Euro)	% Uso dedicado proyecto	Dedicación (meses)	Periodo de depreciación	Coste imputable <sup>d)</sup>
Ordenador personal	1.300,00	70	10,5	60	159,25
Software (Office)	200,00	80	10,5	12	140,00
Acceso a Internet	10,00	50	10,5	12	4,38
Licencias CLH	50,00	40	10,5	12	17,50
<b>Total</b>					<b>311,13</b>
<sup>d)</sup> Fórmula de cálculo de la Amortización:					
$\frac{A}{B} \cdot C \cdot D$					
A = nº de meses desde fecha de facturación en que el equipo es utilizado A = nº de meses desde fecha de facturación en que el B = periodo de depreciación C = coste del equipo (sin IVA) D = % del uso que se dedica al proyecto (habitualmente 100%)					
OTROS COSTES DIRECTOS DEL PROYECTO <sup>e)</sup>					
Descripción	Empresa	Costes imputables			
Material fungible	N/A	20,00			
<b>Total</b>					<b>20,00</b>
<sup>e)</sup> Este capítulo de gastos incluye todos los gastos no contemplados en los conceptos anteriores					
<b>6.- Resumen de costes</b>					
Presupuesto Costes Totales					
Personal				19.804	
Amortización				311	
Costes de funcionamiento				20	
Costes Indirectos				2014	
<b>Total</b>					<b>22.149</b>

Tabla 5. Presupuesto de la realización del proyecto

Asciende el presente presupuesto de la realización del proyecto Implementación de un sistema de gestión de la energía en la logística de combustibles a la cantidad de veintidós mil ciento cuarenta y nueve euros.

Madrid, Junio de 2014

Ana Rebeca Manrique Marina

## 7. CONCLUSIONES Y DESARROLLOS FUTUROS

### 7.1. Conclusiones

Tras el análisis de la planificación energética requerida por la norma, se obtiene la conclusión de que la introducción de un sistema de gestión de energía como la ISO 50001 es un paso seguro hacia una mayor sostenibilidad y un ahorro económico con respecto a la disminución de consumo de energía.

En las instalaciones de almacenamiento aproximadamente el 50% de los consumos están relacionados con la actividad de la planta (bombas de cargadero, URV, etc.), y otro 50% son consumos fijos como iluminación, climatización de las salas de equipos, equipos informáticos, etc.

Dado que la parte variable del consumo no es gestionable por parte de CLH, puesto que depende de los clientes, no es posible reducir el consumo con una adecuada planificación y operación del sistema, por lo que las medidas de mejora han ido enfocadas a la instalación de equipos de bombeo más eficientes, como por ejemplo la instalación de bombas de cargadero de velocidad variable. Con estas bombas nuevas se puede regular el caudal de las bombas y adaptarlo al número de compartimentos que se estén cargando (actualmente se arrancan bombas y se regula estrangulando una válvula de control).

Según el estudio realizado en esta materia se podría reducir hasta en un 45% la energía necesaria en los bombeos hacia el cargadero. Sin embargo, la instalación de variadores de frecuencia en los cargaderos supone un alto coste para la compañía debido al coste de la tecnología puesto que se debería de implantar un variador por bomba, a la instalación del cuadro de control, al cableado necesario e incluso a la necesidad en algunas instalaciones de aumentar el espacio para su implantación podría hacer inviable dicha mejora.

En cuanto a la recirculación de dichas bombas, el ahorro que supondría evitar dicha recirculación cuando no fuera necesario es inferior al 1%, por lo tanto no es viable actualmente.

En cuanto a la reducción de la energía destinada a la iluminación, se ha actuado sobre la iluminación en varios sentidos: en la instalación de nuevas tecnologías que son capaces de ahorrar un 75% de energía con respecto a las tecnologías tradicionales, los reguladores de

flujo que permiten regular la iluminación, acercándola a las necesidades reales reduciendo en un 20% el consumo destinado a la iluminación y el apagado de luminarias en la zona del cargadero cuando no existe actividad dentro de él. Dichas oportunidades de mejora se están implantando en algunas instalaciones debido a su bajo coste y que el ahorro es inmediato.

Los principales elementos consumidores de energía en los oleoductos son los motores que se utilizan para bombear los diferentes productos petrolíferos a través de los mismos.

La regulación de las condiciones de transporte (caudal y presión) se regulan mediante el uso de válvulas de control, ante la imposibilidad de regular las condiciones de funcionamiento de los motores, lo que supone un gasto de energía innecesario.

Actualmente existen multitud de motores de velocidad variable en el mercado, que adaptan sus condiciones de funcionamiento a las necesidades de transporte, consumiendo justo la energía necesaria. Por lo tanto, anualmente se irán implantando dichos motores en la red de oleoductos.

## **7.2. Posibles desarrollos futuros**

Cualquier mejora futura pasa por garantizar la obtención de los mismos bienes y servicios energéticos, minimizando el consumo de energía y los efectos del cambio climático y fomentando la sostenibilidad.

Actualmente se está empezando a implantar la norma ISO 50001 por cualquier organización, independientemente de su tamaño, sector y ubicación, por lo que CLH ha decidido implantar la norma puesto que constituye una herramienta útil y eficaz para dar cumplimiento de forma continua a la legislación vigente en la materia.

Según la ISO 50001, el concepto de desempeño energético incluye el uso de la energía, la eficiencia energética y el consumo energético en las actividades de la empresa. Por lo tanto, cualquier mejora futura pasa por la reducción de consumo de energía eléctrica mediante la reducción de su pico de demanda y mejorando las operaciones de sus sistemas, procesos y equipamientos.

No obstante, en el corto y medio plazo todo apunta a que en las distintas compañías del sector se continuará implantando la norma ISO 50001 cuyo consumo energético se verán notablemente mermado gracias a la gestión de la energía.

## Referencias

### Documentación y páginas web

- [1][http://es.wikipedia.org/wiki/Compa%C3%B1a\\_Log%C3%ADstica\\_de\\_Hidrocarburos](http://es.wikipedia.org/wiki/Compa%C3%B1a_Log%C3%ADstica_de_Hidrocarburos)
- [2][http://www.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/MadridEmprende/ficheros\\_doc\\_adjunta/Guias\\_de\\_Innovaci%C3%B3n/GuiaImplantacionGesti%C3%B3nEnerg%C3%A9tica.pdf](http://www.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/MadridEmprende/ficheros_doc_adjunta/Guias_de_Innovaci%C3%B3n/GuiaImplantacionGesti%C3%B3nEnerg%C3%A9tica.pdf)
- [3]<http://www.iberhabitat.com/2014/03/5-de-marzo-dia-mundial-de-la-eficiencia-energetica/>
- [4]<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0370:FIN:ES:PDF>
- [5]IDAE: “Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética.  
[http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_11905\\_PAEE\\_2011\\_2020.\\_A2011\\_A\\_a1e6383b.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11905_PAEE_2011_2020._A2011_A_a1e6383b.pdf)
- [6]UNE-EN ISO 50001: Sistemas de gestión de la energía
- [7]<http://www.clh.es>
- [8]Club Español de la Energía: “Conceptos de ahorro y eficiencia energética: Evolución y oportunidades”. Green Printing, S.L. ISBN: 978-84-613-8370-2. Marzo 2010.
- [9][www.clh.es/file/Publicaciones/Dispatching\\_cast\\_Oct12.pdf](http://www.clh.es/file/Publicaciones/Dispatching_cast_Oct12.pdf)
- [10]Técnicas de oleoductos. Compañía logística de Hidrocarburos 2008
- [11]API, Centrifugal Pumps. PROFIT Program developed for API
- [12]<http://es.scribd.com/doc/6057846/Bombas-Centrifugas>
- [13]Bombas: teoría, diseño y aplicaciones. Manuel Viejo Zubicaray y Javier Álvarez Fernández. Limuna.
- [14]<http://areamecanica.wordpress.com/2011/06/16/ingenieria-mecanica-curvas-caracteristicas-de-una-bomba-centrifuga-ii/>
- [15]<http://www.ingenieriamantenimiento.org/diagnostico-bombas-centrifugas/>

[16]<http://ocw.unican.es/enseanzas-tecnicas/mecanica-de-fluidos-y-maquinas-hidraulicas/materiales/T08.pdf>

[17]Oil Pipeline Transportation Practices, University of Texas at Austin Petroleum Extension Service, 1984.

[18][www.clh.es/file/Publicaciones/Dispatching\\_cast\\_Oct12.pdf](http://www.clh.es/file/Publicaciones/Dispatching_cast_Oct12.pdf)

[19][http://en.wikipedia.org/wiki/Drag\\_reducing\\_agent](http://en.wikipedia.org/wiki/Drag_reducing_agent)

[20]Sistemas innovadores de iluminación. Leonardo Assaf.  
<http://www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/cap07.pdf>

[21] [http://www.mityc.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/357/14\\_ManuelMontes\\_357.pdf](http://www.mityc.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/357/14_ManuelMontes_357.pdf)

## **ANEXO 1**

### **TRAMOS EN LA RED DE OLEODUCTOS**

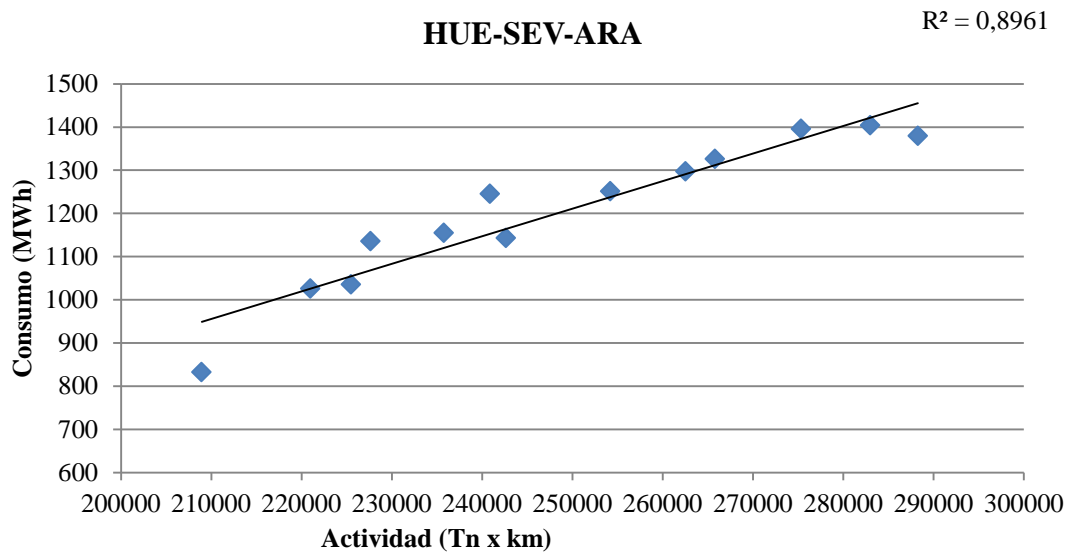
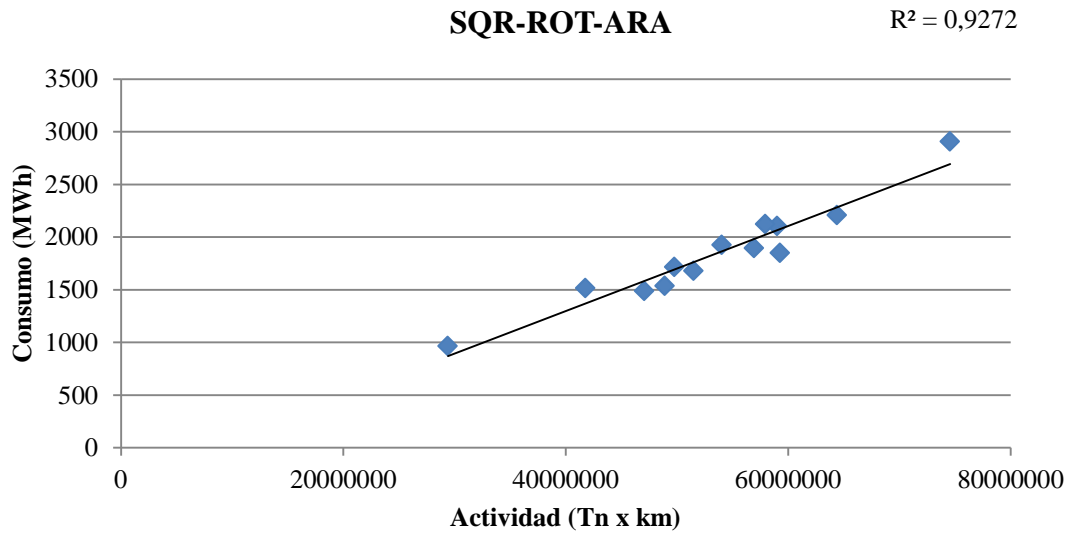


