

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA



PROYECTO FIN DE CARRERA:

**AMPLIACIÓN DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO DE
HIDROCARBUROS DE ARAHAL**

Autor: **Enrique Manuel Albisu Frieyro**
INGENIERÍA INDUSTRIAL: Tecnologías Energéticas

Director: **José Luis Cantero Guisández**
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

Este proyecto de fin de carrera da por finalizada una parte muy importante de mi vida a la que agradezco a varias personas:

Muchas gracias papá por tu apoyo, tu paciencia y tu interés. También quiero agradecer a mi novia María toda la motivación que me ha dado así como su cariño y comprensión a Viví por todo su amor y maternidad y también a mi hermano Juanmi por su amistad.

Por último agradezco a mi tutor para este proyecto, José Luis por haberme guiado apropiadamente durante todos estos meses.

Ha sido una gran experiencia realizar Ingeniería Industrial en la Universidad Carlos III, de ella me llevo grandes amistades, conocimiento y la posibilidad de desarrollarme profesionalmente con éxito.

Un fuerte abrazo a todos.

Enrique Manuel Albisu Frieyro



ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR	1
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA	1
1. INTRODUCCIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	5
1.1 OBRA CIVIL:.....	7
1.2 MONTAJE MECÁNICO:	9
1.3 SISTEMA DE DEFENSA CONTRA INCENDIOS:.....	10
1.4 ELECTRICIDAD E INSTRUMENTACIÓN:.....	10
2. TEORÍA GENERAL PARA LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO	13
2.1 OBRA CIVIL.....	13
2.1.1 Durmientes:	13
2.1.2 Cimentación para marquesinas:	17
2.1.3 Cimentación de motores:.....	23
2.1.3.1 Parámetros globales.....	23
2.1.3.2 Información requerida para el diseño	27
2.1.3.3 Criterios de diseño	29
2.1.3.4 Símbolos y anotaciones.	33
2.2 MONTAJE MECÁNICO	34
2.2.1 Radiografías.....	34
2.3 INSTRUMENTACION	38
2.3.1 Instrumentos Analógicos:.....	38
3 DESCRIPCIÓN Y FASES DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO.....	85
3.1 FASES DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO	85
3.1.1 Puesta en servicio del “Nuevo Rotaza ” (a partir de ahora NR) utilizando las bombas del “Antiguo Rotaza” (a partir de ahora AR):.....	86
3.1.2 Puesta en servicio bombas 7 y 8 para AR y NR.	87
3.1.3 Puesta en servicio completo.....	89
3.2 OBRA CIVIL.....	90
3.3 MONTAJE MECÁNICO	107
3.3.1 Procedimientos de soldadura	108
3.3.2 Radiografías.....	120
3.3.3 Proceso de embridado de uniones atornilladas.....	121
3.4 PROCESO, INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL.....	138
3.4.1 Proceso	138
3.4.2 Control:.....	153



4 SEGUIMIENTO TEMPORAL Y RESUMEN ECONÓMICO DEL PROYECTO	176
4.1 SEGUIMIENTO TEMPORAL	176
4.2 RESUMEN ECONÓMICO	181
5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS DE TRABAJO FUTURO	184
6 BIBLIOGRAFÍA	188



1. INTRODUCCIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

En este Proyecto Fin de Carrera se pretende describir los principales aspectos técnicos relacionados con las tareas de ingeniería desarrolladas en la ampliación de la estación de bombeo de Arahal. Se han incluido no sólo las cuestiones relativas al diseño previo del proyecto, sino también la explicación de los imprevistos surgidos en su ejecución y las correspondientes soluciones adoptadas.

La E.B de Arahal está situada en la provincia de Sevilla. A ella llegan oleoductos de todas las refinerías y puertos del sur de España (Almería, Huelva y Rota) y desde allí se distribuye las gasolinas, gasóleos y kerosenos hacia el norte de España como principal función. No existe otro nudo similar a este por lo que se considera de gran importancia en la distribución de los hidrocarburos por la península. El objetivo de este proyecto es el de ampliar la E.B de Arahal para el desdoblamiento de este nudo.

En este Proyecto queda plasmada la aplicación de conocimientos adquiridos en el desarrollo de mi actividad profesional y a lo largo de los estudios realizados en la titulación en Ingeniería Industrial. Por otra parte, el documento elaborado recoge información detallada relativa a un proyecto de ingeniería real, amplio y de interés técnico, que puede resultar de utilidad a nivel formativo. La realización de la tarea descrita requiere un amplio abanico de conocimientos al reclamar aptitudes técnicas de la mayoría de las disciplinas de la Ingeniería.

Este proyecto está concebido para ilustrar de forma directa a aquellos que van a desempeñar un rol parecido al de la dirección de obra o incluso para aquellos interesados en la ingeniería de detalle de una planta industrial, describiendo el proceso de funcionamiento de forma meticulosa desde la obra civil hasta el sistema de control. Creando una estructura diferenciada entre teoría, explicación y ejecución del proyecto así como un apartado final que ilustra con ejemplos la parte del trabajo dedicada a la planificación y control de tiempos y costes.

Este Proyecto Fin de Carrera se enmarca en mi actividad como jefe de la oficina técnica de dirección de obra en el Proyecto de Ingeniería denominado “Ampliación de



la estación de bombeo de Arahal”. El Proyecto ha sido desarrollado por la empresa de ingeniería Diseprosa (Diseño de Proyectos Reunidos) siendo CLH (Compañía Logística de Hidrocarburos) el cliente. Este puesto conlleva una serie de deberes imprescindibles para ejecutar el proyecto como son el conocimiento exhaustivo, en profundidad y a nivel de detalle del proyecto, conocimientos teóricos básicos sobre los temas a abordar con el fin de localizar y solucionar errores, coordinación entre las diversas empresas contratistas que dispondrán del personal para la ejecución de la obra, calidad, seguimiento de tiempos de ejecución y costes, cálculo y modificación del proyecto allí donde sea necesario, ya sea por necesidades del cliente o por errores en la redacción así como la definición a nivel de detalle de todo aquello que no se encuentre proyectado en la literatura del proyecto visado.

El proyecto “Ampliación de la estación de bombeo de Arahal” viene referido a la ejecución de obra civil, obra mecánica, obra eléctrica y defensa contra incendios en la E.B de Arahal de CLH.

La Estación de Bombeo de El Arahal suministra diversos productos petrolíferos por medio de tuberías provenientes de la estación receptora de oleoducto. El fin de este proyecto es aumentar la capacidad de bombeo de la estación como consecuencia del desdoblamiento del oleoducto de Rotaza.

La instalación consta de 3 oleoductos antiguos y uno nuevo. Los tres oleoductos existente son el de Morón de la frontera, el Huelva-Málaga y el Rotaza (Rota-Norte) mientras que el oleoducto nuevo es el llamado “Nuevo Rotaza ”, desdoblamiento del “Antiguo Rotaza” Esto, traducido a la estación de bombeo, se traduce en 3 grupos de bombeo para los oleoductos antiguos y un grupo de bombeo nuevo. El proyecto tiene como finalidad actuar en 3 de los 4 bombeos, en el Huelva-Málaga, en el antiguo Rotaza y en el nuevo Rotaza, por lo que la obra no es una ampliación propiamente dicha si no que más bien es una ampliación con reforma.

A lo anteriormente expuesto hay que añadir una variable más, que es que el antiguo Rotaza es un oleoducto que bombea 24h los 365 días del año y sobre el que es realmente complicado realizar una conexión al prestar un servicio continuado. Por ello, es preciso realiza una planificación exhaustiva del proyecto para minimizar o evitar las paradas y los tiempos de parada de la instalación.



Descripción de los trabajos:

El objeto es la instalación de tres nuevas bombas principales, dos de ellas reubicadas de los talleres de CLH de Monzalbarba (Zaragoza), bombas 7 y 8, que son de arranque directo y una tercera nueva (MBP-6). Asimismo se reubicarán, dentro de la estación, dos bombas principales (MBP-4/5).

También se realizarán modificaciones en el trazado de las líneas para conectar la bomba MBP-3 en serie con la MBP-1/2, también existentes en la instalación, con destino a Málaga.

Se procederá a la instalación de un nuevo banco de filtros, con dos filtros verticales tipo cesta (FS-3 y FS-4).

El alcance de los trabajos es el siguiente.

1.1 OBRA CIVIL:

- Desbroce de la zona de ampliación de bombas MBP-4/5/6.
- Excavaciones rellenos y refinados para alcanzar las rasantes definitivas. Este concepto, junto a otros posteriores, se tuvo que modificar por completo. Las cotas tomadas por el proyecto eran erróneas por lo que hubo que tomar nuevas cotas y rediseñar todo el sistema de pendientes y de recogida de aguas hidrocarburadas. Además, se tuvo que desplazar las 5 motobombas instaladas, las bombas 7 y 8 caían encima de una canalización eléctrica no proyectada en la literatura del proyecto por lo que hubo que desplazarlas además hubo que recalcular las cimentaciones de los pilares de la marquesina que cubría las bombas 7 y 8 para salvar la canalización eléctrica. Las bombas 4, 5, 6 (finalmente llamadas bombas 12, 22, 32) hubo que desplazarlas 7.5 metros hacia el norte de planta para intercalar un vial entre los dos cubetos (con el fin de poder acceder a las trampas de rascadores con un medio de carga y descarga adecuado), por consiguiente hubo que tomar nuevas cotas y rediseñar los sistemas de recogida de aguas pluviales e hidrocarburadas.
- Reposición del pavimento en calles o viales.



- Excavación para cimentaciones, zanjas para tuberías, etc. Esta operación generó grandes cambios en el proyecto al encontrarse numerosos servicios enterrados en los puntos donde debían ir tanto zanjas para cimentaciones como zanjas para cables eléctricos. Por ejemplo, la canalización para tendido de cables de las bombas MBP-12, 22, 32 tuvo que ir esquivando servicios por lo que hubo que dibujar el recorrido tanto en planta como en alzado. Hubo que tener en cuenta datos como que el radio de curvatura máximo de los cables de fuerza de las bombas es de 1.2 m.
- Red de recogida de aguas pluviales, hidrocarburadas necesarias con sumideros, arquetas y tubería a conectar con las redes existentes, con la consiguiente demolición de pavimentos, excavación y posterior relleno y reposición de pavimento.
- Cimentaciones de hormigón para nuevos equipos (bombas, filtros, durmientes).
- Cimentaciones para estructuras y soportes.
- Demolición de arquetas y pavimentos.
- Estructuras metálicas: nuevas estructuras para cubierta de las nuevas bombas, plataformas de acceso a equipos, escaleras, etc. Hubo que rediseñar y calcular las pasarelas de acceso a filtros y proyectar una nueva pasarela para acceso a bombas para mejorar el acceso a las válvulas de aspiración en impulsión de estas. Además hubo que recalcular la marquesina de las bombas MBP-7 y 8 al modificar sus dimensiones por desplazamiento de las bombas.
- Durmientes con zapata para tuberías. Se tuvo que recalcular multitud de durmientes al encontrarse servicios enterrados que interferían en su posición. Además de diseñar nuevos durmientes y soportes para la línea provisional para puesta en servicio del oleoducto del Nuevo Rotaza.
- Ejecución de arquetas y zanjas para cables.
- Pavimentación.



1.2 MONTAJE MECÁNICO:

- Montaje de las bombas MBP-6/7/8 (Finalmente se llamarán MBP-12, 22, 32).
- Desmontaje de su ubicación actual, traslado y montaje en la misma instalación de las bombas MBP-4/5.
- Montaje de dos nuevos filtros verticales tipo cesta, FS-4 y FS-5.
- Prefabricación y montaje de soportes.
- Demolición de pedestales y soportes de tuberías existentes a desmontar.
- Desmontaje de tubería existente.
- Desmontaje de válvulas y posterior reubicación en la propia instalación. Se modificó el criterio de reubicación de esta valvulería para disminuir los tiempos de parada de planta así como la instrumentación correspondiente.
- Tendido y conexionado de nuevas tuberías de producto. Incluso durmientes y soportes necesarios. Modificación de numerosas tuberías y diseño de nuevas tuberías, por ejemplo, la conexión entre el Nuevo Rotaza y Oleoducto de Morón de la Frontera se había previsto enterrado, sin embargo se realizó aéreo por la gran complejidad que suponía enterrarlo. Por tanto hubo que rediseñar la soportación aérea a 2.2m del suelo por encima de todos los servicios de la planta.
- Desmontaje y reubicación de válvulas de control PCV-1 y PCV-3. Finalmente se tuvo que instalar una válvula de control PCV-2 nueva, no prevista en proyecto, por no cumplir la PCV de la línea Huelva- Málaga las exigencias mecánicas de alto límite elástico exigidas por el proceso.
- Desmontaje y posterior reubicación de válvulas de expansión térmica. La posición de estas válvulas se modificó y además se volvieron a tarar todas ellas al estar taradas en su principio al 90% del límite elástico de la tubería. Se estimó que esta sobrepresión era excesiva e innecesaria por lo que se tararon a un 10-15% por encima de la presión máxima de proceso en cada línea para disminuir al máximo la fatiga del material.



1.3 SISTEMA DE DEFENSA CONTRA INCENDIOS:

Corresponde a todos los trabajos necesarios de obra civil, montaje mecánico instrumentación y electricidad necesarios para la ampliación del sistema contra incendios de la instalación.

- Este sistema contra incendios no estaba previsto en el proyecto por lo que el propio instalador calculó y visó el proyecto. La dirección de obra actuó como jefatura de proyecto comentando y dando el visto bueno al sistema.

1.4 ELECTRICIDAD E INSTRUMENTACIÓN:

- Montaje de cable de fuerza de bombas MBP-4/5/6/7/8
- Tendido de cable de instrumentación con sus respectivas bandejas
- Montaje de cajas de fuerza y derivación en campo. Sus emplazamientos se cambiaron para mejorar y facilitar el acceso a toda la valvulería de proceso.
- Conexionado y puesta en marcha de motores trifásicos de arranque directo correspondientes a las bombas MBP-5/6. Finalmente se instalaron 4 motores de arranque directo en vez de 2 por necesidades del cliente lo que conllevó las modificaciones en el CCM correspondientes para este cambio.
- Conexionado y puesta en marcha de motor eléctrico con variador de velocidad correspondiente a la bomba MBP-4
- Conexionado de fuerza y de lazo de comunicación de válvulas motorizadas
- Montaje de nuevo cuadro de corriente continua. Finalmente no se instaló un nuevo cuadro de CC, se tuvo que reutilizar el mismo cuadro pero en una ubicación distinta o que se tradujo en una programación conjunta de parada en la primera de las tres paradas de planta programadas.
- Conexionado de tres nuevos paneles de 6.3 kV para control y funcionamiento de los motores MBP-6/7/8. Teniendo en cuenta los cambios a realizar al instalar solo un



motor con variador de frecuencia (MBP-4) en vez de dos como estaba previsto (MBP-4 y 7) por exigencia del cliente

- Montaje de dos nuevos equipos de corrección del factor de potencia. Finalmente fueron tres condensadores en vez de dos.

- Montaje de nuevo armario para válvulas motorizadas. Este armario no estaba situado en el proyecto por lo que hubo que situarlo en campo a una distancia suficiente para que estuviera en zona no clasificada (al no disponer de un armario con aislamiento según la IP-66) y a una distancia tal que no fuese necesario modificar la sección de los cables prevista en contrato.

- Montaje de nuevo panel de control de oleoducto. Para control del “Nuevo Rotaza”

- Montaje de tres nuevos armarios de interfase. Finalmente solo se montó un armario de interfase, el armario de interfase 1, los armarios de interfase nuevos ,AI-3 y AI-2, no se montaron y todo su cableado se realizó en el armario de interfase AI-3 y AI-4 respectivamente. Por lo que hubo que rediseñar parte de los armarios antiguos.

- Modificación del armario actual de equipos auxiliares incluyendo un nuevo rack de Bently Nevada. También hubo que modificar el antiguo rack del Bently Nevada al detectar la oficina técnica un error de concepto entre los sensores instalados en las bombas y las tarjetas antiguas al no ser compatibles los dos elementos.

- Montaje y cableado de instrumentos necesarios para el proceso (PI,PT,TT,PSL,FT ...)

A continuación se redactará la teoría básica necesaria para la realización de los trabajos para la ejecución satisfactoria de este proyecto. La misión de la dirección de obra será tener claro estos conceptos para diseñar y modificar aquellas partes del proyecto que, ya sea por falta de información, por diseño incorrecto de la ingeniería o por necesidades de la ejecución o del proyecto sean necesarias establecer a nivel de campo.





2. TEORÍA GENERAL PARA LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO

2.1 OBRA CIVIL

2.1.1 Durmientes:

Son aquellos apoyos cuya única misión es soportar el peso del colector. Están compuestos por una zapata y un pedestal. La zapata busca aumentar la superficie de apoyo del durmiente contra el suelo para mantenerse siempre por encima de la tensión admisible del terreno que en este caso ronda las 10 Tn/m² en todos los puntos de la instalación. Para cualquier tipo de zapata, ya sea de un durmiente o de una zapata de un edificio, al aumentar la superficie de la cara que se queda en contacto con el suelo aumentará a su vez el canto y la sección de la armadura de la misma ya que el momento flector en sus extremos será mayor. En la figuras 1 y 2 se define un método rápido de cálculo para un durmiente.

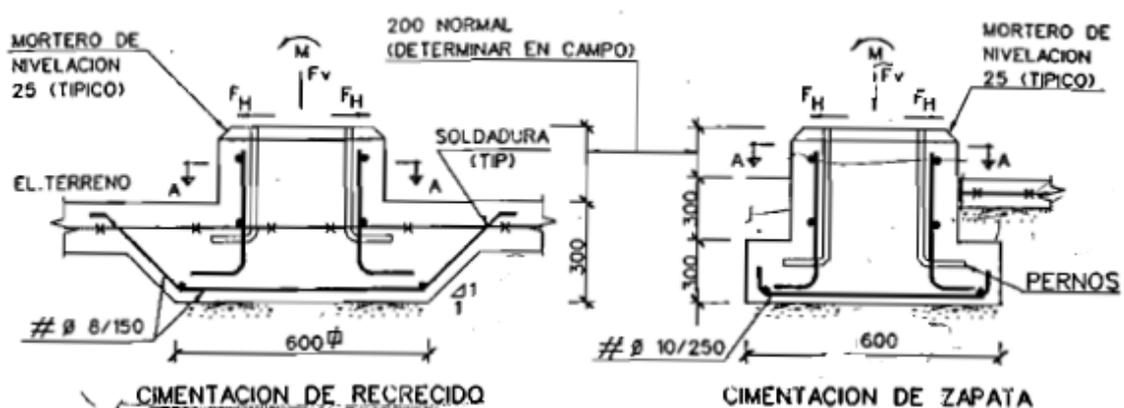
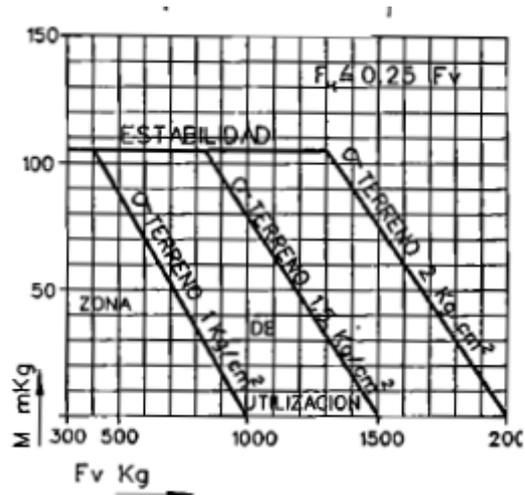


Figura 1 Sección con los esfuerzos que actúan sobre el durmiente.



NOTAS :

- 1 -LOS VALORES F_h Y M PODRAN SER SIMULTANEOS EN DIRECCIONES ORTOGONALES
- 2 -LA SUPERFICIE DE LA PLACA BASE DEBERA SER SUFICIENTEMENTE PLANA Y LIBRE DE RUGOSIDADES PARA PERMITIR EL DESLIZAMIENTO
- 3 -UTILIZAR ZAPATA SI EL PAVIMENTO NO HA SIDO REALIZADO CUANDO SE CONSTRUYA LA CIMENTACION
- 4 -AÑADIR "A" o "B" AL TIPO DE CIMENTACION, SEGUN SE DESEE UTILIZAR PERNOS o PLACA BASE
- 5 -DOBLAR LOS PERNOS DE ANCLAJE SI TIENEN UNA LONGITUD MAYOR QUE LA ALTURA DE LA CIMENTACION
- 6 -PARA ESPECIFICACIONES DE SOPORTES VER EC-H-50
- 7 -EL ACERO LAMINADO SERA DEL TIPO A-42b
- 8 -COTAS EN mm.

Figura 2 Momento y fuerza vertical máxima capaz de soportar un terreno



En las siguientes figuras se extrae un típico de un durmiente:

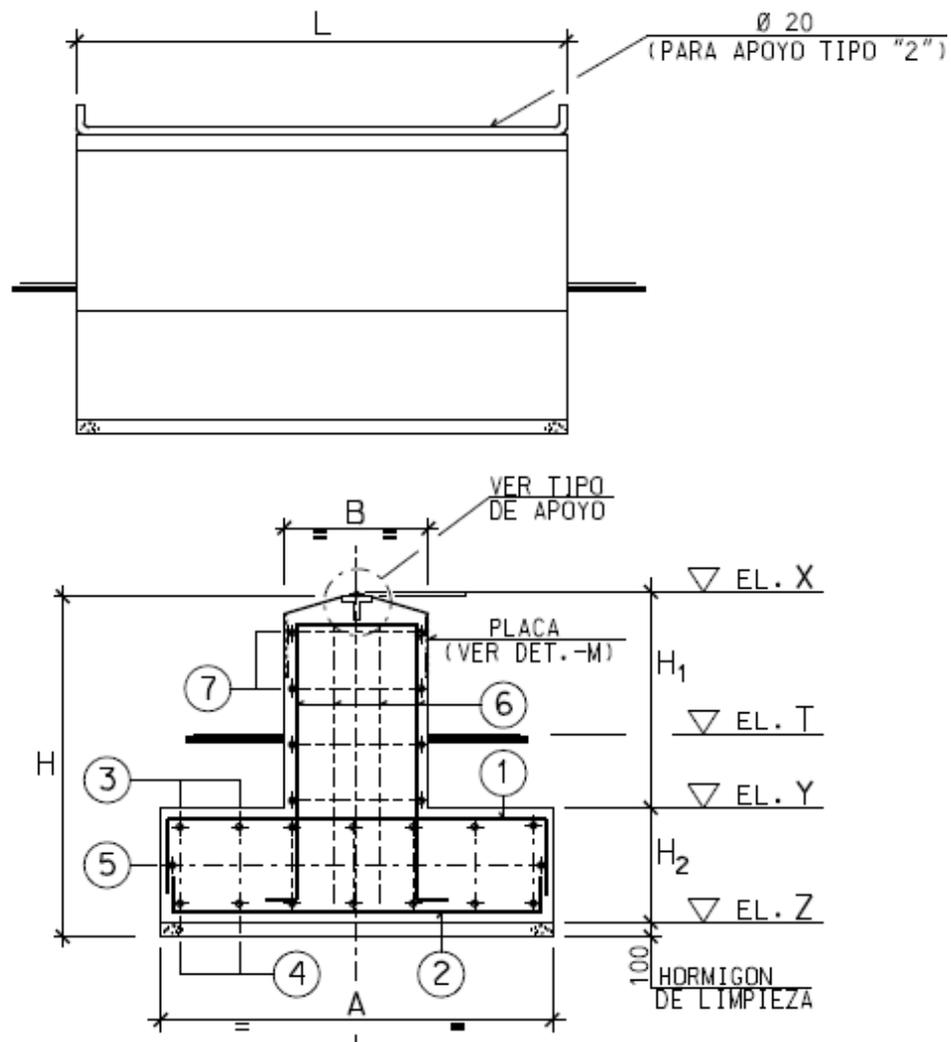


Figura 3 Sección lateral y vista frontal de un durmiente típico

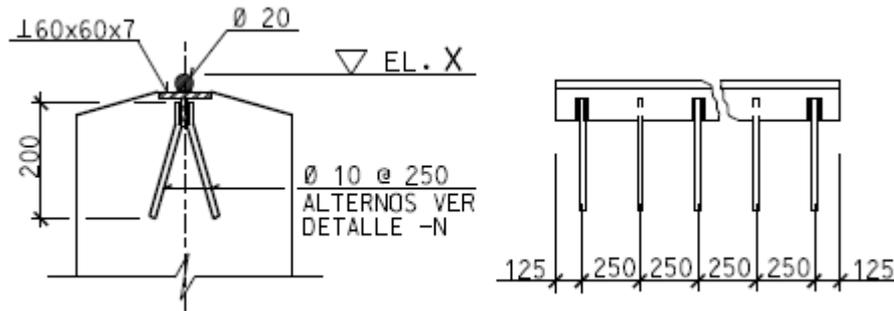


Figura 4 Detalle de anclaje del redondo de apoyo

Los apoyos de tuberías se pueden dar sobre durmientes o sobre soportes metálicos. En las figuras 5 y 6 se muestra un soporte metálico típico y un método de cálculo rápido. El método está incompleto al no haber mostrado los estándares a los que se refiere la tabla de la figura 6 ST-...

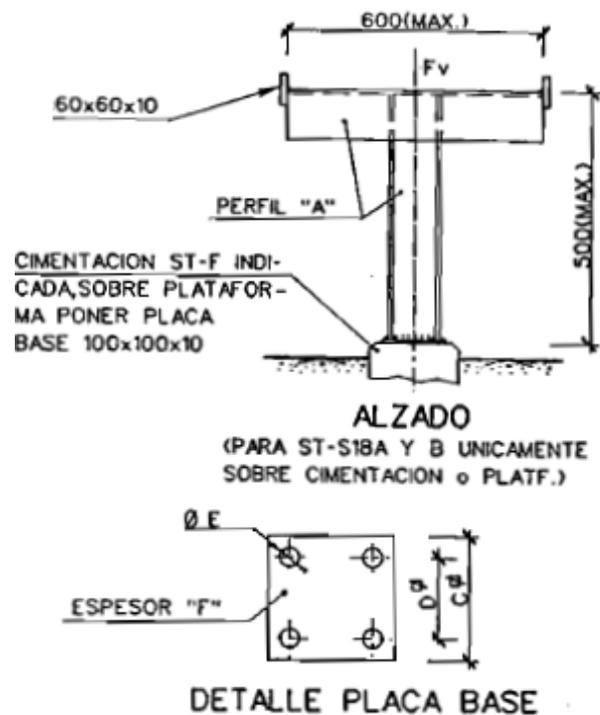


Figura 5 Detalle de cristo de acero típico sobre durmiente

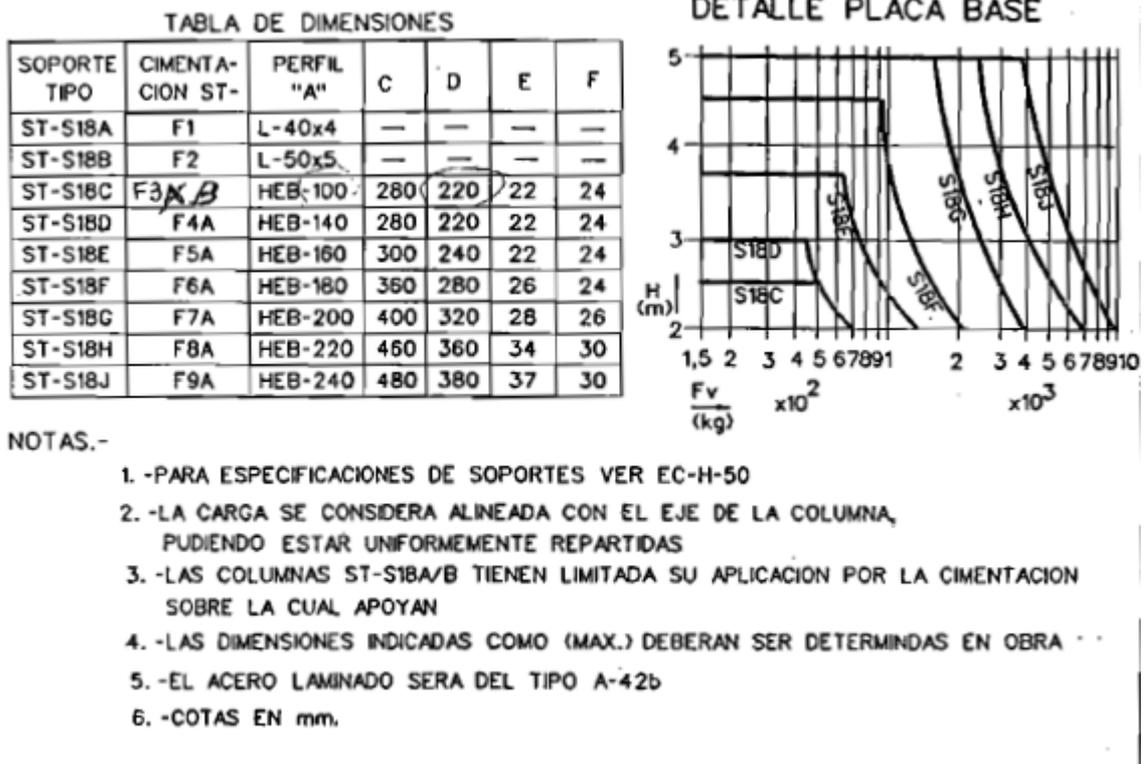


Figura 6 Diagrama para dimensionamiento de un soporte metálico para tubería.