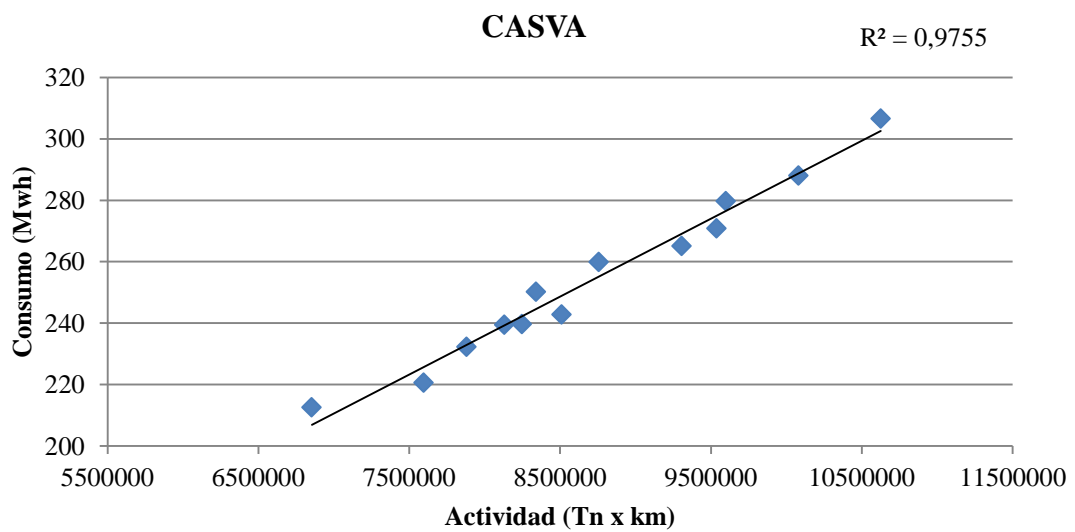
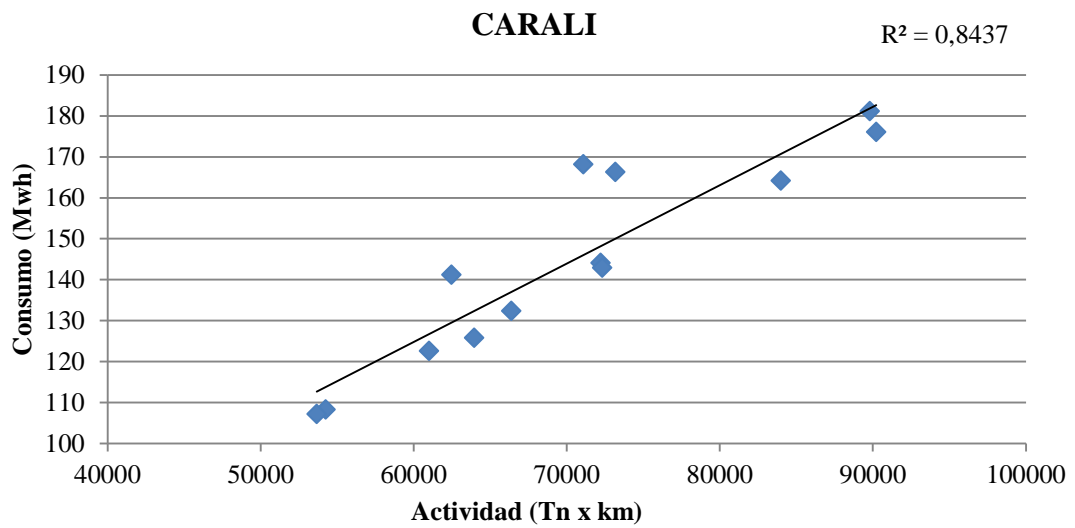
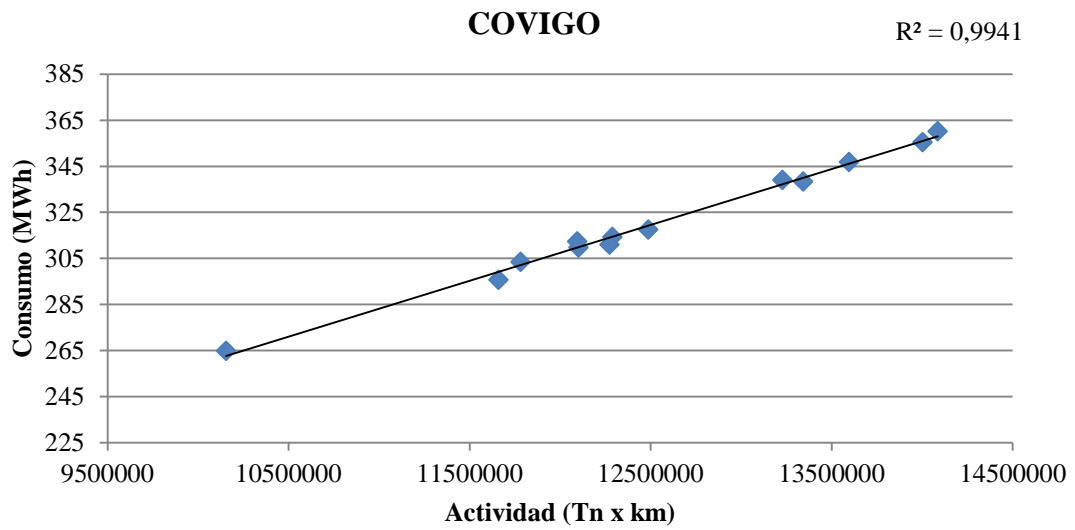
- **SQR-ROT-ARA:** San Roque - Rota - Arahal
- **HUE-SEV-ARA:** Huelva - Sevilla - Arahal
- **COVIGO:** Coruña - Vigo
- **CARALI:** Cartagena - Alicante
- **CASVA:** Castellón - Albuixech
- **ARA-MAL:** Arahal - Málaga
- **ARA-COR:** Arahal - Córdoba
- **ARA-ALMO:** Arahal - Córdoba - Adamuz - Almodóvar
- **ALMERA:** Almodóvar - Mérida
- **PUER-LOECHES:** Puertollano - Poblete - Mora - Loeches
- **TABAGE:** Tarragona - Barcelona - Gerona
- **TALEZA:** Tarragona - Lleida - Ballobar - Zaragoza
- **ROTAZA N:** Zaragoza - La Muela - Ariza- Loeches
- **ZARATO:** Loeches - Zaragoza
- **ZAR-BILVA:** Zaragoza - Navarra - Rivabellosa
- **BILVA:** El Calero - Rivabellosa - Burgos - León - Palencia - Santovenia - Salamanca
- **MAHÓN**
- **PORTO PI**

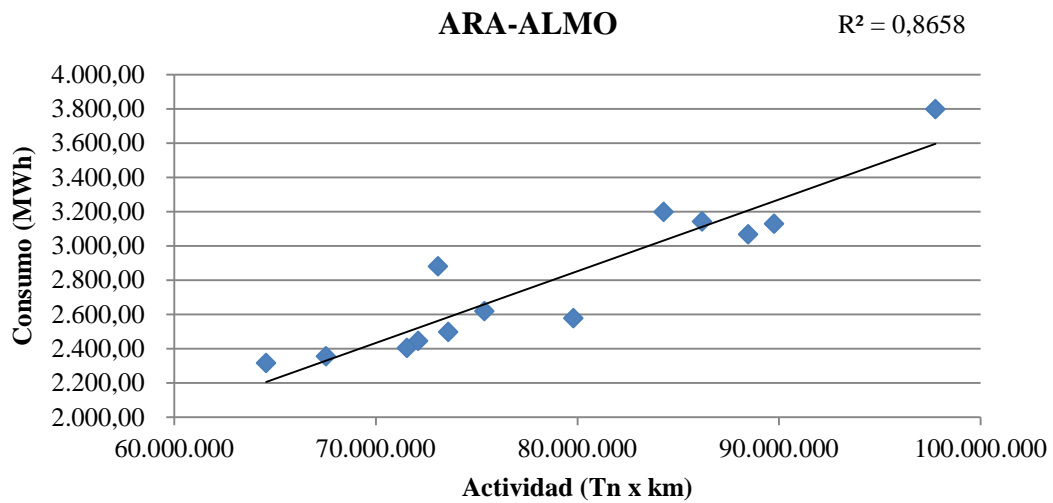
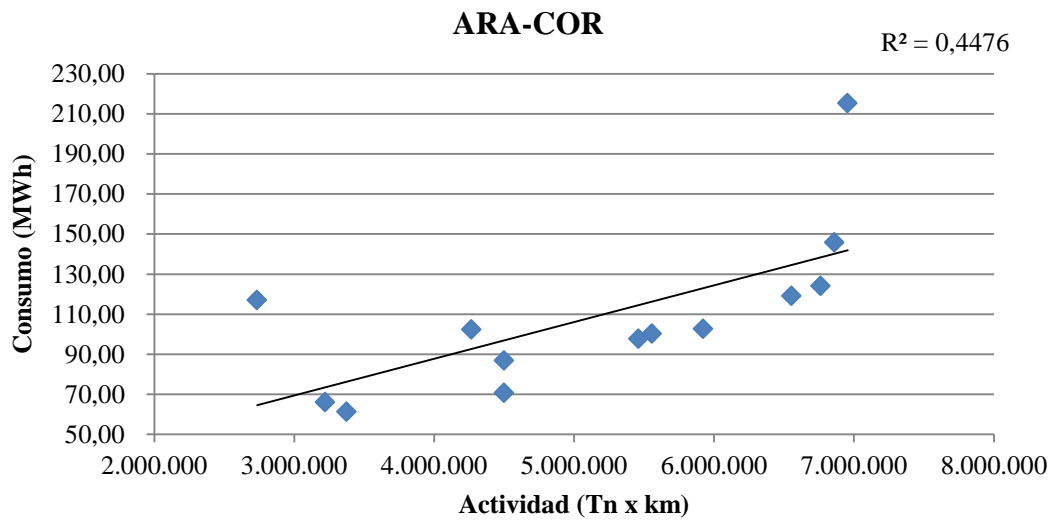
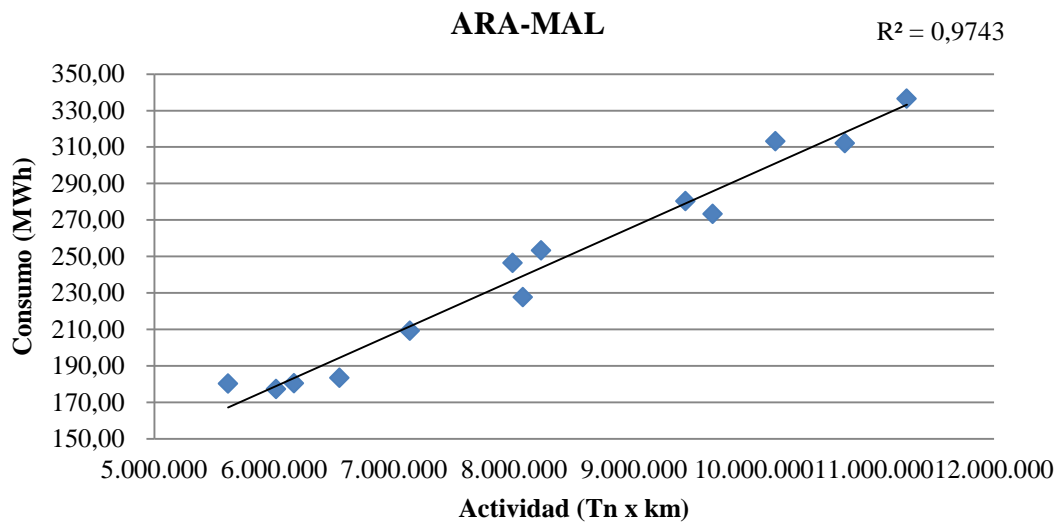
## **ANEXO 2**

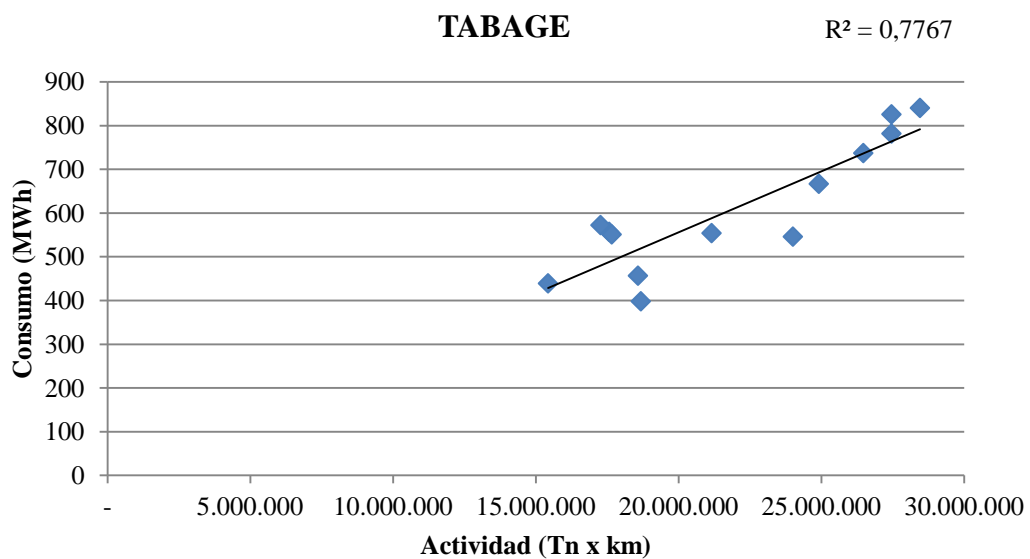
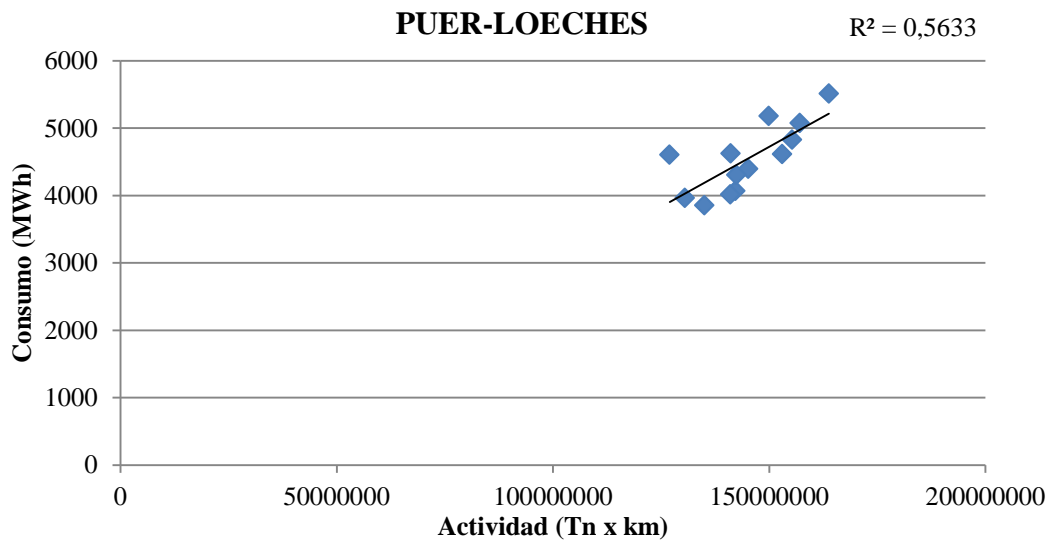
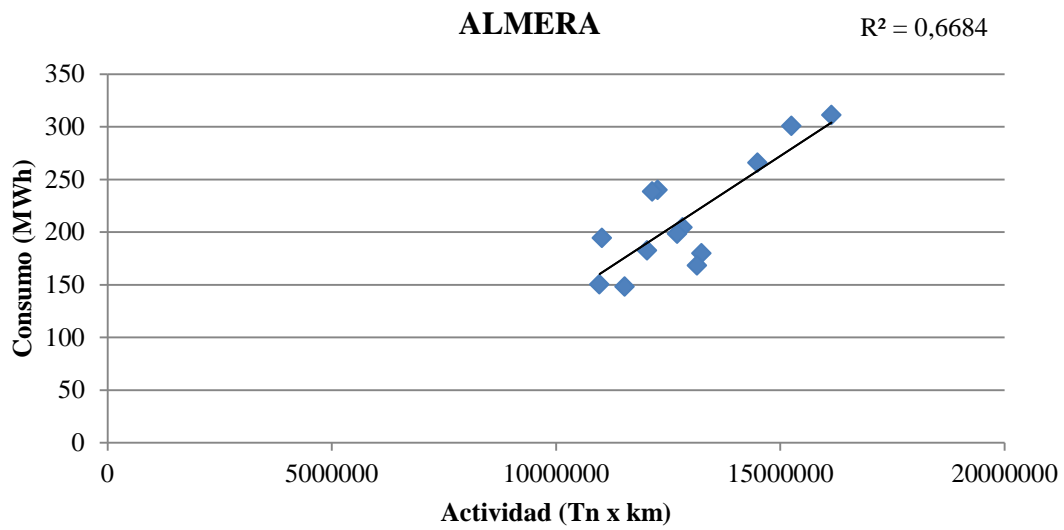
# **EVOLUCIÓN DEL CONSUMO EN LA RED DE OLEODUCTOS**