En las figuras 5 y 6 se muestra un modelo genérico de durmiente para tubería. Se observa como la base (zapata) busca un aumento de la superficie de apoyo con tal de mantener la presión ejercida por el durmiente por encima de la resistencia máxima del terreno (10 Tn/m²).

2.1.2 Cimentación para marquesinas:

La cimentación se realizará mediante zapatas aisladas rígidas, que soportarán los pilares extremos, pilarillos y pilares de forjado respectivamente.

El cálculo se llevará a cabo según lo dispuesto en la EHE, y con la ayuda de las publicaciones "Memoria de cálculo de cimentaciones" por Pedro R. Laguna Luque.

Se buscará una disminución del deslizamiento de las zapatas utilizando vigas de atado entre ellas

A continuación se describen ciertas recomendaciones:



a) Bajo toda zapata es necesario verter hormigón HM-20 para limpiar adecuadamente el punto de cimentación pudiendo colocar en su superficie los separadores necesarios para la colocación de la armadura.

b) La excavación de los últimos 20 cm de terreno no debe de realizarse hasta el momento de echar el hormigón de limpieza.

c) La separación máxima entre armaduras no será superior a 30 cm ni inferior a 10cm. Si es necesario se agruparán por parejas en contacto.

d) No se emplearán diámetros de barras inferiores a 12 mm, ni el acero será inferior al B 400 S.

e) El recubrimiento lateral de las puntas de las barras no debe ser inferior a 5 cm, para evitar que las barras no sobresalgan de las zapatas lo que podría generar una oxidación parcial de la soldadura con el consiguiente agrietamiento del hormigón por el aumento de volumen del acero.

f) Es recomendable modular las dimensiones horizontales en múltiplos de 25 cm y los cantos de 10 cm con el fin de facilitar la ejecución.

g) La cuantía geométrica mínima de las armaduras, en cada dirección, para los aceros B 400 S, es de 0,0018 kg.

Por otro lado, al tratarse nuestro terreno de un terreno arcilloso blando y según el estudio geotécnico del terreno se utilizará una resistencia del terreno de 1 kg/cm².

Los elementos que emplearemos en la construcción de la zapata serán:

- Hormigón: HA-25/P/40/II a

- Acero: B 400 S

Los coeficientes de seguridad empleados son:

- Coeficiente de minoración de la resistencia del hormigón: $\gamma_c=1,5$

- Coeficiente de minoración de la resistencia del acero: $\gamma_s=1,15$



- Coeficiente de mayoración de las acciones: $C_f=1,6$

- Comprobaciones generales de pilares y pórticos

Se va a realizar un ejemplo de cálculo de una cimentación. Suponiendo una serie de reacciones sobre el terreno:

$$M=14 \text{ Tn}$$

$$N= 7 \text{ t}$$

$$T= 5 \text{ t}$$

Se realizarán a continuación una serie de comprobaciones que indicarán si el dimensionado de la zapata es correcto.

a) *Comprobación de vuelco:*

Se igualarán momentos estabilizadores (M_1) con aquellos que tienden a producir el vuelco de la zapata (M_2), teniendo que cumplirse:

$$M_1 \geq M_2$$

$$(N + P) \cdot \frac{a}{2} \geq (M + T \cdot h) \cdot \gamma_1$$

Siendo:

N: esfuerzo axial

M: Momento flector

T: Esfuerzo cortante característico

P: Peso propio de la zapata ($\gamma_H \cdot Vol$)

γ_1 : Coeficiente de seguridad al vuelco (1.5)



a: longitud de la zapata (a= 2.5 m)

b: ancho de la zapata (b=2.5m)

h: canto de la zapata (h=0.7 m)

A: ancho del pedestal de la zapata (A= 0,56 cm)

B: longitud del pedestal de la zapata (B=0,56 cm)

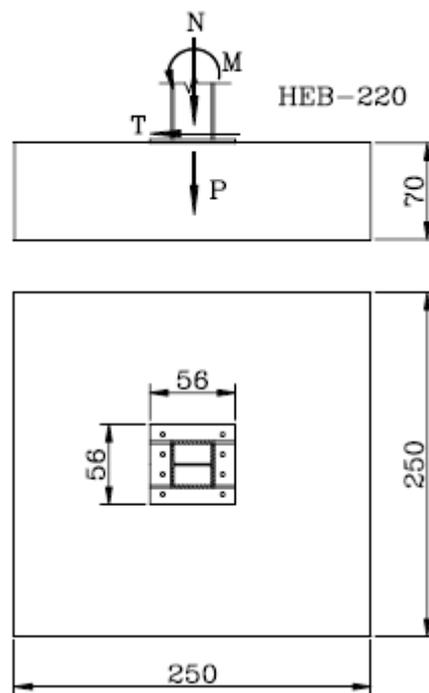


Figura 7 Zapata de estudio.

Por lo tanto se podrá deducir el peso de la zapata teniendo en cuenta la densidad del hormigón (2.500 kg/m³), que será:

$$P = \gamma_H \cdot Vol$$

$$P = 2500 \cdot 2,5 \cdot 2,5 \cdot 0,7 = 10.937,5kg$$

Entonces



$$M_1 = (5.000 + 10937,5) \cdot \frac{2,5}{2} = 19.921 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

$$M_2 = (14.000 + 5.000 \cdot 0,7) = 17.500 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

Por tanto:

19.921 > 17500 cumpliendo las condiciones de vuelco.

b) Condición de zapata rígida:

A continuación se estudiará si con una zapata de estas dimensiones se cumple la condición de zapata rígida, es decir, que el vuelo máximo de la zapata sea inferior al doble del canto.

$$V = \frac{250 - 56}{2} = 97 \text{ cm}$$

$$2 \cdot h = 2 \cdot 70 = 140 \text{ cm}$$

Concluyendo que $V < 2 \cdot h$. Cumple

c) Excentricidad y tensión admisible del hormigón:

$$e = \frac{M + T \cdot h}{N + P} = \frac{14.000 + 5.000 \cdot 0,7}{7.000 + 10.937,5} = 0,976$$

$$\frac{a}{6} = \frac{2,5}{6} = 0,417 \text{ m}$$

Como la excentricidad (e) es mayor que a/6, la distribución de las tensiones caerá fuera del centro

Para conservar en equilibrio la zapata es necesario cumplir que:

$$C = \frac{a}{2} - e = \frac{250}{2} - 97,6 = 27,4$$

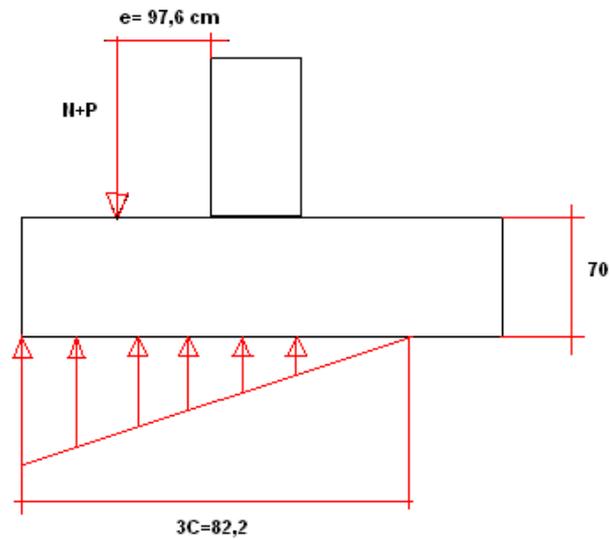


Figura 8 Representación de la excentricidad de la zapata.

La tensión en el borde de la zapata será:

$$\sigma_{\max} = \frac{4}{3} \cdot \frac{N + P}{b \cdot (a - 2 \cdot e)} = \frac{4}{3} \cdot \frac{7.000 + 10.937,5}{250 \cdot (250 - 2 \cdot 97,6)} = 1,746 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

$$\text{Como } \sigma_{\max} \leq \frac{4}{3} \cdot \sigma_{adm}$$

$$1,746 \leq \frac{4}{3} \cdot 1,75$$

Con lo que cumpliría la condición de la tensión admisible del hormigón.



2.1.3 Cimentación de motores:

Con objeto de analizar una fundación sometida a vibraciones, se puede establecer la analogía más simple representada por un sistema de un grado de libertad que consta de un elemento de masa, un resorte y un amortiguador.

Conociendo la masa, la constante de resorte y la relación de amortiguamiento, la respuesta del sistema puede determinarse para cualquier tipo de sollicitación dinámica.

Aunque este es un sistema relativamente simple de analizar, el problema principal radica en la determinación de valores confiables para estos parámetros: masa, constante de resorte y relación de amortiguamiento. Como consecuencia del trabajo de un investigador alemán de nombre Reissner y otros investigadores, la evaluación de estos parámetros se ha hecho más confiable debido al uso de la “Teoría del Semi-espacio Elástico”. Esta teoría, desarrollada por Reissner, considera al sistema como un oscilador de disco rígido soportado por un cuerpo elástico, isotrópico, homogéneo y semi-infinito.

A partir del trabajo de Reissner, otros investigadores demostraron que esa teoría conducía a soluciones que permitían representar el sistema dinámico como un sistema masa-resorte-amortiguador de un solo grado de libertad. Los resultados de programas extensivos de ensayos de campo realizados en modelos de fundaciones, han demostrado que existe bastante concordancia entre los resultados experimentales y teóricos de respuesta a vibraciones.

2.1.3.1 Parámetros globales

a) *Masa*

Obviamente, la masa del sistema paramétrico global equivalente deberá incluir, como mínimo, la masa de la fundación más la masa de la maquinaria soportada por la fundación. Adicionalmente, siempre se ha considerado que una cierta masa del suelo vibrando “en fase” con la fundación debería ser incluida en la masa global total del sistema. Aunque en algunos casos sea necesaria una masa mayor que la correspondiente a la fundación más la maquinaria, para hacer que la masa global coincida con la curva de respuesta del sistema real, se ha establecido claramente que esta masa diferencial es relativamente pequeña, excepto para los sistemas sin picos agudos de resonancia.



Considerando que una de las razones principales para seleccionar la masa del sistema dinámico, es dar un estimado en el valor de la frecuencia de resonancia, y que la resonancia es de poca importancia en casos donde no hay picos agudos resonantes; la masa del suelo vibrando “en fase” con la fundación será de magnitud considerable solamente cuando el efecto de esta masa sea de poca importancia práctica. Por esta razón, la masa global del sistema se representa solamente por la suma de las masas de la fundación y de la maquinaria soportada.

b) Constante de resorte

La constante de resorte es el parámetro más importante entre los utilizados en un sistema de un grado de libertad. La figura 9 presenta las fórmulas para el cálculo de la constante de resorte obtenidas mediante la teoría de elasticidad para fundaciones circulares y rectangulares apoyadas en la superficie de un semi-espacio elástico.

Estas fórmulas son aplicables en fundaciones colocadas a poca profundidad. La profundidad de embutimiento de la fundación incrementa la frecuencia natural, pero este cambio no es significativo hasta que la profundidad es similar al ancho de la base.

CONSTANTES DE RESORTE PARA FUNDACIONES RIGIDAS APOYADAS EN EL SEMI-ESPACIO	
TIPO DE MOVIMIENTO	CONSTANTE DE RESORTE
(a) BASE CIRCULAR	
VERTICAL	$K_z = \frac{4Gr_s}{1-\nu}$
HORIZONTAL	$K_x = \frac{32(1-\nu)Gr_s}{7-8\nu}$
BALANCEO	$K_\psi = \frac{8}{3} \frac{Gr_s^3}{(1-\nu)}$
TORSIONAL	$K_\theta = \frac{16}{3} \frac{Gr_s^3}{1-\nu}$
(b) BASE RECTANGULAR	
VERTICAL	$K_z = \frac{G}{1-\nu} \beta_s (BL)^{1/2}$
HORIZONTAL	$K_x = 2(1+\nu)G\beta_x (BL)^{1/2}$
BALANCEO Y CABACEO	$K_{\psi,\phi} = \frac{G}{1-\nu} \beta_{\psi,\phi} BL^2$

Figura 9. Fórmulas para cálculo de las distintas constantes de resorte.



NOTAS:

La dimensión “L” es siempre perpendicular al eje de rotación para las fórmulas de las figura 9 y 10. La gran mayoría de las ecuaciones y relaciones de vibración están evaluadas considerando una fundación circular sobre un semi-espacio elástico.

La figura 10 presenta las ecuaciones que relacionan una fundación equivalente de base circular de radio r_o , con una rectangular de dimensiones “B” por “L”.

TIPO DE MOVIMIENTO	RADIO EQUIVALENTE (r_o)
TRASLACION	$r_o = \left(\frac{BL}{\pi}\right)^{1/2}$
BALANCEO	$r_o = \left(\frac{BL^3}{3\pi}\right)^{1/4}$
TORSIONAL	$r_o = \left[BL\frac{(B^2 + L^2)}{6\pi}\right]^{1/4}$

Figura 10. Radios equivalentes de fundaciones rectangulares.

Si los valores de “ r_o ” obtenidos de la figura 10 son sustituidos en las ecuaciones de la constante de resorte de la figura 9 (a) para una fundación circular y luego se comparan las ecuaciones resultantes con las correspondientes de la figura 9 (b) para una fundación de base rectangular, se puede concluir lo siguiente:

- Para vibración vertical, los valores de la constante de resorte son comparables para fundaciones cuya relación largo/ancho es igual o menor que 3.
- Para vibración horizontal, los valores de la constante de resorte son comparables para fundaciones cuya relación largo/ancho es igual o menor que 6.
- Para vibración de balanceo oscilante, los valores de la constante de resorte son comparables para relaciones largo/ancho entre 0,5 y 2 ($0,5 < L/B < 2$).
- En conclusión, dado que en la mayoría de los cálculos se utiliza “ r_o ”, este parámetro puede utilizarse también para obtener los valores de la constante de resorte, siempre que la forma de la fundación satisfaga los requisitos antes indicados.

c) Amortiguamiento:



El amortiguador de un sistema de un grado de libertad representa la capacidad de amortiguamiento del suelo en el sistema suelo–fundación. Existen dos tipos de amortiguamiento en el sistema real; el primero y más importante se denomina “amortiguamiento geométrico” y se conoce ocasionalmente como “amortiguamiento por radiación”, y el segundo considerado de menor importancia en la mayoría de los casos, es el “amortiguamiento interno”.

El amortiguamiento geométrico representa la pérdida de energía mediante propagación de las ondas elásticas desde el área circundante a la fundación hacia afuera. Para fundaciones rígidas circulares apoyadas en un semi–espacio elástico se han obtenido ecuaciones para el cálculo de la relación de amortiguamiento “D”. Utilizando las ecuaciones presentadas en la figura 10, se puede convertir una base rectangular de dimensiones B x L, en una base circular equivalente de radio “ro”; y utilizar las ecuaciones de la figura 11 para determinar los valores de la relación de amortiguamiento “D”.