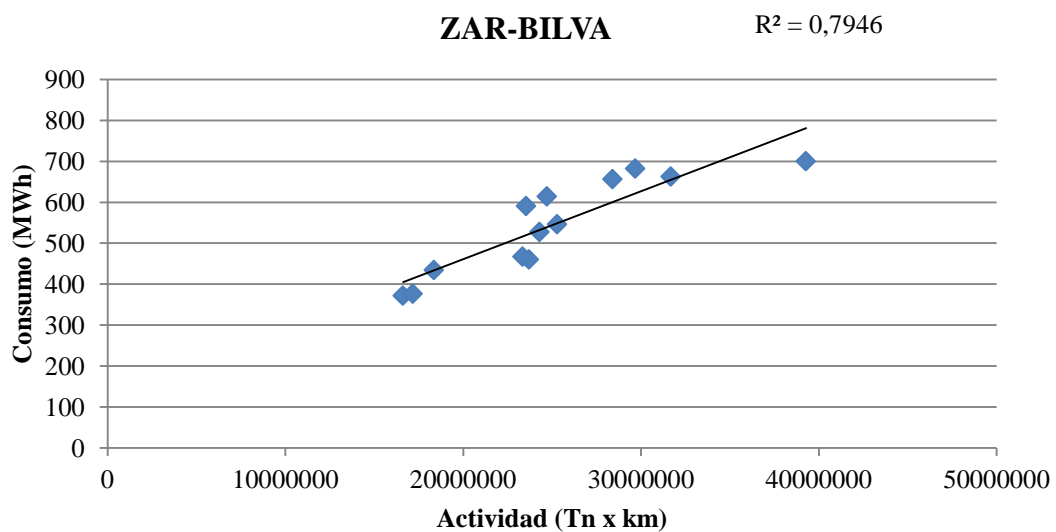
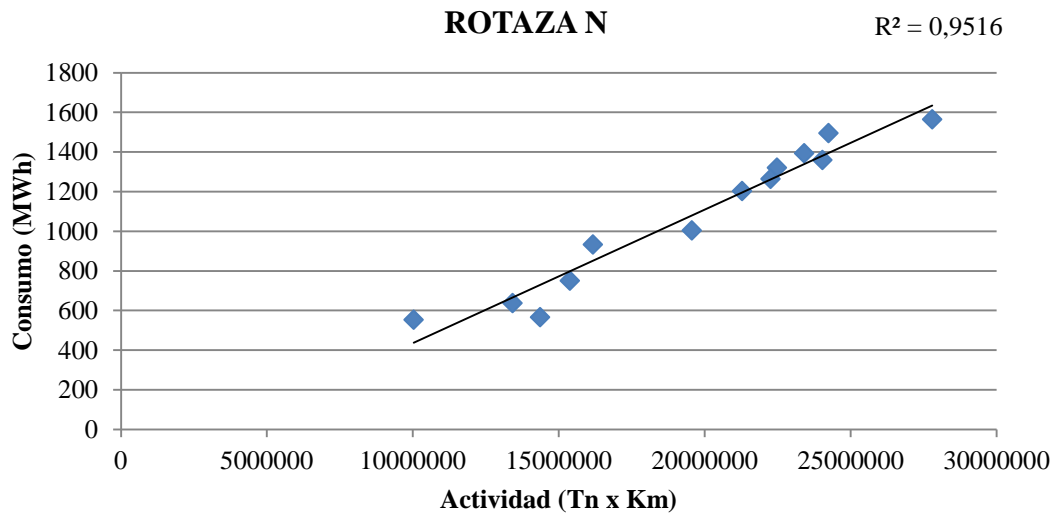
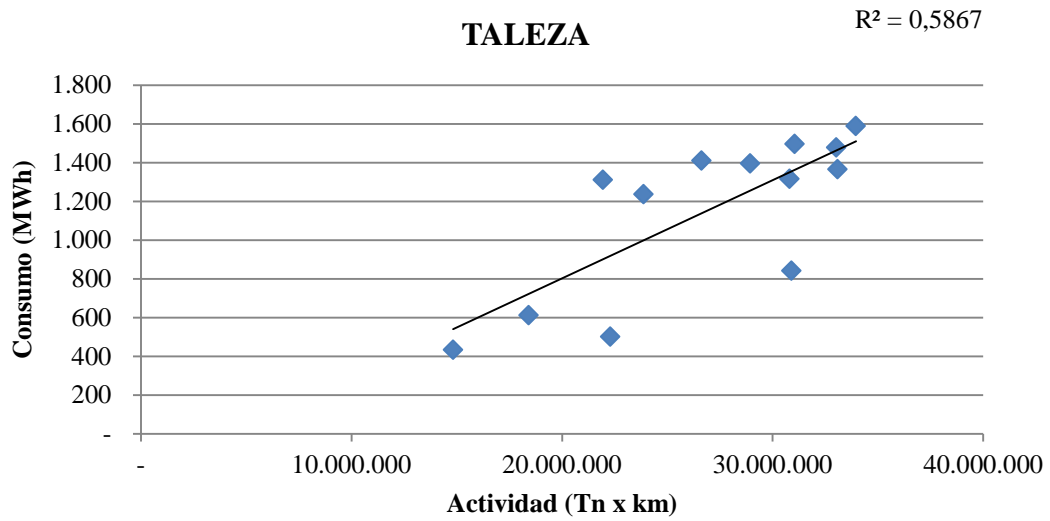
La tendencia del consumo en cada tramo de la red de oleoductos con respecto a la cantidad de producto transportado en relación a los kilómetros recorridos es la siguiente:

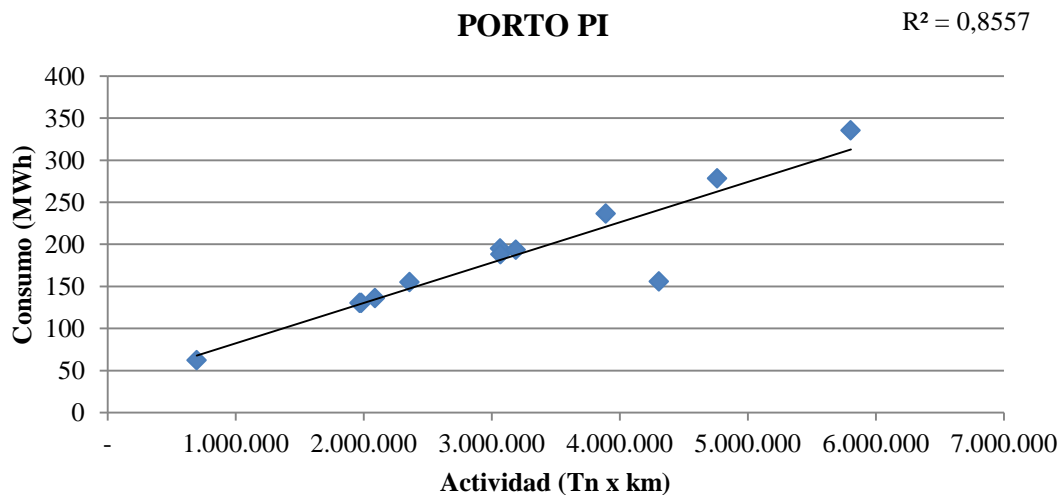
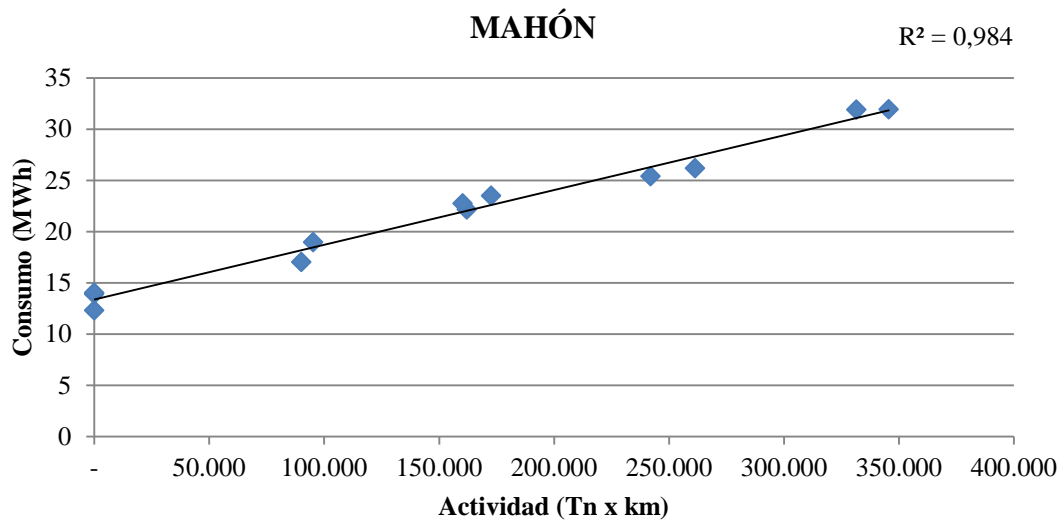
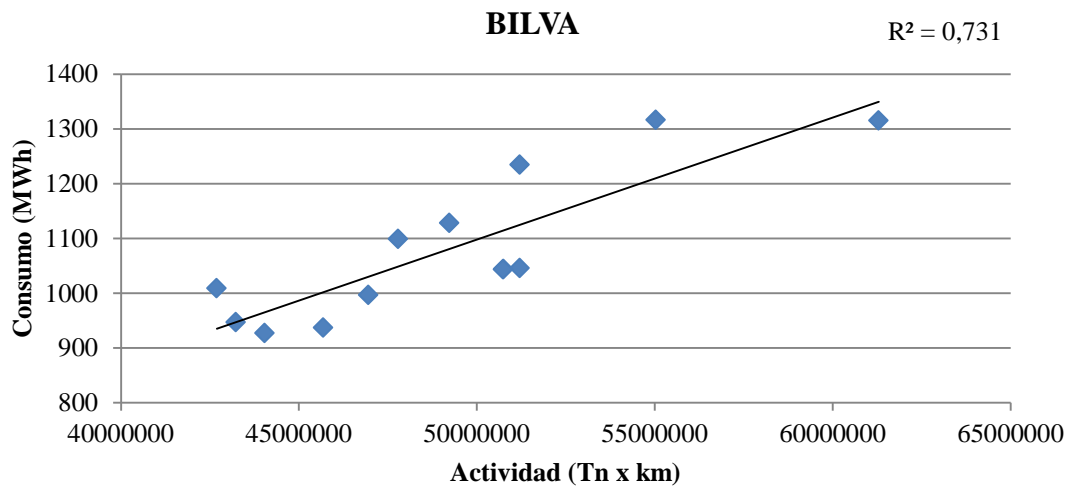














## **ANEXO 3**

### **PROGRAMA ANÁLISIS DE LAS BOMBAS DEL CARGADERO**

```
Option Compare Database
Private Sub Comando0_Click()
```

En primer lugar, se declaran las variables:

```
Dim Evento_Anterior As Integer
Evento_Anterior = 0
Dim brazos As Integer
brazos = 0
Dim Inicio As Integer
Inicio = 0
Dim Brazo_Anterior As Integer
Inicio = 0
Dim Brazo_Posterior As Integer
Inicio = 0
Dim COD_PRODUCTO_Anterior As Integer
Inicio = 0
```

Se abre la base de datos y se selecciona los eventos 209: contador arrancado y 211: carga contador terminado y nos lo ordena por el código del contador y fecha del sistema:

```
Set rutabd = OpenDatabase("C:\Users\ca80545\Documents\PRUEBA\i011.accdb")
Query = "SELECT * from CLHCSR_TCSLHECARI011 where COD_EVENTO=""211""
OR COD_EVENTO=""209"" order by COD_CONTADOR,FECHA_SISTEMA;"
Set Rs = rutabd.OpenRecordset(Query)
Set Rs1 = rutabd.OpenRecordset("Eventos_tratados") en esta tabla se guardan los datos tras
eliminar los datos erróneo que pueda haber.
Set Rs2 = rutabd.OpenRecordset("Productos") Tabla2: cada producto con distintos aditivos
corresponde a una familia de producto.
Set Rs5 = rutabd.OpenRecordset("Calculos")
```

El primer evento queremos que sea 209: contador arrancado (empieza la carga), para que se analicen cargas de cisternas completas.

```
Do While Not Rs.COD_EVENTO = 209
    Rs.MoveNext
Loop
Brazo_Anterior = Rs.COD_CONTADOR
Do While Not Rs.EOF
    Query3 = "SELECT * from Productos;"
    Set Rs3 = rutabd.OpenRecordset(Query3)
    If Rs.COD_CONTADOR <> Brazo_Anterior Then
        El primer evento es contador arrancado(empieza la carga) cada vez que se cambia de
        producto
        Do While Not Rs.COD_EVENTO = 209
            Rs.MoveNext
        Loop
    End If
```

Como esta ordenado por Brazo y Fecha tiene que seguir la lógica de carga y paro hasta que cambia de producto que en tal caso debe empezar cod\_evento = 209; para determinar cuando cambia de producto y obtener los datos:

```

Rs.MoveNext
Brazo_Posterior = Rs.COD_CONTADOR
On Error Resume Next
Rs.MovePrevious
If Evento_Anterior <> Rs.COD_EVENTO And Brazo_Posterior =
Rs.COD_CONTADOR Then
    Rs1.AddNew
    Rs1.COD_INSTALACION = Rs.COD_INSTALACION
    Rs1.FECHA_SISTEMA = Rs.FECHA_SISTEMA
    Rs1.COD_EVENTO = Rs.COD_EVENTO
    Rs1.NUM_ORDEN = Rs.NUM_ORDEN
    Rs1.COD_CONTADOR = Rs.COD_CONTADOR
    Do While Not Rs3.PRODUCTO = Rs.COD_PRODUCTO Se clasifican los
    productos con distintos aditivos por familia
        Rs3.MoveNext
    Loop
    Rs1.COD_PRODUCTO = Rs3.FAMILIA
    Rs1.CANT_BRUTA = Rs.CANT_BRUTA
    Cálculo del tiempo de carga de cada expedición:
    endTime = Rs.FECHA_SISTEMA
    starttime = FECHA_ANTERIOR_CARGA
    If Rs1.COD_EVENTO = 211 Then
        Rs1.TIEMPO_CARGA = DateDiff("s", starttime, endTime)
    End If
    Rs1.Update
End If
Evento_Anterior = Rs.COD_EVENTO
Brazo_Anterior = Rs.COD_CONTADOR
FECHA_ANTERIOR_CARGA = Rs.FECHA_SISTEMA
Rs.MoveNext
If Brazo_Anterior <> Rs.COD_CONTADOR Then
    Evento_Anterior = 211
End If
Loop

```

*Una vez obtenido los datos se procede al cálculo de número de bombas y brazos en marcha:*

```

Query4 = "SELECT * from Eventos_Tratados order by COD_PRODUCTO,
FECHA_SISTEMA, COD_EVENTO;"
Set Rs4 = rutabd.OpenRecordset(Query4)
Do While Not Rs4.EOF
    Rs5.AddNew
    If COD_PRODUCTO_Anterior <> Rs4.COD_PRODUCTO Then El número de
    brazos se pone a cero cada vez que cambia de producto
        brazos = 0
    End If
    Rs5.COD_INSTALACION = Rs4.COD_INSTALACION
    Rs5.FECHA_SISTEMA = Rs4.FECHA_SISTEMA
    Rs5.COD_EVENTO = Rs4.COD_EVENTO
    Rs5.NUM_ORDEN = Rs4.NUM_ORDEN
    Rs5.COD_CONTADOR = Rs4.COD_CONTADOR

```

```

Rs5.COD_PRODUCTO = Rs4.COD_PRODUCTO
Rs5.CANT_BRUTA = Rs4.CANT_BRUTA
Rs5.TIEMPO_CARGA = Rs4.TIEMPO_CARGA
If Rs5.COD_EVENTO = 209 Then
    brazos = brazos + 1
ElseIf Rs5.COD_EVENTO = 211 Then
    brazos = brazos - 1
End If
Rs5.NUM_BRAZOS = brazos
NUM_BOMBAS_Anterior = Rs5.BOMBAS_MARCHA
If Rs5.NUM_BRAZOS = 0 Then
    Bombas = 0
End If
If Rs5.NUM_BRAZOS = 1 Or Rs5.NUM_BRAZOS = 2 Then
    Bombas = 1
End If
If Rs5.NUM_BRAZOS = 3 Or Rs5.NUM_BRAZOS = 4 Then
    Bombas = 2
End If
If Rs5.NUM_BRAZOS = 5 Or Rs5.NUM_BRAZOS = 6 Then
    Bombas = 3
End If
If Rs5.NUM_BRAZOS = 7 Or Rs5.NUM_BRAZOS = 8 Then
    Bombas = 4
End If
If Rs5.NUM_BRAZOS = 9 Or Rs5.NUM_BRAZOS = 10 Then
    Bombas = 5
End If
If Rs5.NUM_BRAZOS = 11 Or Rs5.NUM_BRAZOS = 12 Then
    Bombas = 6
End If
If Rs5.NUM_BRAZOS = 13 Or Rs5.NUM_BRAZOS = 14 Then
    Bombas = 7
End If
If Rs5.NUM_BRAZOS = 13 Or Rs5.NUM_BRAZOS = 16 Then
    Bombas = 8
End If
Rs5.BOMBAS_MARCHA = Bombas
COD_PRODUCTO_Anterior = Rs4.COD_PRODUCTO
Rs5.Update
Rs4.MoveNext

```

Loop

```

Query6="SELECT * from Calculos order by COD_PRODUCTO, FECHA_SISTEMA,
COD_EVENTO;"

```

```

Set Rs6 = rutabd.OpenRecordset(Query6)

```

```

Set Rs7 = rutabd.OpenRecordset("Tiempo_recirculando")

```

```

'Function ElapsedTime(endTime As Date, startTime As Date)

```

```

Dim strOutput As String

```

```

Dim Interval As Date
BOMBAS_ANTERIOR = 0
Do While Not Rs6.EOF
    Rs7.AddNew
    Rs7.COD_INSTALACION = Rs6.COD_INSTALACION
    Rs7.FECHA_SISTEMA = Rs6.FECHA_SISTEMA
    Rs7.AÑO = Year(Rs7.FECHA_SISTEMA)
    Rs7.MES = Month(Rs7.FECHA_SISTEMA)
    Rs7.DIA = Day(Rs7.FECHA_SISTEMA)
    Rs7.HORA = Hour(Rs7.FECHA_SISTEMA)
    Rs7.DIA_SEMANA = WeekdayName(Weekday(Rs7.FECHA_SISTEMA,
vbMonday), , 2)
    Rs7.COD_EVENTO = Rs6.COD_EVENTO
    Rs7.NUM_ORDEN = Rs6.NUM_ORDEN
    Rs7.COD_CONTADOR = Rs6.COD_CONTADOR
    Rs7.COD_PRODUCTO = Rs6.COD_PRODUCTO
    Rs7.CANT_BRUTA = Rs6.CANT_BRUTA
    Rs7.TIEMPO_CARGA = Rs6.TIEMPO_CARGA
    Rs7.NUM_BRAZOS = Rs6.NUM_BRAZOS
    Rs7.BOMBAS_MARCHA = Rs6.BOMBAS_MARCHA
    If Rs7.BOMBAS_MARCHA = 1 And BOMBAS_ANTERIOR = 0 And
CODIGO_ANTERIOR = Rs6.COD_PRODUCTO Then
        endTime = Rs7.FECHA_SISTEMA
        starttime = FECHA_ANTERIOR
        Rs7.TIEMPO_ESPERA = DateDiff("s", starttime, endTime)
    End If
    Procedimiento para el cálculo del número de recirculaciones, si ha pasado más de 60
segundos y no ha entrado ninguna carga, se podría haber evitado la recirculación
(indicador a 1)
    If Rs7.TIEMPO_ESPERA > 60 Then
        Rs7.Indicador = 1
    End If
    If Rs7.TIEMPO_ESPERA > 0 And Rs7.TIEMPO_ESPERA < 60 Then
        Rs7.Indicador = 0
    End If
    Rs6.MoveNext Para el cálculo del tiempo de bombas y brazos en marcha:
    Fecha_Posterior = Rs6.FECHA_SISTEMA
    CODIGO_POSTERIOR = Rs6.COD_PRODUCTO
    On Error Resume Next
    Rs6.MovePrevious
    If Rs6.BOMBAS_MARCHA = 1 And CODIGO_POSTERIOR =
Rs6.COD_PRODUCTO Then
        endTime = Fecha_Posterior
        starttime = Rs7.FECHA_SISTEMA
        Rs7.TIEMPO_BOMBAS_MARCHA = DateDiff("s", starttime, endTime)
    End If
    If Rs6.BOMBAS_MARCHA = 2 And CODIGO_POSTERIOR =
Rs6.COD_PRODUCTO Then
        endTime = Fecha_Posterior
        starttime = Rs7.FECHA_SISTEMA

```

```

        Rs7.TIEMPO_BOMBAS_MARCHA = DateDiff("s", starttime, endTime)
    End If
    If Rs6.BOMBAS_MARCHA = 3 And CODIGO_POSTERIOR =
Rs6.COD_PRODUCTO Then
        endTime = Fecha_Posterior
        starttime = Rs7.FECHA_SISTEMA
        Rs7.TIEMPO_BOMBAS_MARCHA = DateDiff("s", starttime, endTime)
    End If
    If Rs6.BOMBAS_MARCHA = 4 And CODIGO_POSTERIOR =
Rs6.COD_PRODUCTO Then
        endTime = Fecha_Posterior
        starttime = Rs7.FECHA_SISTEMA
        Rs7.TIEMPO_BOMBAS_MARCHA = DateDiff("s", starttime, endTime)
    End If
    If Rs6.BOMBAS_MARCHA = 5 And CODIGO_POSTERIOR =
Rs6.COD_PRODUCTO Then
        endTime = Fecha_Posterior
        starttime = Rs7.FECHA_SISTEMA
        Rs7.TIEMPO_BOMBAS_MARCHA = DateDiff("s", starttime, endTime)
    End If
    If Rs6.BOMBAS_MARCHA = 6 And CODIGO_POSTERIOR =
Rs6.COD_PRODUCTO Then
        endTime = Fecha_Posterior
        starttime = Rs7.FECHA_SISTEMA
        Rs7.TIEMPO_BOMBAS_MARCHA = DateDiff("s", starttime, endTime)
    End If
    If Rs6.BOMBAS_MARCHA = 7 And CODIGO_POSTERIOR =
Rs6.COD_PRODUCTO Then
        endTime = Fecha_Posterior
        starttime = Rs7.FECHA_SISTEMA
        Rs7.TIEMPO_BOMBAS_MARCHA = DateDiff("s", starttime, endTime)
    End If
    If Rs6.NUM_BRAZOS = 1 And CODIGO_POSTERIOR = Rs6.COD_PRODUCTO
Then
        endTime = Fecha_Posterior
        starttime = Rs7.FECHA_SISTEMA
        Rs7.TIEMPO_BRAZOS_MARCHA = DateDiff("s", starttime, endTime)
    End If
    If Rs6.NUM_BRAZOS = 2 And CODIGO_POSTERIOR = Rs6.COD_PRODUCTO
Then
        endTime = Fecha_Posterior
        starttime = Rs7.FECHA_SISTEMA
        Rs7.TIEMPO_BRAZOS_MARCHA = DateDiff("s", starttime, endTime)
    End If
    If Rs6.NUM_BRAZOS = 3 And CODIGO_POSTERIOR = Rs6.COD_PRODUCTO
Then
        endTime = Fecha_Posterior
        starttime = Rs7.FECHA_SISTEMA
        Rs7.TIEMPO_BRAZOS_MARCHA = DateDiff("s", starttime, endTime)
    End If

```

```
If Rs6.NUM_BRAZOS = 4 And CODIGO_POSTERIOR = Rs6.COD_PRODUCTO
Then
    endTime = Fecha_Posterior
    starttime = Rs7.FECHA_SISTEMA
    Rs7.TIEMPO_BRAZOS_MARCHA = DateDiff("s", starttime, endTime)
End If
If Rs6.NUM_BRAZOS = 5 And CODIGO_POSTERIOR = Rs6.COD_PRODUCTO
Then
    endTime = Fecha_Posterior
    starttime = Rs7.FECHA_SISTEMA
    Rs7.TIEMPO_BRAZOS_MARCHA = DateDiff("s", starttime, endTime)
End If
If Rs6.NUM_BRAZOS = 6 And CODIGO_POSTERIOR = Rs6.COD_PRODUCTO
Then
    endTime = Fecha_Posterior
    starttime = Rs7.FECHA_SISTEMA
    Rs7.TIEMPO_BRAZOS_MARCHA = DateDiff("s", starttime, endTime)
End If
If Rs6.NUM_BRAZOS = 7 And CODIGO_POSTERIOR = Rs6.COD_PRODUCTO
Then
    endTime = Fecha_Posterior
    starttime = Rs7.FECHA_SISTEMA
    Rs7.TIEMPO_BRAZOS_MARCHA = DateDiff("s", starttime, endTime)
End If
If Rs6.NUM_BRAZOS = 8 And CODIGO_POSTERIOR = Rs6.COD_PRODUCTO
Then
    endTime = Fecha_Posterior
    starttime = Rs7.FECHA_SISTEMA
    Rs7.TIEMPO_BRAZOS_MARCHA = DateDiff("s", starttime, endTime)
End If
If Rs6.NUM_BRAZOS = 9 And CODIGO_POSTERIOR = Rs6.COD_PRODUCTO
Then
    endTime = Fecha_Posterior
    starttime = Rs7.FECHA_SISTEMA
    Rs7.TIEMPO_BRAZOS_MARCHA = DateDiff("s", starttime, endTime)
End If
If Rs6.NUM_BRAZOS = 10 And CODIGO_POSTERIOR = Rs6.COD_PRODUCTO
Then
    endTime = Fecha_Posterior
    starttime = Rs7.FECHA_SISTEMA
    Rs7.TIEMPO_BRAZOS_MARCHA = DateDiff("s", starttime, endTime)
End If
If Rs6.NUM_BRAZOS = 11 And CODIGO_POSTERIOR = Rs6.COD_PRODUCTO
Then
    endTime = Fecha_Posterior
    starttime = Rs7.FECHA_SISTEMA
    Rs7.TIEMPO_BRAZOS_MARCHA = DateDiff("s", starttime, endTime)
End If
If Rs6.NUM_BRAZOS = 12 And CODIGO_POSTERIOR = Rs6.COD_PRODUCTO
Then
```

```
        endTime = Fecha_Posterior
        starttime = Rs7.FECHA_SISTEMA
        Rs7.TIEMPO_BRAZOS_MARCHA = DateDiff("s", starttime, endTime)
    End If
    If Rs6.NUM_BRAZOS = 13 And CODIGO_POSTERIOR = Rs6.COD_PRODUCTO
Then
        endTime = Fecha_Posterior
        starttime = Rs7.FECHA_SISTEMA
        Rs7.TIEMPO_BRAZOS_MARCHA = DateDiff("s", starttime, endTime)
    End If
    If Rs6.NUM_BRAZOS = 14 And CODIGO_POSTERIOR = Rs6.COD_PRODUCTO
Then
        endTime = Fecha_Posterior
        starttime = Rs7.FECHA_SISTEMA
        Rs7.TIEMPO_BRAZOS_MARCHA = DateDiff("s", starttime, endTime)
    End If
    If Rs6.NUM_BRAZOS = 15 And CODIGO_POSTERIOR = Rs6.COD_PRODUCTO
Then
        endTime = Fecha_Posterior
        starttime = Rs7.FECHA_SISTEMA
        Rs7.TIEMPO_BRAZOS_MARCHA = DateDiff("s", starttime, endTime)
    End If
    If Rs6.NUM_BRAZOS = 16 And CODIGO_POSTERIOR = Rs6.COD_PRODUCTO
Then
        endTime = Fecha_Posterior
        starttime = Rs7.FECHA_SISTEMA
        Rs7.TIEMPO_BRAZOS_MARCHA = DateDiff("s", starttime, endTime)
    End If
    Rs7.Update
    BOMBAS_ANTERIOR = Rs6.BOMBAS_MARCHA
    FECHA_ANTERIOR = Rs6.FECHA_SISTEMA
    CODIGO_ANTERIOR = Rs6.COD_PRODUCTO
    Rs6.MoveNext
Loop
End Sub
```