TIPO DE MOVIMIENTO	RELACION DE MASA	RELACION DE AMORTIGUAMIENTO GEOMETRICO
VERTICAL	$B_z = \frac{(1-\nu)}{4} \frac{W_z}{\gamma r_o^3}$	$D_z = \frac{0,425}{(B_z)^{1/2}} a_z$
HORIZONTAL	$B_x = \frac{(7-8\nu)}{32} \frac{W_x}{(1-\nu) \gamma r_o^3}$	$D_x = \frac{0,288}{(B_x)^{1/2}} a_x$
BALANCEO	$B_{\psi,\phi} = \frac{3}{8} \frac{(1-\nu)}{\beta} \frac{I_{\psi,\phi} g}{r_o^5}$	$D_{\psi,\phi} = \frac{0,15 a_{\psi,\phi}}{(1 + N_{\psi,\phi}) (N_{\psi,\phi} B_{\psi,\phi})^{1/2}}$
TORCIONAL	$B_\theta = \frac{I_\theta g}{\gamma r_o^5}$	$D_\theta = \frac{0,50}{1 + 2B_\theta}$

Figura 11 Relación de masa y relación de amortiguamiento de de una fundación circular equivalente.

El amortiguamiento interno representa las pérdidas de energía durante la inversión de esfuerzos. Para el caso de suelos no cohesivos secos o relativamente secos, la pérdida de energía es debida a la fricción entre las partículas minerales del suelo. En caso de suelos saturados o húmedos, la pérdida de energía es causada por el movimiento relativo entre la matriz del suelo y el fluido intersticial.

En base a la información disponible se puede asumir un valor de 0,05 para la relación de amortiguamiento interno, el cual se sumará al valor de amortiguamiento geométrico.



Símbolos

z = Vertical

χ = Horizontal

θ = Torsión

$B_z, B_x, B_\Phi, B_\theta, B_\psi$ = Relación de Masa

D = Relación de Amortiguamiento

Una comparación entre los valores de amortiguamiento geométrico e interno, indica que el primero es mucho mayor que el segundo, para vibraciones horizontales y verticales. Por lo tanto, para estos tipos de vibración podría no considerarse el amortiguamiento interno. Para vibraciones torsionales y de balanceo, los valores de amortiguamiento geométrico son usualmente bajos, y similares a los de amortiguamiento interno.

En estos casos, se sumará un valor de amortiguamiento interno de 0,05 ($D=0,05$) al de amortiguamiento geométrico.

2.1.3.2 Información requerida para el diseño

a) *Propiedades del suelo:*

De la revisión de las ecuaciones para la constante de resorte y relación de amortiguamiento, para cualquier modo particular de vibración, se observa que se requiere determinar dos propiedades del suelo, como son: Relación de Poisson (ν) y módulo de corte (G). Estas propiedades deberán ser determinadas por el ingeniero geotécnico durante el estudio de suelos del sitio del proyecto.

Cuando no se disponga de un informe geotécnico completo del sitio considerado y para efectos del diseño preliminar, “ ν ” y “ G ” pueden ser estimados con cierta precisión. Generalmente, se ha determinado que la relación de Poisson varía entre 0,25 a 0,35 para suelos no cohesivos y entre 0,35 a 0,45 para suelos cohesivos. Por lo tanto y para efectos de diseño, pueden asumirse sin mucho error, valores de 0,30 y 0,40 de la relación de Poisson para suelos no cohesivos y cohesivos, respectivamente.



Los valores de “G” pueden obtenerse a partir de ensayos de laboratorio, considerando que este parámetro varía con la presión de confinamiento.

Finalmente, debe considerarse que debido a la estratificación del subsuelo, será necesario promediar los valores individuales de dichos parámetros para cada estrato de suelo, a fin de obtener un solo valor del módulo de corte y otro de la relación de Poisson, que se utilizarán para la teoría del semi-espacio elástico. (Medio elástico, homogéneo e isotrópico). Este promedio puede obtenerse como una variación lineal del módulo desde un máximo debajo de la fundación, hasta cero a una profundidad de $r_0/2$.

Antes de iniciar el diseño de la fundación, se requiere la siguiente información mínima y complementaria de la maquinaria a ser soportada:

a. Dimensiones de la base de la maquinaria.

b. Ubicación y tamaño de los pernos de anclaje.

c. Peso y ubicación del centro de gravedad de la maquinaria o del equipo ensamblado; y en caso necesario, de cada uno de sus componentes.

d. Momento inercial de la masa de la maquinaria o del equipo ensamblado; y en caso necesario, de cada uno de sus componentes.

e. Solicitaciones desbalanceadas primarias y secundarias.

1. Vertical

2. Horizontal

3. Momento Vertical

4. Momento Horizontal

f. Velocidad de operación de la máquina.

g. Servicios y funciones de operación del equipo.



2.1.3.3 Criterios de diseño

a) *Dimensionamiento de la Fundación*

La fundación de un compresor consiste de un pedestal de concreto y una zapata.

Las dimensiones mínimas del pedestal son dadas usualmente por el fabricante del compresor; sin embargo, en caso de que esta información no esté disponible, el pedestal deberá sobresalir un mínimo de 38 mm (1-1/2") con respecto a la base del compresor y deberá cumplir con la distancia requerida entre los pernos de anclaje y el borde del pedestal.

El ancho de la zapata o la dimensión perpendicular al eje del compresor, será como mínimo 1-1/2 veces la distancia medida desde el eje del compresor al fondo de la fundación. La longitud de la zapata o dimensión paralela al eje, será aproximadamente de 610 mm (2') mayor que la longitud del pedestal.

El espesor de la zapata será el adecuado para garantizar una fundación rígida.

Para cumplir con este requisito, el espesor mínimo de la zapata será igual a dos tercios de la distancia entre el borde del pedestal y el borde de la zapata y nunca menor que 457 mm (1'-6"). En la mayoría de los casos, el compresor y el motor se colocan en un pedestal común. En caso de que se usen pedestales separados, puede ser necesario incrementar el espesor de la zapata para asegurar una rigidez adecuada entre ambos pedestales.

Cuando se instalen dos o más maquinarias a poca separación entre ellas, como en el caso típico de un edificio para compresores, los pedestales de concreto en los compresores podrán apoyarse en una placa común. En este caso, se asumirá un ancho y largo efectivo de la zapata para cada compresor a fin de determinar el espesor adecuado de la placa de apoyo y así realizar el análisis dinámico.

Usualmente la placa de apoyo de los pedestales de los compresores se extiende hasta los bordes de la edificación, con objeto de apoyar las columnas; sin embargo, la experiencia ha demostrado que la vibración se transmite a las columnas de la edificación. En este caso, la placa sirve de apoyo común a los pedestales de los compresores, las columnas de la edificación, las columnas cortas interiores de soporte



del piso de operación y a numerosos pedestales de soporte de las tuberías de alta presión.

La baja presión transmitida al suelo, resultante del uso de una placa corrida de apoyo, permite disminuir la profundidad de asiento de la misma con relación a la superficie del terreno, con la consiguiente disminución en materiales de construcción y excavación. La superficie superior de la placa tendrá un nivel de acabado a 152 mm (6") por encima del punto alto de superficie del terreno o piso acabado. La superficie debajo de los pedestales se dejará rugosa para obtener un entrapado entre los agregados, necesario para la resistencia por corte.

Se deberá hacer un análisis para determinar si los equipos y demás instalaciones cercanas no son afectadas por las vibraciones. En caso de que sean afectadas, se deberán aislar las fundaciones del compresor.

En todas las caras expuestas de los pedestales del compresor, se colocarán cabillas de refuerzo # 5 a cada 305 mm (12") tanto vertical como horizontalmente, (ver la Guía de Ingeniería PDVSA-90615.1.002 "Fundaciones para Compresores Reciprocantes"). El refuerzo de la placa se obtendrá mediante cálculo.

b) Presión sobre el Suelo

Las fundaciones de los equipos rotativos son dimensionadas principalmente con el objeto de minimizar las amplitudes de vibración. Considerando que estas fundaciones tienden a tener dimensiones mayores que las requeridas para soportar los pesos del equipo, las presiones resultantes sobre el suelo son usualmente bajas; sin embargo, se puede tomar como una regla práctica de diseño que la presión del subsuelo no exceda del 50 por ciento de la presión estática permisible, de manera de obtener una zapata que satisfaga económicamente, el análisis dinámico. La excentricidad entre el centroide de masas del equipo y el de la fundación no deberá ser mayor que el 5% de las dimensiones de la fundación.

c) Procedimiento para el Análisis Dinámico



a. Después de obtener un dimensionamiento preliminar de la fundación, el segundo paso del diseño será el cálculo de la constante dinámica o de resorte (K), usando las ecuaciones antes indicadas.

Nota: Para los modos de vibración torsional y de balanceo, se substituirá la masa del equipo por el momento de inercia de la masa (I) de la maquinaria y de la fundación, alrededor del eje de rotación. Para la vibración de balanceo el eje de rotación será una línea horizontal en la base de la fundación que pasa a través del punto de proyección del C.G. de la fundación. Para la vibración torsional, el eje de rotación es una línea vertical que pasa por el C.G. de la fundación.

b. Calcular la frecuencia natural no amortiguada (f_n) del sistema.

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m}} \dots \dots \dots \text{Para Traslación}$$

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{I}} \dots \dots \dots \text{Para Torsión y Balanceo}$$

Figura 12 relaciones para cálculo de frecuencias naturales no amortiguadas

c. Calcular el factor de magnificación dinámica (M).

$$M = \left[\frac{1}{\left[1 - \left(\frac{f}{f_n} \right)^2 \right]^2 + \left[2D \frac{f}{f_n} \right]^2} \right]^{1/2}$$

Figura 13 Relación de cálculo del factor de magnificación dinámica

Calcular la deflexión estática (Z) o la rotación (θ) debida a las fuerzas desbalanceadas (Q_0) o momentos desbalanceados (M_0).

$$Z = \frac{Q_0}{K_z} \dots \dots \dots \text{Para Traslación}$$

$$\psi, \theta = \frac{Q_0 d + M_0}{K_{\psi, \theta}} \dots \dots \dots \text{Para Balanceo y Torsión}$$

Figura 14 Fórmula para cálculo de la deflexión estática



NOTA: (d) es la distancia perpendicular desde (Qo) al eje de rotación.

e. Calcular la máxima amplitud de vibración. (A).

$$A = ZM \quad \text{Para Traslación}$$

$$A = \theta M d' = \psi M d' \quad \text{Para Balanceo y Torsión}$$

Figura 15 Obtención de la amplitud máxima de vibración

NOTA: (d') es la distancia desde el eje de rotación a cualquier punto donde se desee calcular la deflexión. Ejemplo: el borde superior de la fundación, la línea central del eje motor del compresor, el punto más alto del compresor, etc.

d) *Frecuencia Natural*

Para un sistema no amortiguado, si la frecuencia natural coincide con la frecuencia de operación, la amplitud teórica es infinita. Cuando existe amortiguamiento, la amplitud de vibración es finita, pero puede ser excesiva y por tanto inaceptable. De manera de evitar esta zona de altas amplitudes (resonancia), la relación de frecuencias f/f_n (frecuencia de operación contra frecuencia natural) deberá estar preferiblemente fuera del rango de valores de amortiguamiento entre 0,7 y 1,4, a fin de evitar que esta consideración sea crítica.

Los modos traslacionales de vibración usualmente presentan valores altos de amortiguamiento, por lo que en este caso esta consideración no es crítica; sin embargo, para los modos rotacionales de vibración, los cuales se caracterizan por valores más bajos de amortiguamiento, es muy importante mantener la relación de frecuencias fuera del rango de resonancia.

Es conveniente recordar que las maquinarias reciprocantes pueden tener fuerzas desbalanceadas primarias y secundarias y que éstas últimas ocurren al doble de la frecuencia de operación. Por tanto, a menos que la velocidad de la maquinaria sea muy baja o que el sistema de fundación tenga una frecuencia natural superior a las frecuencias primarias y secundarias, se hace sumamente difícil y a veces imposible mantenerse fuera del rango de resonancia. En tales situaciones, la evaluación de valores



realistas de constantes de resorte y relaciones de amortiguamiento se hacen más importante a fin de lograr una mejor estimación de las amplitudes.

e) Amplitudes Máximas

En general, no es posible establecer un máximo absoluto para las amplitudes de vibración. En primer lugar, los niveles tolerables de amplitudes disminuyen cuando la velocidad de la máquina aumenta; y segundo, las amplitudes tolerables son mucho más bajas cuando la máquina vibratoria está en una edificación para compresores o cercano a personas, que cuando la máquina está ubicada en una zona aislada.

2.1.3.4 Símbolos y anotaciones.

A: Máxima amplitud de vibración.

$B_z, B_x, B_y, B_\theta, B_\varphi$: Relación de masa de la fundación.

B : Dimensión de la fundación paralela al eje de rotación.

d: Distancia perpendicular desde Q_0 al eje de rotación.

D: Relación entre la capacidad de amortiguamiento real y crítica.

E: Módulo de elasticidad del suelo

f: Frecuencia de operación del equipo.

f_n : Frecuencia natural no amortiguada del sistema de fundación.

g: Aceleración de gravedad.

G: Módulo de corte del suelo.

I_r, I_θ, I_φ : Momento de inercia de la masa de la fundación y el equipo alrededor del eje de rotación.

$K_z, K_x, K_r, K_\theta, K_\varphi$: Constante de resorte.

L: Dimensión de la fundación perpendicular al eje de rotación.



m: Masa de la fundación y el equipo.

M: Factor de magnificación dinámica.

Mo: Momento desbalanceado causado por el equipo vibratorio.

Qo: Fuerza desbalanceada causada por el equipo vibratorio.

ro: Radio de la fundación circular equivalente.

v: Relación de Poisson.

Wt: Peso de la fundación y el equipo.

z: Deflexión estática.

Bz, Bx, B_y, B_φ: Coeficiente de la fundación rectangular para obtener “K”.

2.2 MONTAJE MECÁNICO

En cualquier instalación de CLH las uniones entre los distintos accesorios de tuberías serán mediante uniones soldadas o bridadas. A continuación se comentará teoría útil a la hora de hacer el seguimiento de calidad de las uniones soldadas existentes en cualquier instalación:

2.2.1 Radiografías

Las especificaciones del cliente para el que se realiza esta factoría establece que, para instalaciones concentradas o para terminales de oleoducto, es requisito imprescindible realizar inspecciones visuales por radiografiado del 100% de todas las tuberías de producto que trabajen fuera de la presión atmosférica. Por lo que el 90% de las uniones soldadas han de ser radiografiadas.

A continuación se va a exponer una breve explicación de los defectos típicos que pueden aparecer y como reconocerlos en las radiografías:

a) Escorias y escorias alineadas (Inclusiones):

Las escorias aparecen debido a la oxidación del material base durante el aporte de material del electrodo. Estas escorias han de ser eliminadas por medios mecánicos como



radiales o cepillos de alambre en cada pasada de electrodo. También se pueden eliminar o, mejor dicho, minimizar usando gases para inertizar la zona a fundir durante el proceso de soldadura como el argón al utilizar procedimientos de soldadura como el Tungsten In Gas (TIG).

Las escorias son muy comunes en la soldadura y se localizan en una radiografía por franjas negras a lo largo del cordón a la profundidad del bisel. Pueden dar lugar a grietas interiores, contaminación endurecimiento y disminución del límite elástico.

b) Poros:

Son huecos macroscópicos en el interior de la soldadura. Pueden producirse por defectos de los electrodos, falta de precalentamiento del material base, viento, humedad o por la propia combustión de la carcasa del electrodo. Suelen estar rellenos de nitrógeno por la expansión del ese gas durante el proceso de soldadura junto a la falta de inertización de la zona caliente. Dependiendo de la posición del poro (no es lo mismo que se encuentre en el cordón del cierre como en el peinado) y de su tamaño. El inspector de soldadura decide si ha de repararse o no.

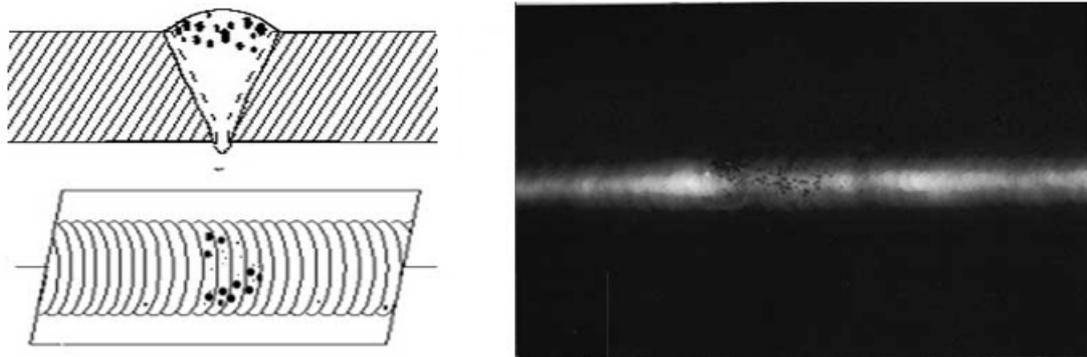


Figura 16 Dibujo de nidos de poros superficiales (izquierda) y radiografía de soldadura con nido de poros (derecha)

c) Poros vermiculares:

Son iguales que los poros pero, a diferencia de estos, su forma no es completamente esférica teniendo una prolongación. Esta extensión es un punto de concentración de



tensiones por lo que la grieta interna puede progresar y desembocar en una fractura. A diferencia de los poros comunes, este tipo de defectos han de eliminarse del material base siempre que sean detectados.

d) Faltas de fusión y de penetración:

Consiste en una fusión incompleta del material base. Normalmente es consecuencia de un bajo input térmico de la varilla, separación excesiva entre los tacones o mal enfrentamiento entre los mismos, falta de precalentamiento o velocidad excesiva del soldador. Las faltas de fusión aparecen en el punto de contacto entre el material base y el material de aporte. El resultado es una grieta de mayor o menor longitud que ha de ser corregida en todas las ocasiones. El punto más común de una falta de fusión es el tacón del bisel aunque, tal como he expuesto anteriormente, puede aparecer en todos los puntos del bisel.

En el radiografiado se puede distinguir como una línea que si es recta, como trazada con regla, se dará en el tacón o soldadura de cierre.

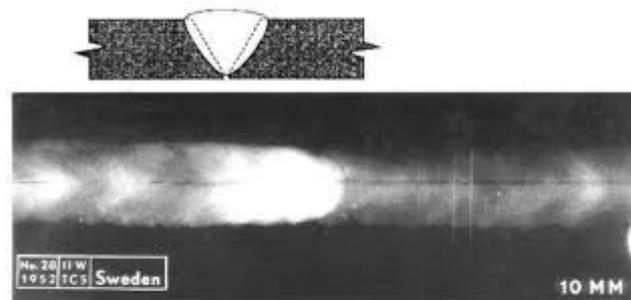


Figura 17 Dibujo y radiografía de una falta de fusión

e) Rechupes:

El proceso de soldadura no es constante al utilizarse electrodos y varillas de cierta longitud. Los rechupes son oquedades que aparecen entre la finalización de un electrodo o una varilla y el comienzo de la siguiente. Son defectos comunes y casi nunca desembocan en una reparación de la zona afectada. Solo se pueden producir en el cordón de cierre o en el peinado. Solo se reparan aquellos rechupes en los que la falta de material sea excesiva.

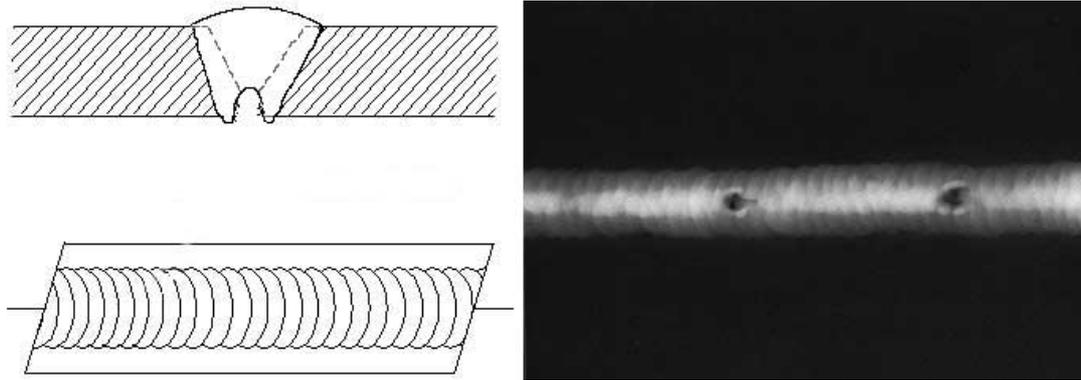


Figura 18 Dibujo y radiografía de un rechupe

f) Falta de material de aporte:

Dado el espesor de una tubería (e) su diámetro nominal (dn), el espesor de la soldadura (es) ha de ser:

.- Por el interior: $es > dn + e + 2mm$

.- Por el exterior: $dn < es < dn + 2mm$

Si estos requisitos no se cumplen en sus mínimos consideramos que hay una falta de material y la costura tendrá que ser reparada.

g) Laminaciones y fisuras:

Son defectos poco comunes pero muy peligrosos. Pueden producirse por defectos de fabricación de la tubería (defectos debido a endurecimientos por deformación a bajas temperaturas, o falta de recocido del acero...) o numerosas reparaciones en un mismo punto (templados). Se reconocen en una radiografía como una forma larga y recta o de curvatura constante. Es muy difícil distinguir entre una falta de fusión y una laminación en un radiografiado. La única forma de distinguirlos es radiografiar una zona cercana a la posible laminación longitudinalmente a este punto y verificar que la laminación esta también en este lugar por lo que se verificaría que es ese defecto recurriendo a la eliminación y estudio por ensayos destructivos de la tubería. Las laminaciones suelen aparecer en una dirección circunferencial al eje de la tubería mientras que las fisuras se prolongarán en las direcciones radial y axial, perpendiculares a las laminaciones. Su causa más común es la de un enfriamiento rápido del material de aporte.

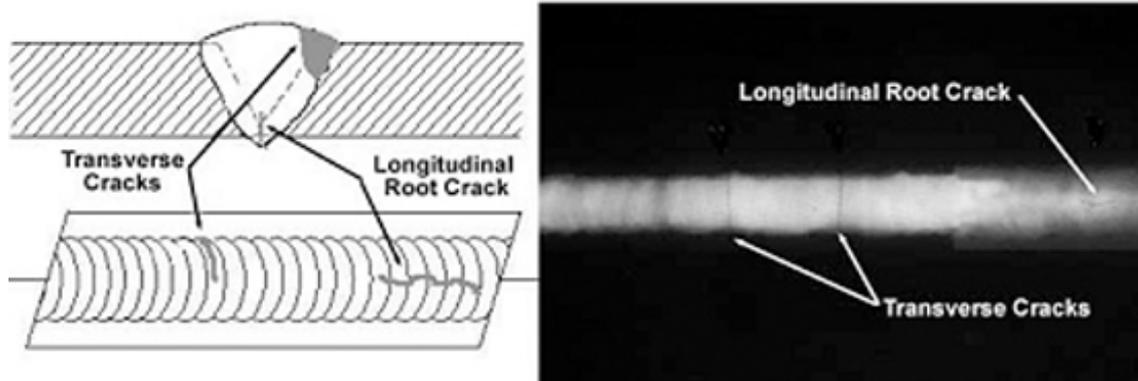


Figura 19 Dibujo y radiografía de fisuras longitudinales y transversales.

2.2 INSTRUMENTACION

2.3.1 Instrumentos Analógicos:

Son todos aquellos instrumentos que envían una señal de forma pasiva o activa (alimentados desde el instrumento o desde la borna de conexión del cuadro de conexiones correspondiente), cuya señal es eléctrica y continua, no necesariamente proporcional, de 4 a 20 mA.

- *Transmisor de presión:*

Una junta química consiste en una cámara llena de un fluido de transferencia (una mezcla con base de aceite) cerrada en uno de sus extremos por un sensor de presión y separada del proceso en su otro extremo por medio de una membrana (de plástico o acero inoxidable). La presión deforma la membrana y se transfiere del fluido al sensor de presión. Si las condiciones del proceso (temperaturas extremas, productos químicos agresivos, requisitos de higiene o medios muy viscosos o con tendencia a sedimentar) no permiten el uso directo de un sensor de presión, se emplean transmisores de presión. Un amplio catálogo de conexiones al proceso permite la utilización de este sistema en numerosas aplicaciones especiales.

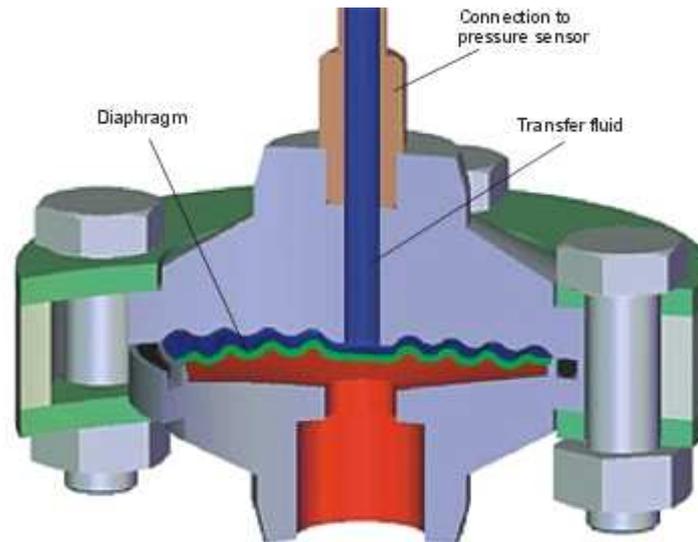


Figura 20. Internos de un transmisor de presión

Nos podemos encontrar distintos transmisores de presión a lo largo de la instalación. Destacamos los siguientes:

- Transmisores aguas abajo de las bombas: Son señales de indicación sin ninguna lógica programada en el PLC. Sirven para observar o llevar un seguimiento visual por la pantalla del incremento de presión que genera una bomba con su funcionamiento.
- Transmisores antes y después de las PCV's: Tal como expliqué en el apartado de procesos, estos transmisores envían una señal al lazo que regula la válvula de control a través del controlador instalado en el panel de control del oleoducto, llamado tarjeta Fisher, que regula la posición del usillo de la válvula, generando una restricción al paso de la corriente y, por tanto, una pérdida de carga controlada.
- Otras indicaciones, por ejemplo los transmisores dispuestos entre los filtros cesta, estos transmisores son meramente indicativos y de vigilancia. Son útiles como un método de seguridad redundante en el caso de que no actuaran correctamente los presostatos diferenciales.



Figura 21 Transmisor de presión, marca Rosemount similar a los utilizados en la E.B de Arahah

A continuación se expone el esquema de montaje o Hook up de un transmisor de presión:

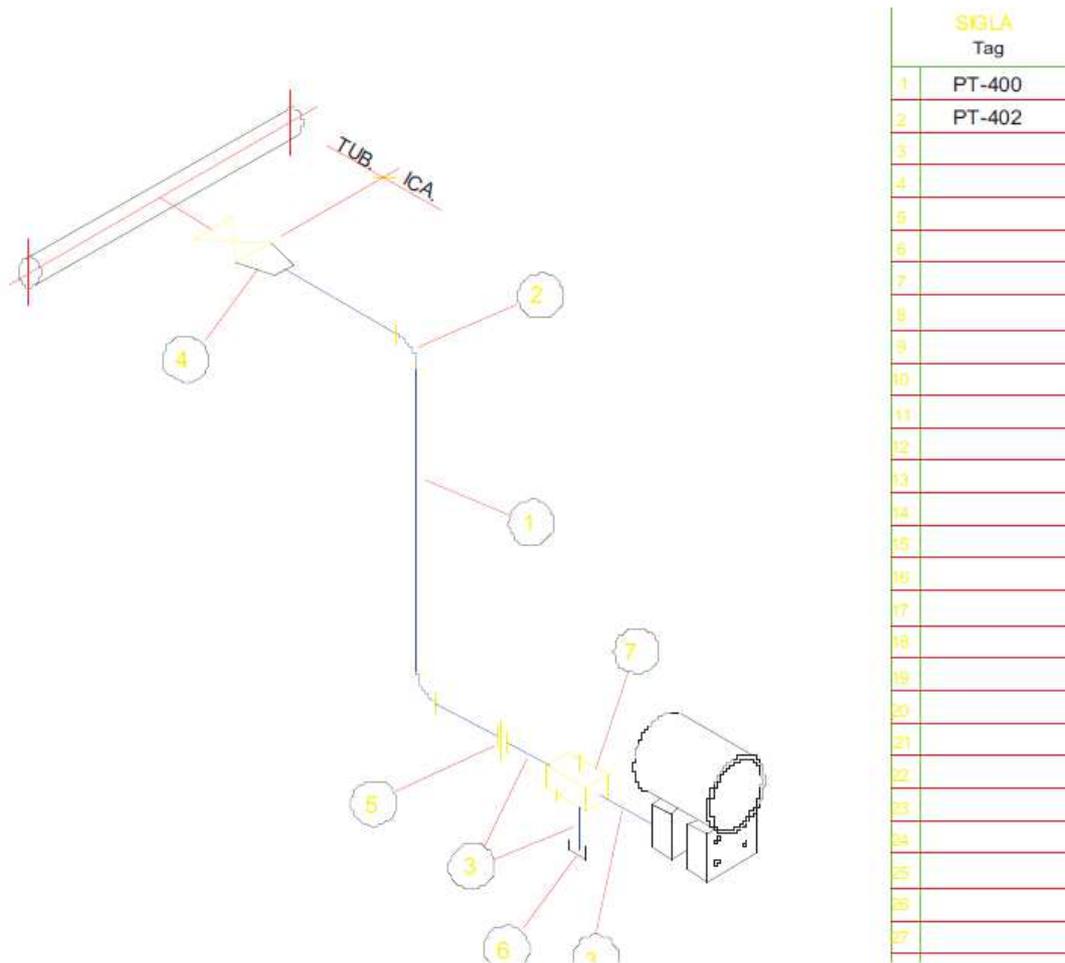


Figura 22 HookUP de un transmisor de presión

- **Transmisor de temperatura:**

Los transmisores de temperatura son escasos en estas instalaciones pero se pueden encontrar en tres casos distintos:

- **Recirculación de bombas:** La recirculación de bombas es un circuito cerrado que se instala en cualquier grupo de bombas. Sirve para poder probar las bombas por separado sin afectar a la línea de salida. El problema del multietapa es que no se realimentan las bombas con fluido por lo que el producto que circula por ellas se irá calentando y puede alcanzar valores peligrosos. De ahí que se utilice este transmisor de temperatura.