## **ANEXO 4**

### **CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS DEL CARGADERO**



**HOJA DATOS GRUPO MOTOBOMBA CENTRÍFUGO**

CONDICIONES DE OPERACIÓN		
Fluido	GOA	Altura de aspiración máxima MLC
Temperatura bombeo	AMB	Altura de aspiración mínima MLC
Peso específico kg/m <sup>3</sup>	845	Altura impulsión máxima MLC
Viscosidad cinemática a 20 °C cst	5,33	Altura impulsión mínima MLC
Tensión de Vapor a 20 °C kg/cm <sup>2</sup> abs	0,007	Altura diferencial MLC 58
Caudal nominal m <sup>3</sup> /h	250	Presión diferencial kg/cm <sup>2</sup>
CARACTERÍSTICAS DE LA BOMBA		
Marca y tipo	KSB ITUR Spain / RPH S1-150-280B	
Código de diseño	s/	API 610
Tipo de bomba (ejecución API)		OH2
Número de etapas	1	
Velocidad	rpm	2.970
Potencia absorbida en el punto nominal/máxima (kw)		44,79/46,6
NPSH requerido	m	4,2
Caudal mínimo estable	m <sup>3</sup> /h	28
Altura a caudal cero	mcl	75
Rendimiento	%	74,5
Caudal máximo rendimiento	m <sup>3</sup> /h	280
Velocidad específica de succión	m <sup>3</sup> /h / rpm / m	15048
Velocidad periférica	m/s	37,92
Superficie ojo impulsor	cm <sup>2</sup>	
Concepción del cuerpo de la bomba	Horizontal/Vertical Centerline/Pie/Soporte/En	Horizontal
Tipo carcasa	línea	Centerline
Tipo de división	Axial/Radial	Radial
Voluta	Simple/Doble	Doble
Montaje del impulsor	Entre cojinetes/Voladizo	Voladizo
Forma neutralización empuje axial		
Impulsor	Abierto/Cerrado/Semi	Cerrado
Diámetros límites del impulsor (mínimo/Máximo)	mm/mm	235/295
Diámetro seleccionado de impulsor	mm/mm	244
PD <sup>2</sup> del rotor con accionamiento	kg/m	0,18
Posición brida aspiración vista desde el motor	dcha/izda/delante	delante

Implementación de un sistema de gestión de la energía en la logística de combustibles

Posición brida impulsión vista desde el motor	dcha/izda/arriba	arriba (tangencial)
Sentido rotación desde el motor	Horario/Antihorario	Horario
Bancada bajo bomba y motor	Si/No	Si
Bancada	Bandeja recogida/Canalón periférico	Canalón periférico
Número de curva		
<b>CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR</b>		
Velocidad de rotación rpm	rpm	3.000
Disposición del eje	Horizontal/Vertical	Horizontal
Instalación	Exterior/Interior	Exterior
Clasificación de zona		Clase 1 zona 2 Subgrupo IIAT3
Tensión de Vapor a 20 °C kg/cm2 abs	V	400
Marca y tipo		ABB
Potencia	kW	55
Clase rotor		Jaula de ardilla
Protección mecánica		IP-55
Protección antiexplosiva		EEX de IIBT4
Ejecución		B3
Clasificación ATEX		Si
Tipo arranque	Directo/Estrella/Triángulo	Posibilidad de ambos
Suministro motor por parte del fabricante	Si/No	Si
Variador de velocidad	Si/No	Si
Suministro del variador de velocidad por fabricante	Si/No	Si
Fabricante		ABB
Rendimiento motor		
Tipo aislamiento		F/Inc. Clase B
Intensidad de arranque	A	96



**HOJA DATOS GRUPO MOTOBOMBA CENTRÍFUGO**

CLASE DE MATERIALES		
Norma de fabricación	s/	S-1 DE API 610
Cuerpo de bomba	AC	A216 WCB
Tornillos de cuerpo de bomba		1,7709
Junta de cuerpo de bomba		Espirometálica (1,4571+Grafito)
Impulsor		Nodular (JS 1030)
Difusor		N.A.
Anillos desgaste del cuerpo		VG 434
Anillos desgaste impulsor		1,4027 (Tipo CA15)
Eje	AC	C45 + N (Acero al carbono)
Camisa del eje		en cartucho Crane AISI-316
Diámetro eje bajo impulsor	mm	50
Extremos del eje	Cilíndrico o cónico	Cilíndrico
DISEÑO BOMBA		
Presión de diseño carcasa	kg/cm <sup>2</sup>	52
Temperatura de diseño carcasa	°C	80
Espesor de la carcasa	mm	19
Sobre espesor de corrosión	mm	3
Conexión drenaje	Tamaño y tipo	1/2" en bomba/ acabado brida 3/4"/300 lbs
Conexión venteo	Tamaño y tipo	No incluye (autoventeante)
Clase y diseño de brida aspiración	ANSI-RF	ANSI 8" 300 lbs ANSI B16.5
Clase y diseño de brida impulsión	ANSI-RF	ANSI 8" 300 lbs ANSI B16.5
ACOPLAMIENTO		
Fabricante		METASTREAM
Tipo		TSKS
Modelo		TSKS-033-0688-1800
Espaciador		180 mm
Protección antichispas		Si
CIERRE MECÁNICO		
Fabricante		JONH CRANE
Modelo		1648
Materiales cierre		C/Csi
Código fabricante		BSAFN
Código API		C2 A1 A
API plan		"11-61"
Equilibrado de cierre		Si
EMPAQUETADURA		
Material empaquetadura		N.A.
Diámetro empaquetadura		N.A.




## Implementación de un sistema de gestión de la energía en la logística de combustibles

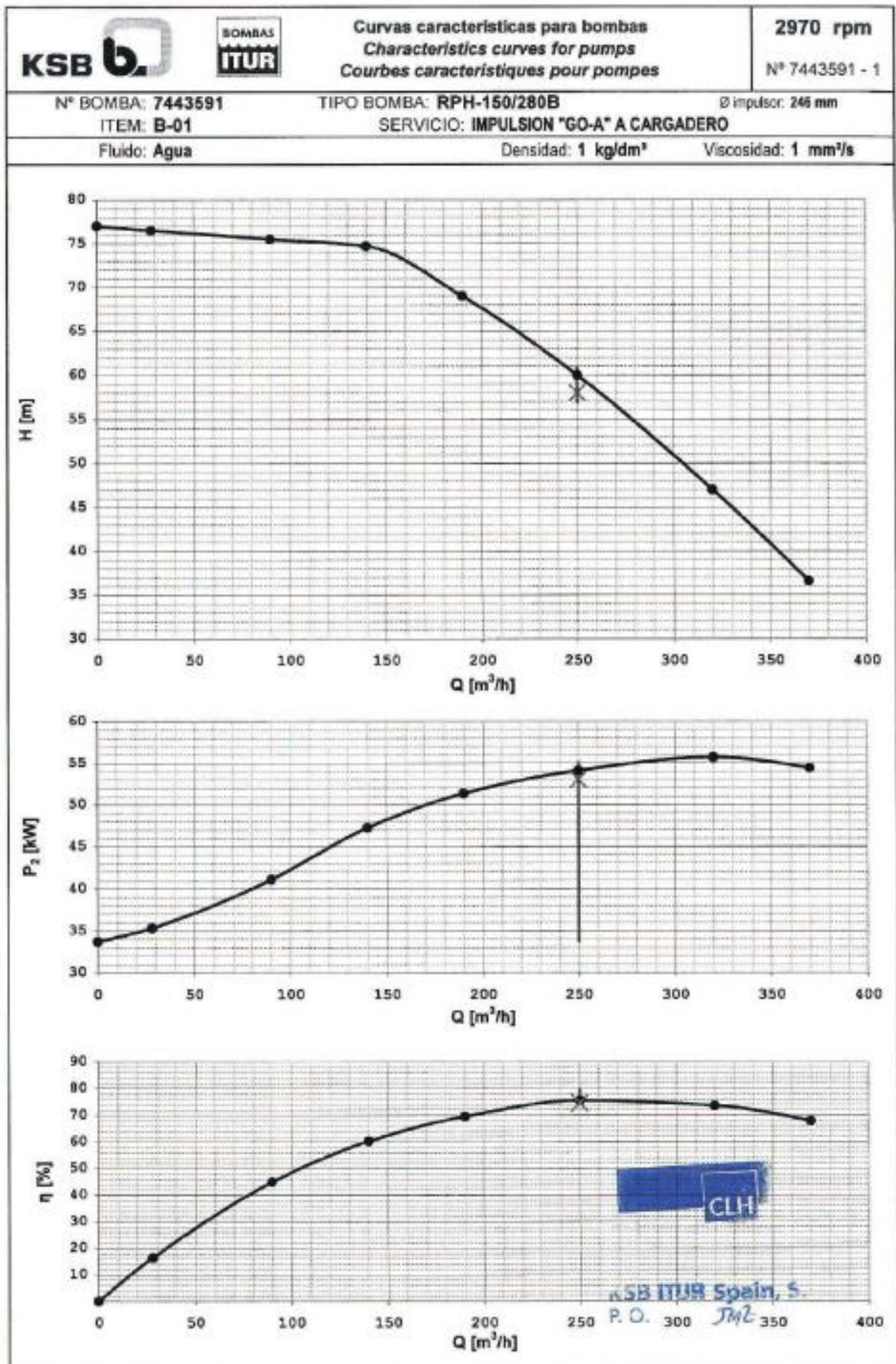
---

VARIOS		
Tipo cojinete radial y número		UN 316 C3
Tipo cojinete axial y número		2 x 7315 BMUA
Refrigeración cojinetes	Agua (A), Líquido (L)	N.A.
Procedimiento estanqueidad en los cojinetes		Laberintos
Tipo de engrase		Aceite / depósito nivel cte




## **ANEXO 5**

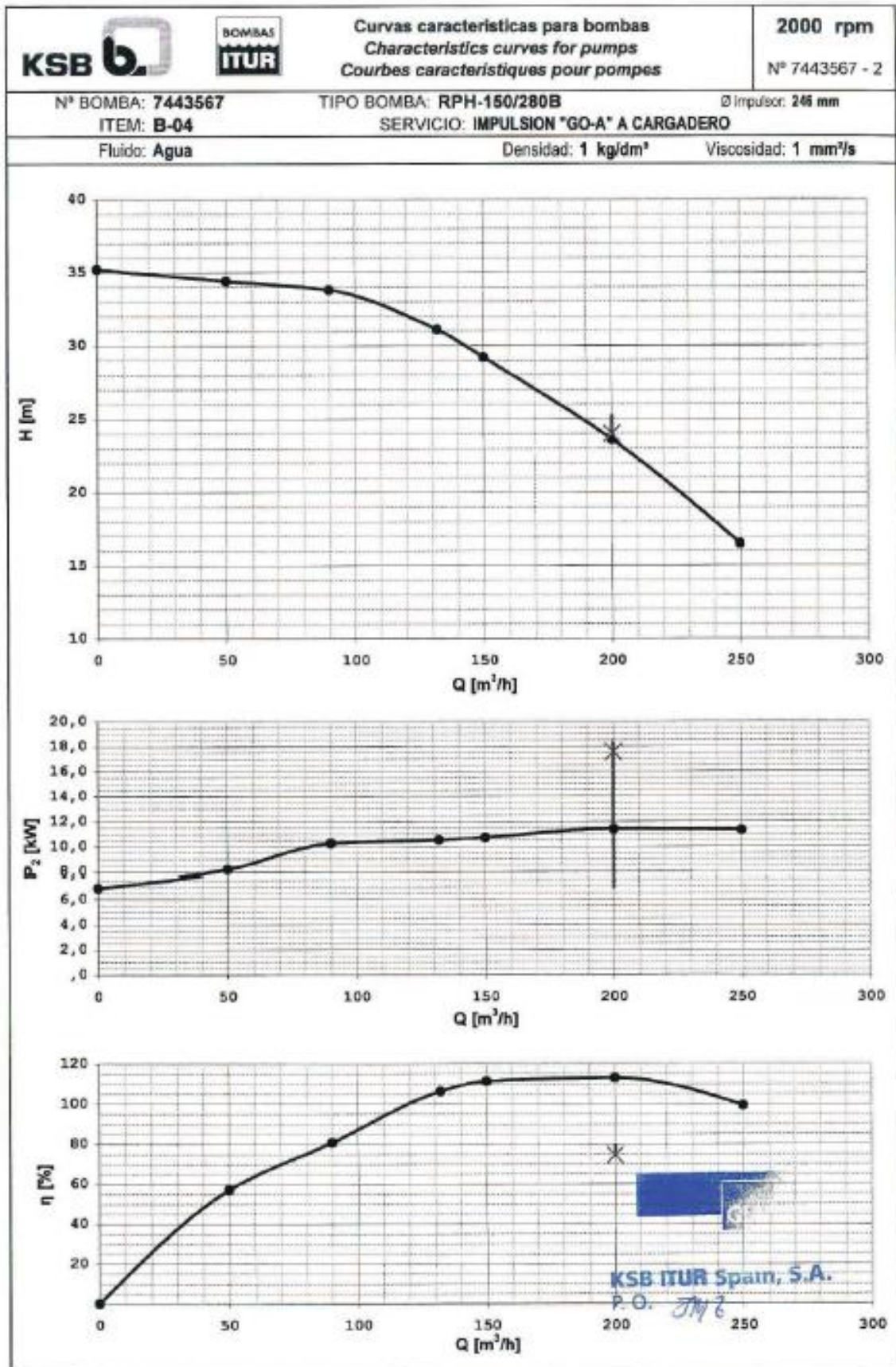
### **CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS DEL CARGADERO**