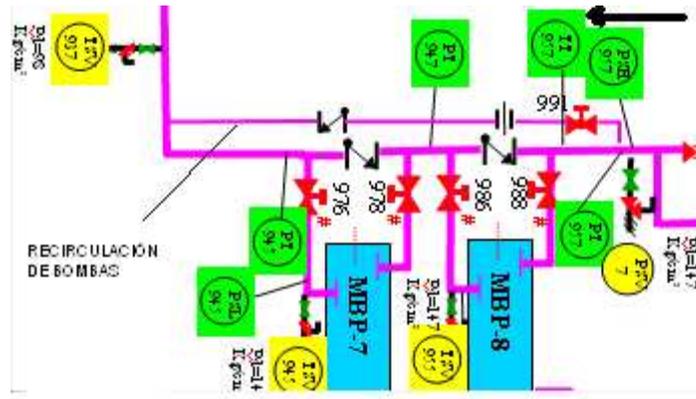


Figura 23 Representación esquemática de la situación del TT-977 en el bypass de bombas

- Densímetro: Esta señal de temperatura es utilizada por el densímetro para hacer las correcciones necesarias en el valor de la densidad.
- Temperatura de contacto a la salida de la E.B: Esta temperatura junto a la presión de salida da pie al cálculo de pérdidas de fluido en los tramos de oleoducto entre instalaciones.

Existen varios tipos de sensores de temperatura entre los que se encuentran:



- Termorresistencia:



Figura 24 Transmisor de temperatura pt100 con termopozo

A continuación se explicarán los principios básicos de funcionamiento de una Termorresistencia y en concreto de una termorresistencia PT100 que son aquellas que se han instalado:

La termorresistencia trabaja según el principio de que la medida varía con la temperatura, su resistencia se modifica, siendo la magnitud de esta modificación proporcional a la temperatura.

Las termorresistencias de uso más común se fabrican de alambres finos soportados por un material aislante y luego encapsulados. El elemento encapsulado se inserta luego dentro de una vaina o tubing metálico cerrado por un extremo, como viene representado en la fotografía anterior, que se llena con un polvo aislante y se sella con cemento para impedir que se absorba humedad.

La relación fundamental para su funcionamiento será:



$$R_t = R_o * (1 + \alpha * t)$$

Donde:

R_o es la resistencia en ohmios a 0 grados Celsius

R_t es la resistencia a la temperatura de t grados Celsius

α es el coeficiente de temperatura de la termorresistencia. Los materiales utilizados para los arrollamientos de termorresistencias son fundamentalmente platino, níquel, níquel-hierro, cobre y tungsteno.

Como se puede observar, se está suponiendo de antemano que el comportamiento del material con la temperatura será de carácter lineal, dentro del rango de trabajo asignado.

El método de medición de la temperatura no es directo, ya que lo que se mide es una resistencia a través de un puente Wheastone, luego se lee el valor de la temperatura correspondiente de la tabla de comportamiento de la citada resistencia. Este proceso, en la actualidad, ya está automatizado, gracias a los sistemas de control avanzado y de electrónica digital.

El platino es el material más utilizado, como en nuestro caso, ya que es de aplicación en un amplio rango de temperaturas y es el material más estable y que da resultados más precisos. En efecto, la relación resistencia-temperatura correspondiente al alambre de platino es tan reproducible que la resistencia de platino se utiliza como estándar internacional desde los -260 °C hasta los 630 °C

METAL	RANGO DE OPERACIÓN °CELSIUS	PRECISIÓN (GRADOS)
Platino	-200 a 950	0.01
Níquel	-150 a 300	0.5
Cobre	-200 a 120	0.1

Tabla 1 Rango y error de termorresistencias en función del material utilizado



En su forma general, el sensor viene introducido dentro de un tubo protector metálico de acero inoxidable pero, según el caso, puede disponer de camisas protectoras y termopozos contruidos de aceros especiales o aleaciones como el Inconel, Incoloy y Hastelloy.

Las termorresistencias de platino tienen normalmente un valor de 100 Ohms a los 0°C con un intervalo de 38.5 Ohms. Su construcción puede ser de 2, 3 y 4 cables, según la necesidad del proceso.

- Termorresistencias disponibles comercialmente:

La termorresistencia Industrial de alambre de platino más ampliamente utilizada se la calibra con una resistencia de 100 ohms a 0 °C,

Las termorresistencias de platino estándar fabricadas comercialmente resultan adecuadas para mediciones en el rango de - 250 °C a 850 °C. Las tolerancias de fabricación según IEC 751 pueden verse en la figura 25; en forma aproximada, estas tolerancias pueden estimarse, para la Clase B. entre 0,8 % y 0,5 %, siendo menores a temperaturas más elevadas.

En este punto es conveniente detenerse para mencionar el frecuente uso que hacen algunos fabricantes de calibrar las termorresistencias según curvas de respuesta distintas a las normalizadas, lo que los convierte en seguros proveedores de los reemplazos. Es por este motivo que debe tratarse de adecuar las instalaciones dentro de la normalización, ya que, justamente una de las grandes virtudes de las termorresistencias es su intercambiabilidad sin practicar una nueva calibración en el sistema de medición. Las termorresistencias de níquel no están en condiciones de medir temperatura tan elevadas como lo hacen los sensores de platino. Los límites de alcance para las termorresistencias de níquel están aproximadamente en -60 °C y 180°C. Con exactitudes menores que las de platino (Figura 25). Normalmente se calibran a 100 ohms en 0 °C pudiendo existir otras calibraciones especiales. La principal ventaja del níquel, además de posibilitar termorresistencias más económicas, es su capacidad de ser linealizado (suministrando una salida que es lineal con la temperatura) con bastante facilidad utilizando un circuito puente.



Esta ventaja sin embargo, ya no es tan importante hoy en día cuando la introducción de componentes semiconductores de bajo costo que han hecho posible la linealización de los sensores de platino a un costo comparable al de los sensores de níquel.

Las termorresistencias de cobre presentan la más lineal relación resistencia - temperatura entre todas las termorresistencias pero también tienen las desventajas de un rango estrecho de temperatura entre $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una baja resistividad. La baja resistividad implica la necesidad de usar alambres finos de poco diámetro.

La demanda de termorresistencias de níquel y cobre en las industrias de proceso se halla limitada básicamente al reemplazo de unidades existentes puesto que la gran mayoría de las nuevas instalaciones de termorresistencias se hacen con sensores de platino de 100 ohms a 0°C .

Las termorresistencias de tungsteno no han encontrado una utilización amplia puesto que el tungsteno ha probado ser menos estable que otros materiales. Sin embargo, su mayor resistencia mecánica permite emplear alambres extremadamente finos, lográndose de esta manera termorresistencias de elevada resistencia eléctrica.

Para una termorresistencia de platino de 100 ohms a 0°C , la resistencia promedio para una variación de temperatura 100°C es de 0,385 ohm; un circuito de medición con una fuente de corriente de 1 mA registraría 38,5 mV para cada 100°C de variación de temperatura. Este valor de tensión es diez veces mayor que la salida de una termocupla Tipo K, y esto explica por qué los alambres de conexión de termorresistencias resultan menos susceptibles de sufrir interferencias provenientes de la cercanía de equipos eléctricos y líneas de potencia. Sin embargo una buena instalación requiere cables de conexión blindados tanto para termocuplas como para termorresistencias.

La interconexión entre termorresistencias e Instrumentos se realiza con cable común de cobre. En cambio, en el caso de las termocuplas deben emplearse cables especiales de compensación, de costo anterior.

La magnitud de la corriente de medición de una termorresistencia es crítica. Si es muy alta, se produce el autocalentamiento, que aparecerá como un error de medición. En la siguiente tabla se indican los valores de las corrientes de medición que pueden



circular en distintos tipos de termorresistencias Pt100 con un autocalentamiento máximo de 0.1°C.

Temperatura, en °C	Resistencia, en ohm
-60	69,5
-50	74,2
-40	79,1
-30	84,1
-20	89,3
-10	94,6
0	100,0
10	105,6
20	111,3
30	117,1
40	123,0
50	129,1
60	135,3
70	141,7
80	148,2
90	154,9
100	161,7
110	168,7
120	175,9
130	183,3
140	190,9
150	198,7
160	206,7
170	214,9
180	223,1

Tabla 11 - Valores básicos de termorresistencias con arrollamiento de níquel desde -60°C hasta 180°C (cada 10°C) .

Temperatura medición	Tolerancias			
	Clase A °C		Clase B °C	
-200	± 0,24	± 0,55	± 0,56	± 1,3
-100	± 0,14	± 0,35	± 0,32	± 0,8
0	± 0,06	± 0,15	± 0,12	± 0,3
100	± 0,13	± 0,35	± 0,30	± 0,8
200	± 0,20	± 0,55	± 0,48	± 1,3
300	± 0,27	± 0,75	± 0,64	± 1,8
400	± 0,33	± 0,95	± 0,79	± 2,3
500	± 0,39	± 1,15	± 0,93	± 2,8
600	± 0,43	± 1,35	± 1,06	± 3,3
650	± 0,46	± 1,45	± 1,13	± 3,6
700	-	-	± 1,17	± 3,8
800	-	-	± 1,28	± 4,3
850	-	-	± 1,34	± 4,6

Tabla 10 - Tolerancias de termorresistencias Pt100 según norma IEC751 .

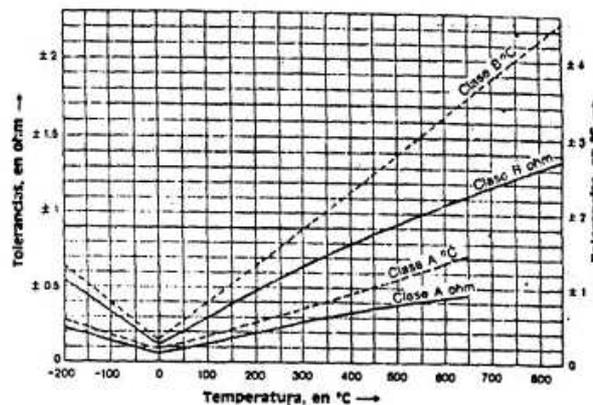


Figura 25. Tablas y gráficas de resistencias de distintos materiales

Construcción de termorresistencias:

El aspecto exterior de las termorresistencias industriales es prácticamente idéntico al de las termocuplas. Se aplican las mismas consideraciones ambientales y de instalación y se debe prestar la misma cantidad de atención a los conceptos de presión, temperatura, ataque químico, abrasión, vibración, porosidad y velocidad de fluido, requiriéndose los mismos tipos de vainas de protección.

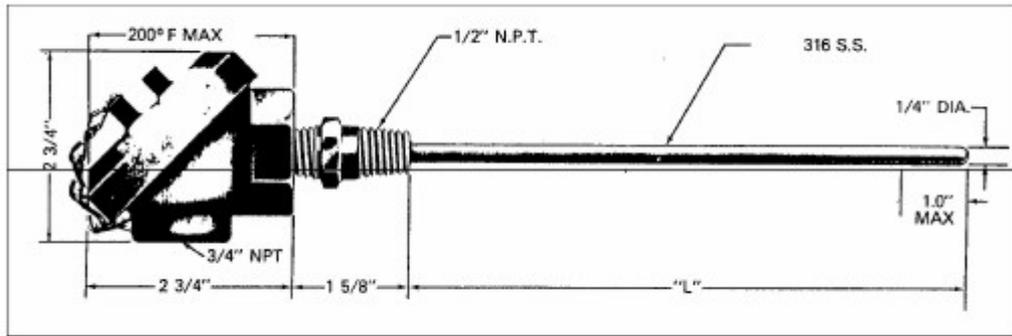


Figura 26 Dimensiones típicas de una termorresistencia

Las termorresistencias se fabrican en varios tipos de configuración de los alambres de conexión, los que se muestran en la figura 27.

La configuración A se usa en un circuito básico bifilar, con una conexión a cada extremo de la termorresistencia. En este diseño la resistencia de los dos cables de conexión, como así también las variaciones de resistencia con la temperatura ambiente, serán incluidas en la medición de la resistencia de la termorresistencia.

Este tipo de circuito puede utilizarse cuando los alambres de conexión son tan cortos que su resistencia es despreciable, por ejemplo en el caso de conjuntos transmisor- termorresistencia integrales que contienen tanto la termorresistencia como el circuito de medición.

La configuración B es el circuito trifilar estándar. Los conductores que conectan la termorresistencia al circuito de medición tienen resistencias cuyos efectos tienden a cancelarse si dichos alambres tienen la misma longitud, se hallan sujetos a la misma temperatura y el sistema puente de Wheatstone que utiliza a la entrada el instrumento de medición se encuentra casi balanceado. La configuración C consiste de cuatro cables de conexión y brinda mejor exactitud que las configuraciones A y B. Si los cuatro cables de conexión son de idéntica sección, longitud y material y se hallan sujetos a la misma temperatura ambiente, y si los dos pares de alambres se encuentran en partes opuestas del circuito puente, las resistencias de los alambres no tendrán efecto alguno en la medición de la resistencia de la termorresistencia. El costo adicional del diseño de cuatro conductores normalmente se justifica en instalaciones con distancias superiores a los 20 metros. Los circuitos trifilares brindan suficiente exactitud para la mayoría de las



mediciones industriales hasta 20 metros, además de que pueden emplearse conductores de sección menor o de mayor longitud que en el caso de la conexión bifilar. Por ejemplo, para conductores de 0,75 mm² de sección, se puede alcanzar un largo de conductores de 10 km. muy superior en comparación al máximo de 430 metros aceptables para el sistema bifilar, límite dado por una resistencia de 10 ohms.

En el caso de la conexión bifilar la limitación es la resistencia R_j , que se utiliza para compensar la resistencia propia de los conductores; normalmente se utiliza $R_j = 10$ ohms y se calibra el sistema de medición para R_j (resistencia de la Pt100 + R_j (10 ohms)).

En el caso de tres hilos, las resistencias R_j se utilizan para igualar las resistencias de esos conductores.

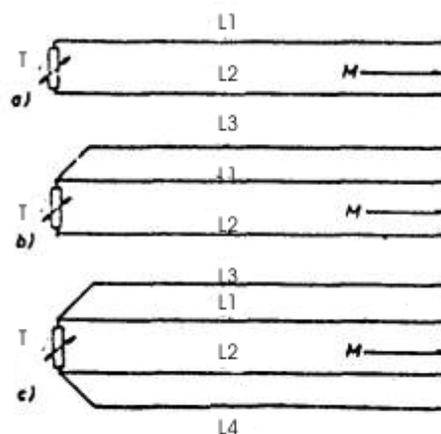


Fig. 13 - Sistemas de conexión de termorresistencias a) Bifilar , b) Trifilar , c) Cuatrifilar .

Figura 27. Tipos de termorresistencia de acuerdo con su cableado

Existen tres tipos de termorresistencias, de acuerdo a su construcción y cableado:

- de dos hilos
- de tres hilos
- de cuatro hilos



Como ya se había mencionado, la evaluación, del valor de la resistencia R_t , se hace en un puente de Wheastone, entonces es aquí, donde se hace importante la diferencia entre ambos tipos de termorresistencias.

Para las primeras, de dos hilos o bifilar, será necesario estimar la longitud del conductor del puente a la resistencia en el punto de toma del proceso, para poder calcular el valor de la resistencia.

Para las de tres hilos o trifilar, si además, ajustamos el puente de tal forma que $R_1/R_2=1$, y como la longitud por lado de conductor se hace igual, podremos ajustar el valor de la resistencia R_3 para equilibrio, y ese será directamente el valor de la resistencia x .

Dado que en equilibrio la ecuación del puente será:

$$R_1 / (R_3 + K * a) = R_2 / (x + K * b)$$

Según esquemático de conexión, que se muestra debajo.

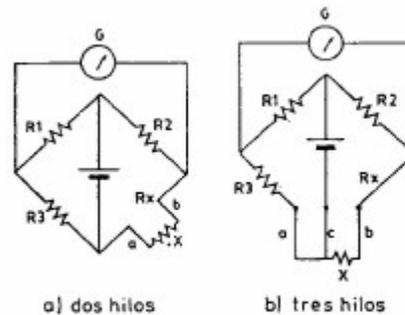


Figura 28 Circuito RTD dos hilos o bifilar

La RTD simple reemplaza uno de los elementos del puente y causa un desbalance y así como también cambios de resistencia. La salida se lee directamente o es usada para manejar otro circuito en el transmisor. Si la RTD está localizada a una distancia desde el transmisor y puente entonces esta conduce por los dos hilos cuando un material más económico es usado para conectar la RTD al puente.



Una de las limitaciones de la RTD de dos hilos es que los hilos conductores añadidos a la resistencia del circuito pueden causar errores de lectura.

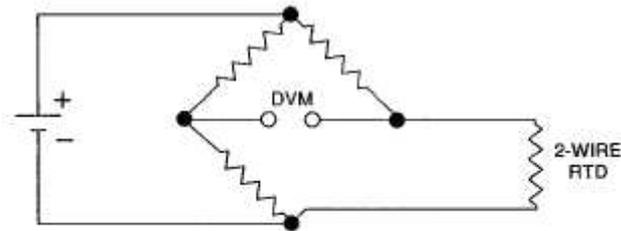


Fig. Circuito RTD dos hilos o bifilar

Figura 29 Circuito RTD dos hilos o bifilar

Circuito RTD tres hilos o trifilar:

Para ayudar a eliminar el error introducido por los hilos conectores se usa comúnmente una RTD de tres hilos con este propósito los efectos de la resistencia de cada uno de los hilos conductores (A y B) son eliminados por el puente debido a que cada uno es la conexión opuesta del puente. El tercer hilo (C) es un conductor de equilibrio.

Los tres hilos unidos no eliminan todos los efectos de los hilos conductores, pero debido a que los sensores están localizados justamente cercanos a los transmisores, los efectos de los hilos conductores son pequeños y la aproximación provee una exactitud razonable.

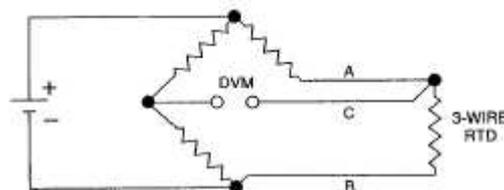


Fig. Circuito RTD tres hilos o trifilar

Figura 30 Circuito RTD tres hilos o bifilar



Circuito RTD cuatro hilos o cuatrifilar:

La vía más efectiva para eliminar los efectos de los hilos conductores es con cualquiera de las versiones de cuatro hilos. Es una aproximación que no requiere puente como se indica en la figura siguiente, en este método una corriente constante es conectada a dos de los hilos de la RTD, la caída de voltaje en la RTD es medida en los otros dos conductores, la caída de voltaje es independiente de los efectos de los hilos conductores.

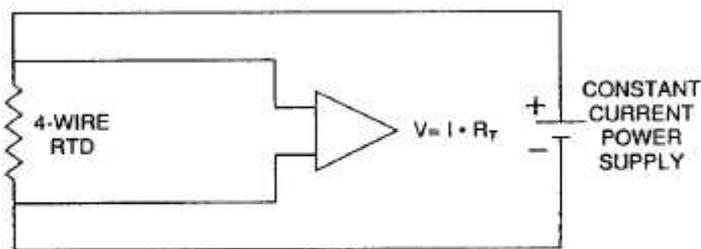


Fig. Circuito RTD cuatro hilos o cuatrifilar

Figura 30 Circuito RTD cuatro hilos o cuatrifilar

	Dimensiones, en mm			Tiempo de respuesta		Intensidad de corriente (mA)
	ϕ	L	L1	$t_{0.5}$	$t_{0.1}$	
Termorresistencias fundidas en vidrio especial, resistencia nominal 100 ohm a 0°C, para temperaturas desde -200°C hasta 400°C.						
	1,6	20	10	0,4	0,7	12
	1,8	7	13	0,5	1,2	8
	2,8	12	10	0,4	1,6	7
	2,8	30	10	0,4	1,7	12
	4,5	12	10	0,8	4,0	17
	4,8	25	10	1,0	4,9	18
	0,9	15	10	0,4	0,7	5
Termorresistencias cerámicas, resistencia nominal 100 ohm a 0°C, para temperaturas desde -200°C hasta 600°C (* 600°C)						
	1,2	15	10	0,4	0,7	8
	1,6	15	10	0,4	0,7	8
	2,0	6	7	0,6	0,9	4
	2,8	20	30	0,4	1,2	12
	2,8	30	30	0,6	1,2	14
	2,8	30	15	0,6	1,2	14
	3,8	30	15	0,5	1,9	16
	4,8	30	15	0,7	2,5	18

Figura 31 Valores de una PT 100 calibrada a 0°C y 100 ohm



Muchos de los sistemas de termorresistencias de platino utilizan sensores que van contruidos en forma de espiral y recubiertos o encerrados en un cuerpo aislante de cerámica o vidrio, el cual posee una relación de expansión vs. Temperatura muy similar a la del platino dentro del rango de trabajo.

Las termorresistencias de platino se pueden fabricar con una gran variedad de tubos de protección y con los terminales adecuados para la conexión con el resto del circuito así como con diferentes tipos de termopozos para lograr una protección total del elemento sensible

Otros sensores a resistencia:

A nivel comercial, hay varios tipos más de sensores de resistencia además de las termorresistencias de alambre de platino, níquel o cobre: semiconductores de germanio, y silicio, resistores de carbono y los novedosos Pt100 y Pt500 en película fina (los Pt500 siguen la curva de Pt100 pero con valores de resistencia cinco veces mayores). Sin embargo, a los semiconductores y resistores de carbono normalmente no se los encuentra en el control y medición de temperaturas de procesos industriales debido a sus rangos limitados y/o limitaciones de amplitud de alcance, alinealidades, características de deriva e inexactitudes. No ocurre lo mismo con las Pt100 de película fina o metal depositado que cada vez se utilizan más.

En lo que hace a los resistores de semiconductores o carbono, puesto que lo que se mide son variaciones de resistencia que indican variaciones de temperatura, se los clasifica como sensores de resistencia. Se utilizan para medir baja temperaturas (cerca del cero absoluto) zona que está más allá de las posibilidades de la termorresistencia de platino. Sin embargo, puesto que su relación resistencia-temperatura es compleja, requieren calibración en muchos puntos.

Los sensores del tipo de película fina (thin film) se utilizan cada vez más y se están constituyendo en uno de los avances más significativos de la construcción de sensores. Un sensor tal consiste de una película metálica (como ser platino) depositada sobre un material aislante con un sobrerrevestimiento que protege la película del medio ambiente. Previamente se calibra en forma automática a través de un láser que traza un circuito sobre el material aislante y lo calibra al mismo tiempo. Luego por medio de un sistema



computarizado, selecciona los sensores separándolos en distintas clases según tolerancias.

El sensor que resulta de todo este proceso posee las propiedades eléctricas del metal original y sus características resistencia -temperatura son similares a las de los sensores del tipo alambre. Puesto que el sensor de película fina es de pequeño tamaño, responde rápidamente a las variaciones de temperatura y tiene un precio en comparación con las termorresistencias tradicionales, un 50% más económico.

Termocuplas versus termorresistencias; la controversia continúa:

Las termocuplas ya rondan por los 150 años de edad. Durante todo este tiempo han sido y todavía son el "caballito de batalla" de las mediciones de temperatura industriales. Y durante todo este tiempo, la termocupla ha operado básicamente sin modificaciones incluyendo el problema inherente de la producción de señales muy bajas (nanowatt) a tensiones muy bajas.

Ventajas y Desventajas de la RTD con la Termocupla:

Ventajas RTD

- Alta Precisión
- Mejor Linealidad
- Mejor Estabilidad
- No requiere compensación por junta fría
- Los hilos no requieren especial extensión

Desventajas RTD

- El límite de temperatura máxima es el más bajo
- El tiempo de respuesta sin el termopozo es bajo (El tiempo de respuesta es esencialmente equivalente cuando cualquier tipo de sensor es montado sin el termopozo)



- Termopares o termocuplas:

Las termocuplas son los sensores de temperatura más ampliamente utilizados a nivel industrial debido a sus positivos atributos de ser simples, poco costosos y confiables. Sin embargo, hay numerosos profesionales en instrumentación que considera que las termocuplas se caracterizan por ser simples, baratas y "miserables" debido a la facilidad con que las salidas pueden resultar erróneas. ¿Qué pasa con las termocuplas hoy en día? Se dispone de mejores alambres, mejores paquetes y mucho, mucho mejor manejo de las señales a través de la electrónica., sin embargo, el dispositivo todavía es propenso a los problemas inherentes de la emisión de señales muy bajas: y en más de una oportunidad aparecen captaciones de ruido de fuerzas electromotrices inductivas de corriente alterna y de otro origen que pueden oscurecer dichas señales. Entonces, ¿cómo se explica que las termocuplas duraron tanto tiempo? Las razones son dos: primero, son poco costosas y los distintos tipos cubren prácticamente el rango completo de temperaturas medidas. Segundo, hasta la fecha no ha aparecido nada mejor - por supuesto considerando todos los factores involucrados- capaz de reemplazar a las termocuplas como "caballito de batalla" en la detección de temperatura.

Estamos todos de acuerdo que la mayor ventaja de las termocuplas es su bajo costo. Pero en cuanto a la aseveración de que son simples, esto requiere cierta aclaración. Las termocuplas son relativamente simples de fabricar; una vez obtenidas las aleaciones para los alambres, casi cualquiera puede fabricar una termocupla y esto casi siempre representa un problema para el que las utiliza. En cambio, el comportamiento real de las termocuplas no es simple. Junto a las contribuciones variables de los efectos Seebeck, Peltier y Thompson, la inhomogeneidad del alambre, las microimpurezas, la estructura y el envejecimiento, la atmósfera a la que está expuesta y la manera en que se formó el termopar, todos pueden afectar la salida de las termocuplas. Afortunadamente, iguala lo que ocurre con muchos temas estudiados en termodinámica, si se tiene suficiente cuidado en el control de las variables y las condiciones, la termocupla se comporta realmente de una manera repetitiva y, por lo tanto, predecible.

Posiblemente, el mayor problema de las termocuplas sea el hecho de que su salida pueda variar artificialmente o que la señal pueda perderse parcialmente, de modo que muchas veces la lectura errónea no puede ser detectada en forma inmediata. Esto lleva



el concepto de "confiabilidad" que realmente es el punto crucial en cualquier controversia relacionada con termocuplas.

Según encuestas llevadas a cabo en los EE.UU., algo más de la mitad de las mediciones de temperatura se realizan con termocuplas. Las temerosas resistencias encuentran aplicación en casi un tercio de las mediciones, y luego vienen los sistemas de dilatación.

En dichas encuestas, se pudo apreciar la importancia que se le da al transporte de la señal en la gran mayoría de las aplicaciones de las termocuplas. Por lo general se deben observar bastante estrictamente las prácticas recomendadas para señales de bajo nivel, o sea la aislación respecto de fuentes de energía de alto nivel y conductores de corriente. Algunas instalaciones requieren aislación física del conjunto de la termocupla respecto de tierra y filtrado en el instrumento receptor. Lo que hace a la selección de sensores desde el punto de vista de la velocidad de respuesta y exactitud, la mayor parte de las respuestas se inclinaron por las termocuplas (desnudas) para una respuesta rápida, y por las termorresistencias en cuanto a exactitud. Las exactitudes consignadas estaban en los ± 1 ó 2°C para temperaturas no muy elevadas hasta 300°C . A mayores temperaturas se puede hablar de exactitudes de 3 a 5°C ó 0.75%. Como ejemplo de exactitudes en operaciones cotidianas se informó sobre el uso de termorresistencia de platino de 100 ohm con $\pm 0.15^{\circ}\text{C}$ en 0°C para uso comercial.

En lo relativo a respuestas rápidas, se logra respuestas dentro de unas pocas décimas de segundo con termocuplas y unos pocos segundos con termorresistencias.

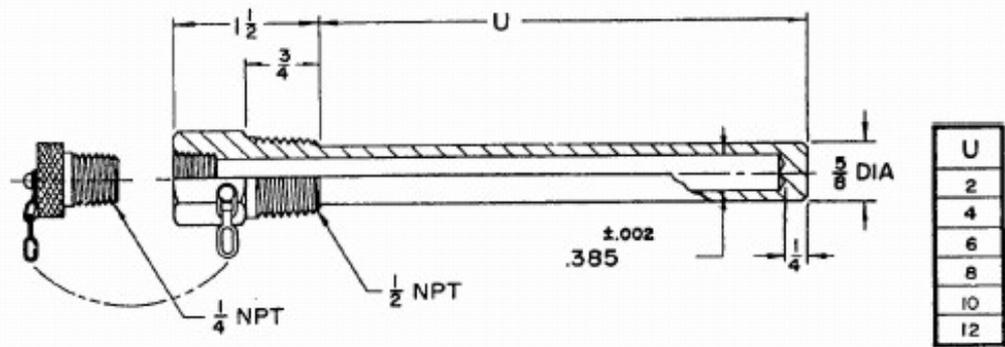
El futuro parece no aportar claridad en la controversia. Algunos desarrollos corrientes tendrán un efecto importante sobre los posibles usos de las termocuplas. Sensores "inteligentes" utilizando termorresistencias de película fina pueden llegar a ser competitivos en el costo con esos mismos sensores "inteligentes" provistos de termocuplas. Pero, por otra parte, estos sensores "inteligentes" con termocuplas que inherentemente eliminan los problemas de los conductores.