 	<b>KSB ITUR Spain, S.A.</b> P.O. Box 41 - 20600 ZARAUZ (Gipuzkoa) SPAIN Tel: +34 943 899 690	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS:</b> EN 10.204-3.1      N° 7443591 - 1																																																																																																																								
	<b>CARACTERISTICAS GENERALES</b>																																																																																																																									
CLIENTE: <b>CIA.LOGISTICA HIDROCARBUROS CLH,S.A</b> LOCALIDAD: <b>28045 MADRID</b> PEDIDO N°: <b>8000008952</b> ITEM: <b>B-01</b> SERVICIO: <b>IMPULSION "GO-A" A CARGADERO</b>  TIPO BOMBA: <b>RPH-150/280B</b> N° BOMBA: <b>7443591</b>	<b>CARACTERISTICAS DE PEDIDO</b>  Fluido: <b>GO-A</b> Temperatura fluido: <b>20 °C</b> Caudal: <b>250 m³/h</b> Altura: <b>58 m</b> Rendimiento: <b>74,5 %</b>  Viscosidad: <b>7,5 mm²/s</b> Densidad: <b>0,9 kg/dm³</b>																																																																																																																									
<b>CARACTERISTICAS DE PRUEBA</b>																																																																																																																										
<b>BOMBA</b> Fluido de prueba: <b>Agua</b> Caudal prueba: <b>250 m³/h</b> Altura prueba: <b>58 m</b> Velocidad: <b>2970 rpm</b> Rendimiento: <b>74,5 %</b> Ø impulsor: <b>246 mm</b> Viscosidad: <b>1 mm²/s</b> Densidad: <b>1 kg/dm³</b>	<b>MOTOR</b> Fabricante: <b>ABB</b> Modelo: N° de serie: <b>3GK10009301</b>  Potencia: <b>55 kW</b> Tensión: <b>400 V</b> Velocidad síncrona: <b>3000 rpm</b> Protección: <b>IP-55</b>	Intensidad: <b>96 A</b> Frecuencia: <b>50 Hz</b>																																																																																																																								
<b>DATOS DE PRUEBA</b> Procedimiento: ITPF-064      Tolerancias de prueba según: Cliente																																																																																																																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Punto de ensayo</th> <th>Unidad</th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Caudal</td> <td>m³/h</td> <td>370</td> <td>320</td> <td>250</td> <td>190</td> <td>140</td> <td>90</td> <td>28</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Altura impulsión</td> <td>m</td> <td>37,7</td> <td>48,8</td> <td>62,6</td> <td>71,9</td> <td>77,9</td> <td>79,3</td> <td>81,4</td> <td>82,1</td> </tr> <tr> <td>Altura aspiración</td> <td>m</td> <td>2,3</td> <td>2,7</td> <td>3,1</td> <td>3,2</td> <td>3,4</td> <td>3,9</td> <td>4,9</td> <td>5,1</td> </tr> <tr> <td>Cota manométrica</td> <td>m</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Delta (v%<sub>Q</sub>)</td> <td>m</td> <td>1,2</td> <td>0,9</td> <td>0,5</td> <td>0,3</td> <td>0,2</td> <td>0,1</td> <td>0,0</td> <td>0,0</td> </tr> <tr> <td>Altura total</td> <td>m</td> <td>36,6</td> <td>47</td> <td>60</td> <td>69</td> <td>74,7</td> <td>75,5</td> <td>76,5</td> <td>77</td> </tr> <tr> <td>Tensión</td> <td>V</td> <td>400</td> <td>400</td> <td>400</td> <td>400</td> <td>400</td> <td>400</td> <td>400</td> <td>400</td> </tr> <tr> <td>Potencia red</td> <td>kW</td> <td>58,1</td> <td>59,5</td> <td>57,8</td> <td>54,9</td> <td>50,6</td> <td>44,2</td> <td>38,2</td> <td>36,5</td> </tr> <tr> <td>Intensidad</td> <td>A</td> <td>95,6</td> <td>97,8</td> <td>95,1</td> <td>90,8</td> <td>84,7</td> <td>75,4</td> <td>66,9</td> <td>64,6</td> </tr> <tr> <td>Velocidad</td> <td>r.p.m.</td> <td>2970</td> <td>2970</td> <td>2970</td> <td>2970</td> <td>2970</td> <td>2970</td> <td>2970</td> <td>2970</td> </tr> <tr> <td>Presión en caja</td> <td>kg/cm²</td> <td>2,1</td> <td>2,8</td> <td>3,3</td> <td>3,6</td> <td>4</td> <td>4,5</td> <td>5,2</td> <td>5,8</td> </tr> </tbody> </table>			Punto de ensayo	Unidad									Caudal	m³/h	370	320	250	190	140	90	28	0	Altura impulsión	m	37,7	48,8	62,6	71,9	77,9	79,3	81,4	82,1	Altura aspiración	m	2,3	2,7	3,1	3,2	3,4	3,9	4,9	5,1	Cota manométrica	m	0	0	0	0	0	0	0	0	Delta (v% <sub>Q</sub> )	m	1,2	0,9	0,5	0,3	0,2	0,1	0,0	0,0	Altura total	m	36,6	47	60	69	74,7	75,5	76,5	77	Tensión	V	400	400	400	400	400	400	400	400	Potencia red	kW	58,1	59,5	57,8	54,9	50,6	44,2	38,2	36,5	Intensidad	A	95,6	97,8	95,1	90,8	84,7	75,4	66,9	64,6	Velocidad	r.p.m.	2970	2970	2970	2970	2970	2970	2970	2970	Presión en caja	kg/cm²	2,1	2,8	3,3	3,6	4	4,5	5,2	5,8
Punto de ensayo	Unidad																																																																																																																									
Caudal	m³/h	370	320	250	190	140	90	28	0																																																																																																																	
Altura impulsión	m	37,7	48,8	62,6	71,9	77,9	79,3	81,4	82,1																																																																																																																	
Altura aspiración	m	2,3	2,7	3,1	3,2	3,4	3,9	4,9	5,1																																																																																																																	
Cota manométrica	m	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																	
Delta (v% <sub>Q</sub> )	m	1,2	0,9	0,5	0,3	0,2	0,1	0,0	0,0																																																																																																																	
Altura total	m	36,6	47	60	69	74,7	75,5	76,5	77																																																																																																																	
Tensión	V	400	400	400	400	400	400	400	400																																																																																																																	
Potencia red	kW	58,1	59,5	57,8	54,9	50,6	44,2	38,2	36,5																																																																																																																	
Intensidad	A	95,6	97,8	95,1	90,8	84,7	75,4	66,9	64,6																																																																																																																	
Velocidad	r.p.m.	2970	2970	2970	2970	2970	2970	2970	2970																																																																																																																	
Presión en caja	kg/cm²	2,1	2,8	3,3	3,6	4	4,5	5,2	5,8																																																																																																																	
<b>CORRECCIÓN A RPM GARANTIZADO ( 2970 rpm )</b>																																																																																																																										
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Caudal</td> <td>m³/h</td> <td>370</td> <td>320</td> <td>250</td> <td>190</td> <td>140</td> <td>90</td> <td>28</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Altura total</td> <td>m</td> <td>36,6</td> <td>47</td> <td>60</td> <td>69</td> <td>74,7</td> <td>75,5</td> <td>76,5</td> <td>77</td> </tr> <tr> <td>Potencia absorbida bomba</td> <td>kW</td> <td>54,4</td> <td>55,7</td> <td>54,1</td> <td>51,3</td> <td>47,3</td> <td>41,1</td> <td>35,3</td> <td>33,7</td> </tr> <tr> <td>Rendimiento bomba</td> <td>%</td> <td>67,8</td> <td>73,5</td> <td>75,5</td> <td>69,5</td> <td>60,3</td> <td>45,0</td> <td>16,5</td> <td>0,0</td> </tr> </tbody> </table>			Caudal	m³/h	370	320	250	190	140	90	28	0	Altura total	m	36,6	47	60	69	74,7	75,5	76,5	77	Potencia absorbida bomba	kW	54,4	55,7	54,1	51,3	47,3	41,1	35,3	33,7	Rendimiento bomba	%	67,8	73,5	75,5	69,5	60,3	45,0	16,5	0,0																																																																																
Caudal	m³/h	370	320	250	190	140	90	28	0																																																																																																																	
Altura total	m	36,6	47	60	69	74,7	75,5	76,5	77																																																																																																																	
Potencia absorbida bomba	kW	54,4	55,7	54,1	51,3	47,3	41,1	35,3	33,7																																																																																																																	
Rendimiento bomba	%	67,8	73,5	75,5	69,5	60,3	45,0	16,5	0,0																																																																																																																	
<b>COMPROBACIÓN GARANTÍAS</b> Punto garantizado      Punto de ensayo      Desviación      Tolerancia																																																																																																																										
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Caudal</td> <td>m³/h</td> <td>250</td> <td>250,00</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Altura total</td> <td>m</td> <td>58</td> <td>60,00</td> <td>3,4%</td> <td>-2% +5%</td> </tr> <tr> <td>Altura a Q=0</td> <td>m</td> <td>75</td> <td>77,00</td> <td>2,7%</td> <td>-4% +6%</td> </tr> <tr> <td>Potencia absorbida bomba</td> <td>kW</td> <td>53,00</td> <td>54,10</td> <td>2,1%</td> <td>+4%</td> </tr> </tbody> </table>			Caudal	m³/h	250	250,00			Altura total	m	58	60,00	3,4%	-2% +5%	Altura a Q=0	m	75	77,00	2,7%	-4% +6%	Potencia absorbida bomba	kW	53,00	54,10	2,1%	+4%																																																																																																
Caudal	m³/h	250	250,00																																																																																																																							
Altura total	m	58	60,00	3,4%	-2% +5%																																																																																																																					
Altura a Q=0	m	75	77,00	2,7%	-4% +6%																																																																																																																					
Potencia absorbida bomba	kW	53,00	54,10	2,1%	+4%																																																																																																																					
<b>OBSERVACIONES:</b>																																																																																																																										
<b>KSB ITUR Spain, S.A.</b> KSB ITUR Spain, S.A. P.O.      JAE Fecha: 27/4/2010		INSPECCIÓN: 28/04/10 																																																																																																																								





 		<b>KSB ITUR Spain, S.A.</b> P.O.Box 41 - 20800 ZARAUZ (Gipuzkoa) SPAIN Tel: +34 943 899 899		<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS:</b> EN 10.204-3.1      Nº 7443567 - 2						
<b>CARACTERISTICAS GENERALES</b>				<b>CARACTERISTICAS DE PEDIDO</b>						
CLIENTE:	<b>CIALOGISTICA HIDROCARBUROS CLH,S.A</b>		Fluido:	<b>GO-A</b>						
LOCALIDAD:	<b>28045 MADRID</b>		Temperatura fluido:	<b>20 °C</b>						
PEDIDO Nº:	<b>8000008952</b>		Caudal:	<b>250 m³/h</b>						
ITEM:	<b>B-04</b>		Altura:	<b>58 m</b>						
SERVICIO:	<b>IMPULSION "GO-A" A CARGADERO</b>									
TIPO BOMBA:	<b>RPH-150/280B</b>		Viscosidad:	<b>7,5 mm²/s</b>						
Nº BOMBA:	<b>7443567</b>		Densidad:	<b>0,9 kg/dm³</b>						
<b>CARACTERISTICAS DE PRUEBA</b>										
<b>BOMBA</b>			<b>MOTOR</b>							
Fluido de prueba:	<b>Agua</b>		Fabricante:	<b>ABB</b>						
Caudal prueba:	<b>200 m³/h</b>		Modelo:							
Altura prueba:	<b>24 m</b>		Nº de serie:	<b>3GF10009799</b>						
Velocidad:	<b>2000 rpm</b>		Potencia:	<b>55 kW</b>						
Rendimiento:	<b>74,5 %</b>		Tensión:	<b>400 V</b>						
Ø impulsor:	<b>246 mm</b>		Velocidad sincrónica:	<b>3000 rpm</b>	Intensidad: <b>96 A</b>					
Viscosidad:	<b>1 mm²/s</b>		Protección:	<b>IP-55</b>						
Densidad:	<b>1 kg/dm³</b>			Frecuencia: <b>50 Hz</b>						
<b>DATOS DE PRUEBA</b> Procedimiento: ITPF-064      Tolerancias de prueba según: Cliente										
Punto de ensayo	Unidad									
Caudal	m³/h	250	200	150	132	90	50	0		
Altura impulsión	m	18,7	26,2	32	34	36,9	37,6	39		
Altura aspiración	m	2,7	2,9	3	3,1	3,2	3,2	3,8		
Cota manométrica	m	0	0	0	0	0	0	0		
Delta (r²/g)	m	0,5	0,3	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0		
Altura total	m	16,5	23,6	29,2	31,1	33,8	34,4	35,2		
Tensión	V	290	290	290	290	290	290	290		
Potencia red	kW	17,8	17,7	16,7	16,4	16	12,9	10,9		
Intensidad	A	80,8	81,3	49,4	49	46,2	42	38,4		
Velocidad	r.p.m.	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000		
Presión en caja	kg/cm²	1,1	1,5	1,7	1,8	2,1	2,4	2,9		
<b>CORRECCIÓN A RPM GARANTIZADO ( 2000 rpm )</b>										
Caudal	m³/h	250	200	150	132	90	50	0		
Altura total	m	16,5	23,6	29,2	31,1	33,8	34,4	35,2		
Potencia absorbida bomba	kW	11,3	11,4	10,7	10,5	10,3	8,2	6,88		
Rendimiento bomba	%	99,3	113,0	111,3	108,3	80,8	57,1	0,0		
<b>COMPROBACIÓN GARANTÍAS</b>										
		Punto garantizado	Punto de ensayo	Desviación	Tolerancia					
Caudal	m³/h	200	200,00							
Altura total	m	24	23,60	-1,7%	-2% +5%					
Altura a Q=0	m		35,20		-4% +6%					
Potencia absorbida bomba	kW	17,55	11,38	-35,2%	+4%					
<b>OBSERVACIONES:</b>										
<b>KSB ITUR Spain, S.A.</b> P.O. <i>JPE</i>				INSPECCIÓN: <i>[Firma]</i>				Fecha: 27/4/2010		



## **ANEXO 6**

### **CÓDIGO DE PRODUCTOS**



PRODUCTO	DESCRIPCIÓN	PRODUCTO	DESCRIPCIÓN
101	GNA 95	304	NAFTA P.GR.1
102	GNA95 COMERCIAL	305	NAFTA P.GR.2
103	COMPONENTE C-9	306	NAFTA P.GR.3
104	GNA 97	401	P.CTE.COMBUST.
106	GASOLINA 98 FR	405	P.CTE.CARBURANT
107	GNA 97	406	PCTE/MEZCLA GOA
108	GASOLINA 97 FR	409	BIOESTER
109	GNA 98	501	JET A-1
111	GNA FR SUPERCAR	503	JP8MILDTL83133G
125	GNA 95 SIN BIO	504	JP-5
140	BIOETANOL 95	513	SIN UTILIZACION
141	GNA-95 E5	527	DIF GOC CEPESA
145	GNA-95 E2	544	NEMO HUB D GO
146	GNA-95E2 COMERC	600	GO-10
147	BIOETANOL 98	601	GO F76
148	E85	602	GO1ºLL
149	E15	603	GO C FRANCES
150	PDTO SIN USO	604	GO A
151	BIOETANOL CARB.	605	GO B 10
160	BIODIESEL 1	606	GO C
161	BIODIESEL (REF)	607	OGOS
162	BIODIESEL 2	608	GO MARINO
163	BIODIESEL 3	609	GO A FRANCES
165	BIODIESEL 4	615	GO B
166	HVO	616	GO B FRANCES
167	HVO-GO	617	GOC FOD HIVER
168	BIODIESEL 605	624	GOA-10
191	PRUEBAS GNA95	625	GOA SIN BIO
205	AVGAS 100LL	626	GO DMA
244	NEMO HUB D GNA	628	GOMA SIN TRAZAR
301	NAFTA L.GR.1	629	BIOCARB. B7
302	NAFTA L.GR.2	630	GOA B7
303	NAFTA L.GR.3	631	BIOCARB. B10-1

## **ANEXO 7**

### **MÉTODO DE CÁLCULO COEFICIENTES DE AHORRO PARA LOS VARIADORES**

## 1. Características del variador de frecuencia

Cada uno de los motores de accionamiento de las bombas está conectado a un variador de frecuencia, cuyas características se detallan a continuación:

CARACTERÍSTICAS	
Denominación	B01-B02-B03-B04
Marca y tipo	ABB ACS800
Número de serie	
Tensión	400 V
Potencia continua máxima	55kW
Intensidad continua máxima	103 A
Intensidad máxima	138 A
Disipación de calor	1,190 W

El efecto del variador se tendrá en cuenta para cuantificar las pérdidas que tienen lugar en el mismo. La eficiencia del equipo en condiciones nominales se haya en el 98%, de acuerdo con la información técnica del fabricante. Por lo tanto, como aproximación, para los cálculos se consideraran unas pérdidas del 2% de la potencia nominal.

## 2. Características de la válvula de regulación de caudal

En una serie de instalaciones, como por ejemplo en la de Burgos, cada uno de los brazos de carga tiene el caudal regulado por una válvula de estrangulamiento con control hidráulico por el propio fluido, cuyas características se detallan a continuación:

CARACTERÍSTICAS	
Denominación	
Marca y tipo	FMC Technologies/Smith Meter model 210
Número de serie	
Controlador	AccuLoad
Diámetro	4"
Presión máxima de trabajo	18 bar

En otras instalaciones, sin embargo, el caudal está regulado por una válvula camflex las cuales funcionan con aire comprimido.

### 3. Cálculo de curvas características según fabricante

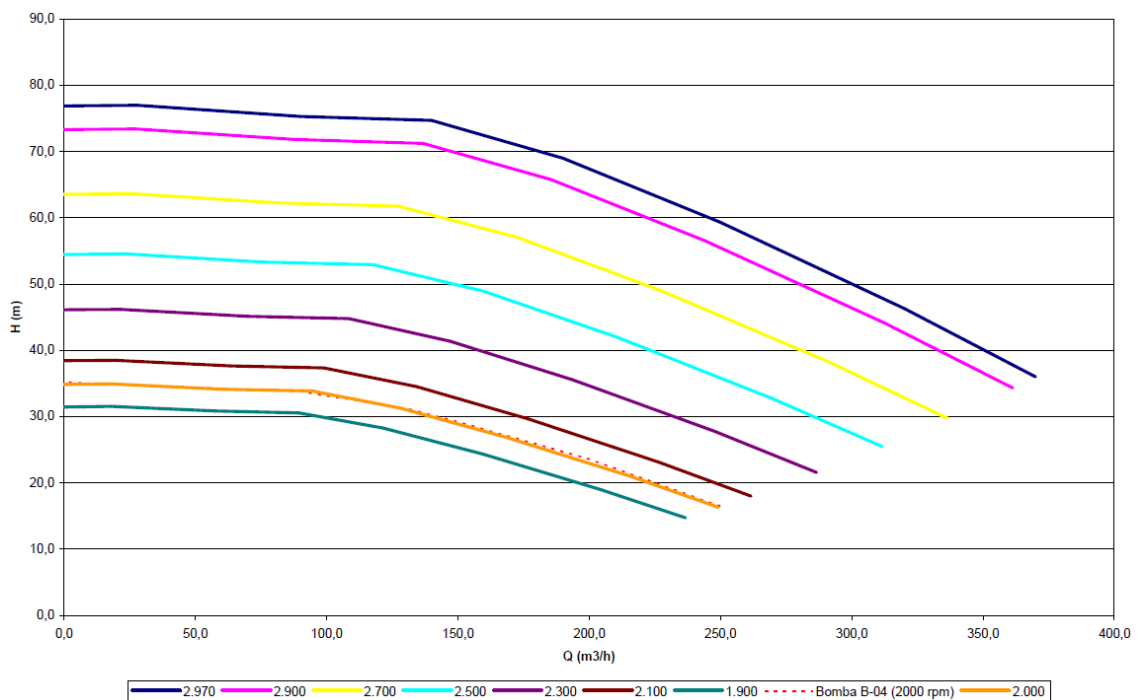
Con los datos aportados por el fabricante de la motobomba centrífuga: caudal (m<sup>3</sup>/h), altura total (m), potencia absorbida por la bomba (kW) y la velocidad de giro en (r.p.m.) de la instalación de almacenamiento de Burgos:

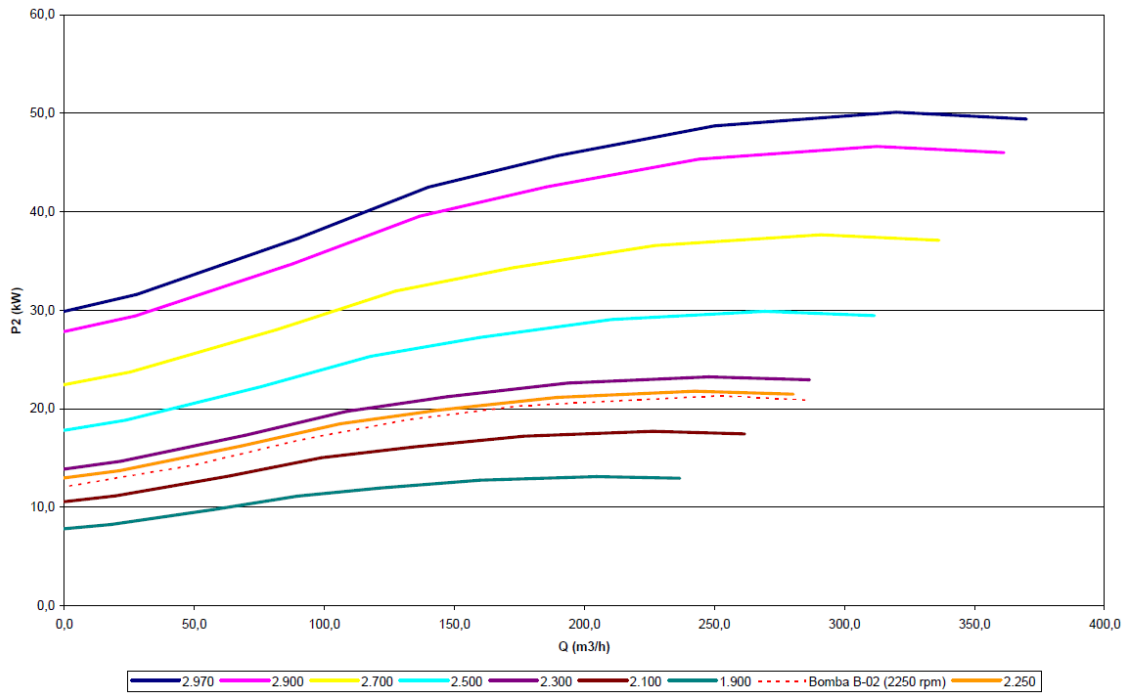
Caudal (m <sup>3</sup> /h)	H total (m)	Potencia absorbida (kW)	Velocidad (r.p.m.)
370	36	49,4	2970
320	46,3	50,1	2970
250	59,3	48,7	2970
190	69	45,7	2970
140	74,7	42,5	2970
90	75,3	37,3	2970
28	77	31,6	2970
0	76,9	29,9	2970

Y las relaciones de semejanzas:

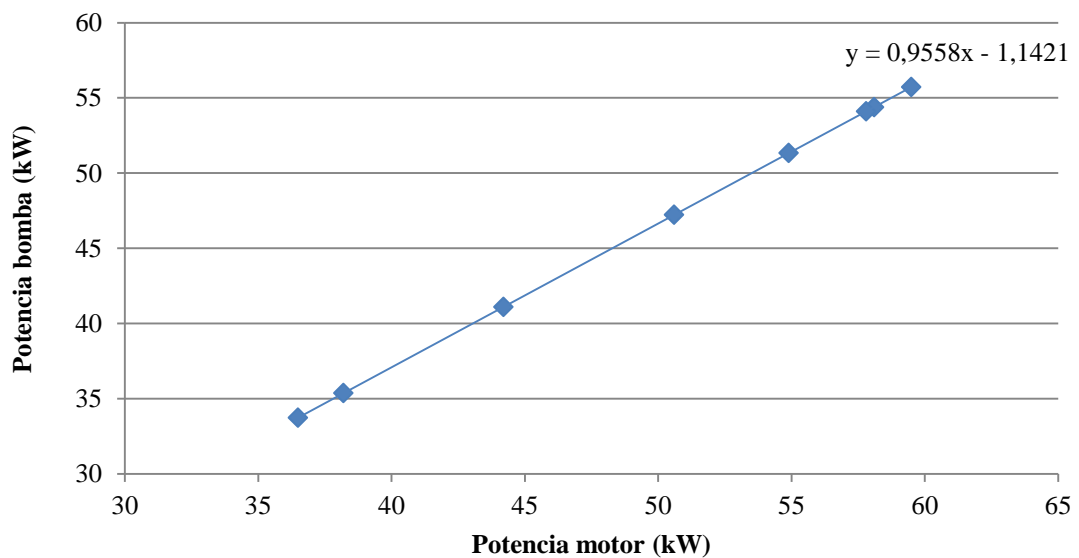
$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{N}{N_0} \quad ; \quad \frac{H}{H_0} = \left(\frac{N}{N_0}\right)^2 \quad ; \quad \frac{P}{P_0} = \left(\frac{N}{N_0}\right)^3$$

Se obtienen las siguientes curvas características de las bombas para las distintas velocidades:





El efecto del motor se tendrá en cuenta para cuantificar las pérdidas que tienen lugar en el mismo. Se emplea la relación utilizada por el fabricante en los ensayos de la bomba.





#### 4. Mediciones de la potencia de red en la II.AA. de Burgos

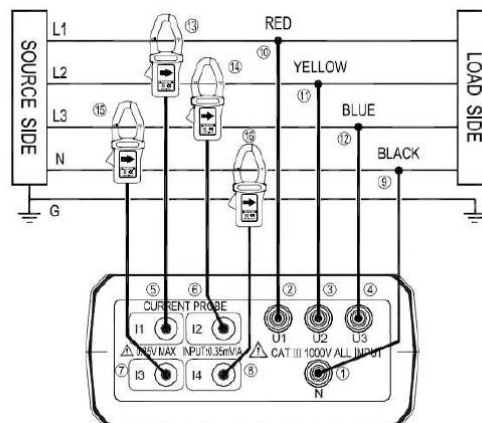
Para el estudio se ha utilizado los registros de datos de la planta de Burgos. Dichos registros se realizaron tanto en condiciones normales de funcionamiento (a velocidad de rotación de las bombas fijas) como en condiciones de regulación de velocidad.

Los equipos utilizados en el registro de datos de planta fueron los siguientes:

- Un PC portátil
- Un analizador trifásico de redes eléctricas
- Un tacómetro digital

El equipo analizador de redes se conectó aguas arriba del variador de velocidad, por lo que la medida incluye las pérdidas del variador, cableado y motor.

La configuración de la conexión es la que se muestra en la siguiente figura, aunque prescindiendo de la conexión en el neutro (N), al tratarse con un sistema de neutro aislado.



El equipo analizador de redes se conectó a un PC portátil a través del puerto serie, donde se quedaron almacenados los datos registrados a intervalos de un segundo. Los datos registrados son los siguientes:

- No.s      Número de orden del registro
- Date      Fecha de registro (dd/mm/aaaa)
- Time    hora del registro (hh:mm:ss)
- KW1      Potencia activa fase 1 (kW)
- KVAR1    Potencia reactiva fase 1 (kvar)
- KVA1    Potencia aparente fase 1 (kVA)

PF1 Factor de potencia fase 1  
Theta1 Ángulo de fase 1 (°)  
V1 Tensión de fase 1 (V)  
I1 Intensidad de fase 1 (A)  
KW2 Potencia activa fase 2 (kW)  
KVAR2 Potencia reactiva fase 2 (kvar)  
KVA2 Potencia aparente fase 2 (kVA)  
PF2 Factor de potencia fase 2  
Theta2 Ángulo de fase 2 (°)  
V2 Tensión de fase 2 (V)  
I2 Intensidad de fase 2 (A)  
KW3 Potencia activa fase 3 (kW)  
KVAR3 Potencia reactiva fase 3 (kvar)  
KVA3 Potencia aparente fase 3 (kVA)  
PF3 Factor de potencia fase 3  
Theta3 Ángulo de fase 3 (°)  
V3 Tensión de fase 3 (V)  
I3 Intensidad de fase 3 (A)  
Hz Frecuencia (Hz)  
I4 Intensidad del neutro (A)  
TKW Potencia activa total (kW)  
TKVAR Potencia reactiva total (kvar)  
TKVA Potencia aparente total (kVA)  
TPF1 Factor de potencia total  
TTheta1 Ángulo de fase total (°)

### 5. Cálculos a velocidad de rotación fija (resultado de las mediciones de la potencia de red en la II.AA. de Burgos)

	0 bombas	1 bombas	2 bombas	3 bombas	4 bombas
1 brazo		40,4	40,7		
2 brazo		52,2	47,3		
3 brazo		52,9	52,3		
4 brazo		52,5	52,6		
5 brazo			52,7		

### 6. Cálculos a velocidad variable con recirculación con by-pass (resultado de las mediciones de la potencia de red para las distintas velocidades de giro en la II.AA. de Burgos)

Mediante la información recopilada en la instalación de Burgos, se trata de definir el punto de funcionamiento en la carga de cisternas para cada velocidad de rotación. Para ello, se sigue el siguiente procedimiento:

1. Se recopilan los datos de potencia consumida en el analizador de red.
2. Se reduce la potencia medida en el analizador de red con las pérdidas del cable, para obtener la potencia que llega al motor ( $P_{\text{pérdidas del cableado}}$  se calcula para un cable de sección de  $3 \times 70 \text{ mm}^2$  y longitud de 100m) y las pérdidas del variador (2%).
3. Se reduce la potencia que llega al motor con las pérdidas del motor, para obtener la potencia que llega a la bomba.
4. Se calcula el caudal a partir de las curvas características de la bomba, conociendo la potencia consumida en la misma.
5. Se calcula la altura diferencial a partir de las curvas características de la bomba, conociendo el caudal.

(Velocidad de giro (r.p.m.))	P red (kW)	P motor (kW)	P bomba (kW)	Q (m <sup>3</sup> /h)	H total (m)
2970	40	38,8	35,9	74,8	75,7
2900	36,8	35,6	32,9	67,3	72,3
2700	30,2	29,2	26,8	66,1	62,6
2500	24,6	23,7	21,5	65,1	53,6
2300	19,6	18,8	16,8	60,5	45,4
2100	15,2	14,5	12,7	52,7	37,8
1900	11,7	11	9,4	47	31

## 7. Cálculos a velocidad variable en carga

Mediante la información recopilada en la instalación de Burgos, se trata de definir el punto de funcionamiento en la carga de cisternas para cada velocidad de rotación cuando está en carga el sistema. Para ello, se sigue el mismo procedimiento anteriormente detallado:

1. Se recopilan los datos de potencia consumida en el analizador de red.
2. Se reduce la potencia medida en el analizador de red con las pérdidas del cable, para obtener la potencia que llega al motor ( $P_{\text{pérdidas del cableado}}$  se calcula para un cable de sección de  $3 \times 70 \text{ mm}^2$  y longitud de 100m) y las pérdidas del variador 2%.
3. Se reduce la potencia que llega al motor con las pérdidas del motor, para obtener la potencia que llega a la bomba.
4. Se calcula el caudal a partir de las curvas características de la bomba, conociendo la potencia consumida en la misma.
5. Se calcula la altura diferencial a partir de las curvas características de la bomba, conociendo el caudal.

Velocidad de giro (r.p.m.)	Q carga (m <sup>3</sup> /h)	P red (kW)	P motor (kW)	P bomba (kW)	Q (m <sup>3</sup> /h)	H total (m)	Q by-pass (m <sup>3</sup> /h)
2970	143	51,9	50,4	47	216	64,8	73
2900	141	48,2	46,8	43,6	208,5	62,1	67,5
2700	140	39,6	38,4	35,5	201,2	52,8	61,2
2500	142	32,3	31,2	28,7	201,5	43,2	59,5
2300	143	25,9	25	22,7	201,3	34,5	58,3
2100	139	20,3	19,5	17,5	206,5	25,7	67,5
1900	133	15,6	14,9	13,1	204,7	18,9	71,7

## 8. Suposición del caudal de by-pass

Q by-pass (m <sup>3</sup> /h)	Q by-pass en carga (m <sup>3</sup> /h)	Velocidad (r.p.m.)
75	69,8	2970
73,2	67,9	2900
68,2	62,4	2700
63,1	56,9	2500
58,1	51,2	2300
53	45,4	2100
48	39,4	1900
45,5	36,3	1800

$Q_{\text{by-pass}}$  se calcula con  $Q_0 = 75 \text{ m}^3/\text{h}$  para 2970 r.p.m. que es conocido mediante la relación:

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{N}{N_0}$$

El caudal por recirculación por by-pass cuando existe carga cisterna ( $Q_{\text{by-pass en carga}}$ ) es algo inferior a cuando no existe, puesto que el funcionamiento de la bomba se halla en un punto de menos presión (diferencia de presión 10mcl), menos pérdida de carga.

## 9. Modelo de funcionamiento a velocidad fija

### a. Caudal

Se establece una tabla de caudales unitarios por bomba en cada uno de los estados definidos, en el modo de funcionamiento a velocidad fija, lo que permitirá cuantificar la potencia eléctrica consumida en cada uno de ellos.

Q	0 bombas	1 bombas	2 bombas	3 bombas	4 bombas	5 bombas	6 bombas	7 bombas	8 bombas
0 brazo	0	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00
1 brazo	0	212,80	141,30	117,47	105,55	98,40	93,63	90,23	87,68
2 brazos	0	355,80	212,80	165,13	141,30	127,00	117,47	110,66	105,55
3 brazos	0	498,80	284,30	212,80	177,05	155,60	141,30	131,09	123,43
4 brazos	0	641,80	355,80	260,47	212,80	184,20	165,13	151,51	141,30
5 brazos	0	784,80	427,30	308,13	248,55	212,80	188,97	171,94	159,18
6 brazos	0	927,80	498,80	355,80	284,30	241,40	212,80	192,37	177,05
7 brazos	0	1.070,80	570,30	403,47	320,05	270,00	236,63	212,80	194,93
8 brazos	0	1.213,80	641,80	451,13	355,80	298,60	260,47	233,23	212,80
9 brazos	0	1.356,80	713,30	498,80	391,55	327,20	284,30	253,66	230,68
10 brazos	0	1.499,80	784,80	546,47	427,30	355,80	308,13	274,09	248,55
11 brazos	0	1.642,80	856,30	594,13	463,05	384,40	331,97	294,51	266,43
12 brazos	0	1.785,80	927,80	641,80	498,80	413,00	355,80	314,94	284,30
13 brazos	0	1.928,80	999,30	689,47	534,55	441,60	379,63	335,37	302,18
14 brazos	0	2.071,80	1.070,80	737,13	570,30	470,20	403,47	355,80	320,05
15 brazos	0	2.214,80	1.142,30	784,80	606,05	498,80	427,30	376,23	337,93
16 brazos	0	2.357,80	1.213,80	832,47	641,80	527,40	451,13	396,66	355,80

El  $Q_{\text{carga}}$  se supone constante e igual a  $143 \text{ m}^3/\text{h}$ . El caudal viene limitado por la normativa de sobrellenado, por la generación de la energía estática y por motivos de operación. En este estudio se considera  $143 \text{ m}^3/\text{h}$  porque es el promedio del caudal de consigna registrado en el cargadero de la instalación de Burgos.

$$\text{Caudal unitario} = \frac{\text{Num}_{\text{brazos}} \cdot Q_{\text{carga}} + \text{Num}_{\text{bombas}} \cdot Q_{\text{bypass}}}{\text{Num}_{\text{bombas}}}$$

Con esos caudales en la curva característica Potencia-Caudal calculamos la Potencia de la bomba, con la curva del rendimiento hallamos la  $P_{\text{motor}}$  y calculamos la  $P_{\text{red}}$  como la suma de la  $P_{\text{motor}}$ ,  $P_{\text{perdidas variador}}$  y  $P_{\text{perdidas del cableado}}$ .

b. Potencia unitaria kW demandada por la red

Pred	0 bombas	1 bombas	2 bombas	3 bombas	4 bombas	5 bombas	6 bombas	7 bombas	8 bombas
0 brazo	0	39,99	39,99	39,99	39,99	39,99	39,99	39,99	39,99
1 brazo	0	52,01	46,87	44,57	43,33	42,56	42,04	41,67	41,39
2 brazos	0	56,02	52,01	48,88	46,87	45,52	44,57	43,87	43,33
3 brazos	0		54,98	52,01	49,77	48,11	46,87	45,91	45,17
4 brazos	0		56,02	54,18	52,01	50,27	48,88	47,76	46,87
5 brazos	0			55,60	53,71	52,01	50,58	49,39	48,40
6 brazos	0			56,02	54,98	53,41	52,01	50,80	49,77
7 brazos	0				55,82	54,52	53,20	52,01	50,97
8 brazos	0				56,02	55,37	54,18	53,04	52,01
9 brazos	0					55,93	54,98	53,92	52,92
10 brazos	0					56,02	55,60	54,66	53,71
11 brazos	0						55,98	55,27	54,39
12 brazos	0						56,02	55,73	54,98
13 brazos	0							56,01	55,46
14 brazos	0							56,02	55,82
15 brazos	0								56,03
16 brazos	0								56,04

## 10. Modelo de funcionamiento a velocidad variable

a. Velocidad de rotación

El punto de funcionamiento óptimo de las bombas para cada estado es el de mínimo consumo para cada estado, es el de la *mínima velocidad que puede suministrar el caudal necesario*.

v optimas	0 bombas	1 bombas	2 bombas	3 bombas	4 bombas	5 bombas	6 bombas	7 bombas	8 bombas
0 brazo	0	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800
1 brazo	0	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800
2 brazos	0	2.900	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800
3 brazos	0		2.200	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800
4 brazos	0		2.900	1.900	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800

## Implementación de un sistema de gestión de la energía en la logística de combustibles

<b>5 brazos</b>	0			2.400	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800
<b>6 brazos</b>	0			2.900	2.200	1.800	1.800	1.800	1.800
<b>7 brazos</b>	0				2.500	2.100	1.800	1.800	1.800
<b>8 brazos</b>	0				2.900	2.300	1.900	1.800	1.800
<b>9 brazos</b>	0					2.600	2.200	1.900	1.800
<b>10 brazos</b>	0					2.900	2.400	2.100	1.800
<b>11 brazos</b>	0						2.700	2.200	1.900
<b>12 brazos</b>	0						2.900	2.300	2.100
<b>13 brazos</b>	0							2.500	2.300
<b>14 brazos</b>	0							2.900	2.500
<b>15 brazos</b>	0								2.700
<b>16 brazos</b>	0								2.900

### b. Caudal

El caudal bombeado pro cada bomba en marcha es el siguiente:

<b>Q (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>0 bombas</b>	<b>1 bombas</b>	<b>2 bombas</b>	<b>3 bombas</b>	<b>4 bombas</b>	<b>5 bombas</b>	<b>6 bombas</b>	<b>7 bombas</b>	<b>8 bombas</b>
<b>0 brazo</b>	0	45,50	45,50	45,50	45,50	45,50	45,50	45,50	45,50
<b>1 brazo</b>	0	179,30	107,80	83,97	72,05	64,90	60,13	56,73	54,18
<b>2 brazos</b>	0	353,90	179,30	131,63	107,80	93,50	83,97	77,16	72,05
<b>3 brazos</b>	0		262,80	179,30	143,55	122,10	107,80	97,59	89,93
<b>4 brazos</b>	0		353,90	230,07	179,30	150,70	131,63	118,01	107,80
<b>5 brazos</b>	0			292,43	215,05	179,30	155,47	138,44	125,68
<b>6 brazos</b>	0			353,90	262,80	207,90	179,30	158,87	143,55
<b>7 brazos</b>	0				307,15	242,60	203,13	179,30	161,43
<b>8 brazos</b>	0				353,90	280,00	230,07	199,73	179,30
<b>9 brazos</b>	0					317,10	262,80	223,26	197,18
<b>10 brazos</b>	0					353,90	292,43	249,69	215,05
<b>11 brazos</b>	0						324,57	273,01	236,03
<b>12 brazos</b>	0						353,90	296,34	259,90
<b>13 brazos</b>	0							322,5	283,6
<b>14 brazos</b>	0							353,9	307,15
<b>15 brazos</b>	0								330,53
<b>16 brazos</b>	0								353,90

Con esos caudales en la curva característica Potencia-Caudal calculamos la Potencia de la bomba, con la curva del rendimiento hallamos la  $P_{\text{motor}}$  y calculamos la  $P_{\text{red}}$  como la suma de la  $P_{\text{motor}}$  y  $P_{\text{perdidas}}$  del cableado





## 12. Consumo energético

Para la estimación del consumo energético en modo velocidad variable se ha definido dos patrones de funcionamiento. Para ambos casos, el cálculo de las velocidades óptimas según el caudal se ha realizado mediante un proceso iterativo en el cual se han considerado unas bombas semejantes a las bombas de la Instalación de Almacenamiento de Burgos.

En el primer patrón se mantiene la distribución temporal de estados de planta en lo que se refiere al número de bombas en marcha y número de brazos en carga, y para cada estado se busca la velocidad de rotación de las bombas que presente un menor consumo.

Potencia total variadores kW	BOMBAS									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
BRAZOS	0	0,00	9,49	18,97	28,46	37,94	47,43	56,91	66,40	75,88
	1	0,00	12,38	21,95	31,21	40,44	49,68	58,93	68,19	77,45
	2	0,00	51,20	24,77	34,53	43,90	53,17	62,41	71,64	80,88
	3	0,00	0,00	45,85	37,15	47,01	56,51	65,86	75,13	84,38
	4	0,00	0,00	102,39	45,08	49,53	59,46	69,05	78,48	87,81
	5	0,00	0,00	0,00	89,02	51,44	61,91	71,88	81,55	91,05
	6	0,00	0,00	0,00	153,59	91,70	63,88	74,30	84,29	94,02
	7	0,00	0,00	0,00	0,00	133,57	99,49	76,30	86,68	96,70
	8	0,00	0,00	0,00	0,00	204,79	130,87	90,16	88,71	99,06
	9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	187,64	137,54	104,61	101,12
	10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	255,99	178,05	139,96	102,89
	11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	251,63	161,33	120,76
	12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	307,18	184,44	160,95
	13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	233,79	209,72
	14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	358,38	267,13
	15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	335,67
16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	409,70	

En el segundo patrón, se mantiene la distribución temporal de estados de planta en lo que se refiere al número de brazos en carga, buscando la combinación del número de bombas en marcha y velocidad de rotación que representa el mínimo consumo.

Se selecciona como la combinación de bombas que presenta el mínimo consumo energético de entre las posibilidades calculadas en el caso del patrón 1, que se corresponden con las velocidades del mínimo consumo.