- Termopozos:



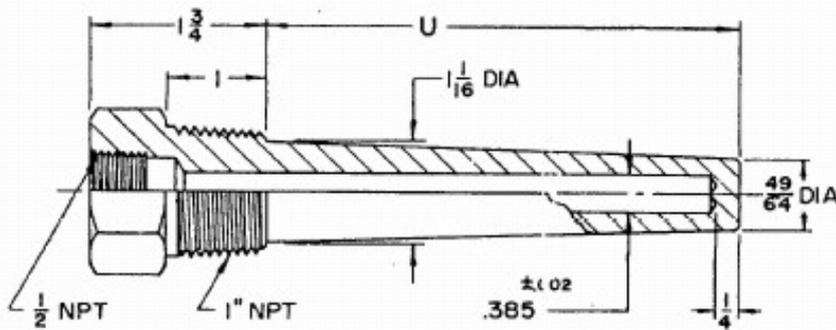
Es un elemento de conexión a proceso tal que, protegerá al elemento primario de temperatura, de los agentes corrosivos, abrasivos que este elemento no podría resistir por sí mismo. El termopozo puede adoptar varias configuraciones para su montaje, las cuales pueden ser en forma recta, cónica, reducción, con brida soldada y espacios reducidos.

Termopozos Rectos



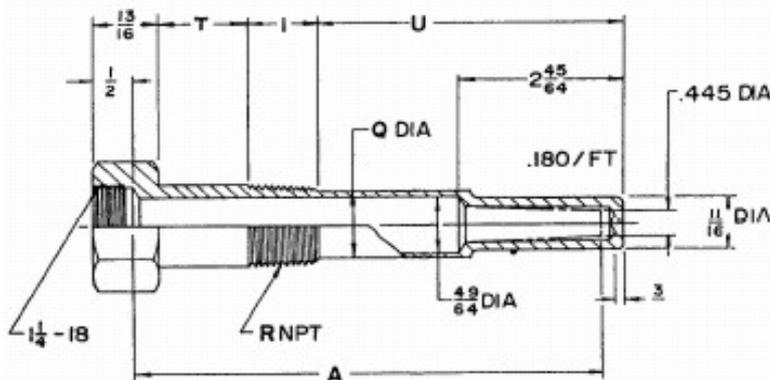
U
2
4
6
8
10
12

Termopozos Cónicos



U
2 1/2
4 1/2
7 1/2
10 1/2
13 1/2
16 1/2
22 1/2

Termopozos Con Reducción (interna y/o Externa)

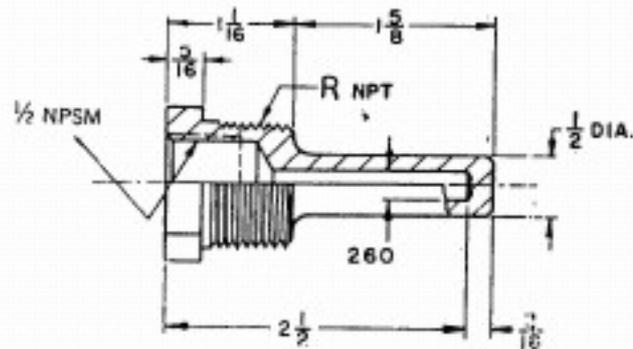


U	A	T
2 9/16	6 1/8	2 1/2
5 1/16	9 1/8	3
8 1/16	12 1/8	3
14 1/16	18 1/8	3
20 1/16	24 1/8	3

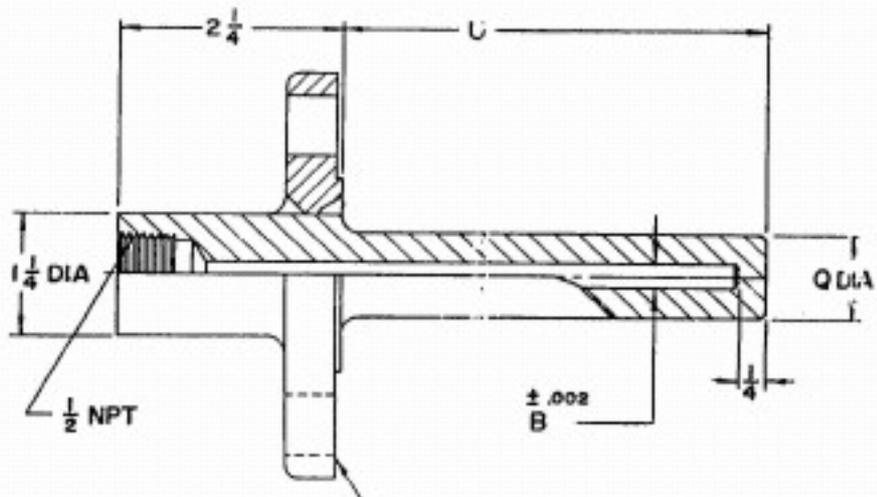
R	Q
3/4	7/8
1	1



Termopozos Con Flange Soldado



Termopozos para Espacios Reducidos



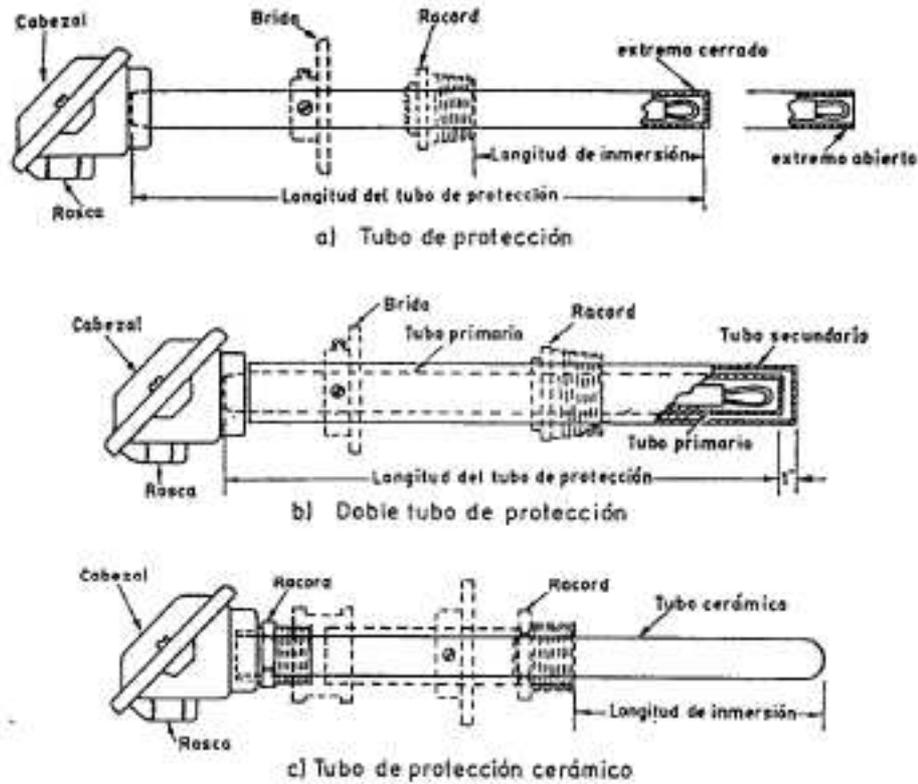


Figura 32. Tipos de termopozos según su forma

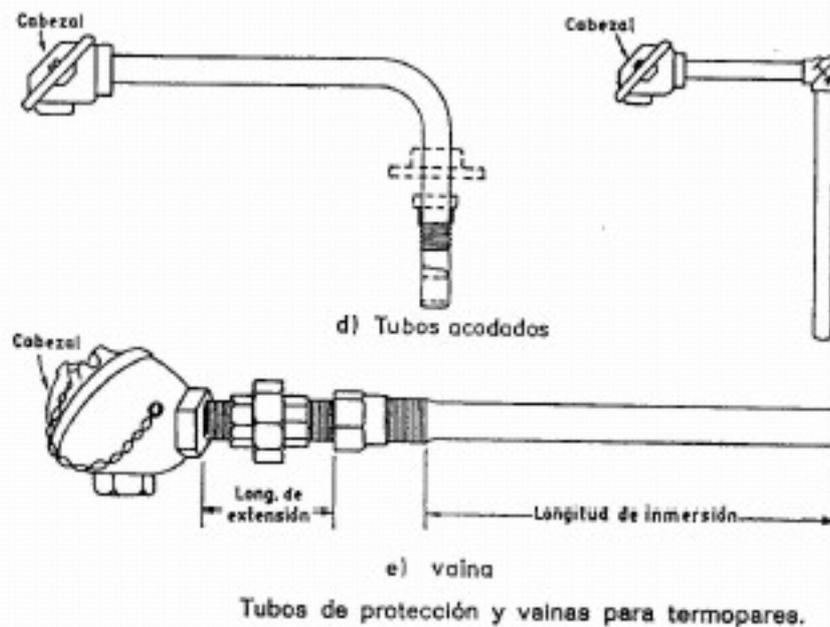


Figura 32. Tipos de termopozos según su forma



- ***Caudalímetro de turbina y ultrasónico:***

Consisten en un rotor que gira con el paso del fluido con una velocidad directamente proporcional al caudal.

Un medidor de velocidad, utilizado para medir flujo volumétrico, puede definirse como un medidor en el cual la señal del elemento primario es proporcional a la velocidad del fluido. Utilizando la ecuación:

$$Q=AV$$

Siendo Q el caudal, A el área de paso del fluido y V la velocidad media del fluido.

Puede observarse que la señal generada es lineal con respecto al flujo volumétrico. Los medidores de tipo volumétricos son menos sensibles a las variaciones en el perfil de velocidad del fluido, cuando se les compara con los medidores de flujo de tipo diferencial. Debido a que existe una relación lineal con respecto al flujo, no existe una relación de raíz cuadrada como en el caso de los medidores diferenciales; lo cual explica su mayor relación de flujo máximo a flujo mínimo. Los medidores de flujo de tipo volumétrico descritos a continuación tienen una amplia aplicación en la industria petrolera.

- Medidores de turbina :

El rotor contiene una serie de rieles magnéticos que al girar cierran un contacto del mismo tipo en el exterior del medidor. Esto podrá ser evaluado entonces como el caudal en término de la frecuencia o bien, contabilizar (sumar) la totalidad de caudal o volumen de un fluido en un determinado lapso de tiempo.

Un medidor tipo turbina está constituido por un rotor con aspas o hélices instalado dentro de un tramo recto de tubería, axialmente en la dirección del flujo, tal como se muestra en la figura:

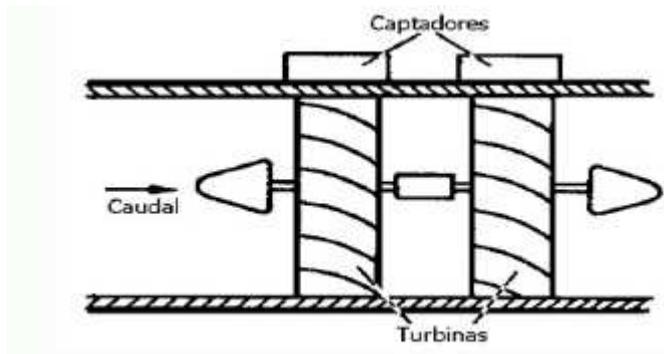


Figura 33 -Medidor de flujo, tipo turbina

El rotor generalmente está soportado por cojinetes para reducir la fricción mecánica y alargar la vida de las partes móviles. A medida que el fluido pasa a través del tubo, el rotor gira a una velocidad proporcional a la velocidad del fluido. En la mayoría de los medidores, un dispositivo de bobina magnética, colocado fuera de la tubería, detecta la rotación de las aspas del rotor. A medida que cada aspa del rotor pasa por la bobina, se genera un pulso de voltaje en la bobina. El número total de pulsos es proporcional a la cantidad total de fluido que pasa a través del rotor, mientras que la frecuencia de los pulsos es proporcional a la tasa de flujo. Su aplicación se referirá a fluidos muy limpios, líquidos o gaseosos, ya de que no ser así, el rotor podría resultar seriamente dañado. El error de estos elementos es bastante bajo, alrededor del 0,3% del Span.

También se utilizan detectores de radio frecuencia para señalar el movimiento de las aspas. En este caso, una señal de alta frecuencia es aplicada sobre la bobina. A medida que las aspas rotan, la señal de alta frecuencia es modulada, amplificada y retransmitida. Un detector de alta frecuencia tiene la ventaja de que no obstaculiza el rotor como lo hace el detector magnético. La fibra óptica también ha sido utilizada para detectar la rotación de las aspas. Este sistema opera por medio de la luz reflejada de las aspas del rotor. El medidor tipo turbina es adecuado para medir flujos de líquidos, gases y vapores y es especialmente útil en sistemas de mezclas en la industria del petróleo. Es uno de los medidores más exactos para servicio de líquidos. Los tamaños van hasta 24 pulgadas y el rango puede ir desde 0,001 hasta 40.000 gpm en líquidos; y hasta 10.000.000 scfm de gases. Cada medidor se calibra para determinar el coeficiente de flujo o factor K, que representa el número de pulsos generados por unidad de volumen del fluido. Su exactitud, por lo tanto, es la exactitud del tren de pulsos y oscila entre +0,15% y +1% de la lectura.



En la selección de un medidor tipo turbina se debe tener en cuenta el tipo de fluido ya que los agentes corrosivos, sucio, sólidos y la acción erosiva del fluido puede dañar el mecanismo del medidor. Así, estos medidores son limitados a fluidos limpios haciéndose obligatorio el uso de coladores y de una instalación apropiada.

- Medidor de Flujo de Tipo Electromagnético:

El medidor de flujo magnético, figura siguiente, representa uno de los medidores de flujo más flexibles y aplicables. Proporciona una medición sin obstruir el flujo, es prácticamente insensible a las propiedades del fluido, y es capaz de medir los fluidos más erosivos.

- Medidor de flujo de tipo ultrasónico:

Los medidores de flujo de tipo ultrasónico utilizan ondas de sonido para determinar el flujo de un fluido. Un transductor piezoeléctrico genera pulsos de ondas, los cuales viajan a la velocidad del sonido, a través del fluido en movimiento, proporcionando una indicación de la velocidad del fluido. Este principio se utiliza en dos métodos diferentes; existiendo por lo tanto dos tipos de medidores de flujo de tipo ultrasónico.

Medidor ultrasónico de flujo que mide el tiempo de viaje de la onda ultrasónica: este tipo de medidor ultrasónico utiliza el método de medición del tiempo de viaje de la onda de sonido. El medidor opera de la siguiente manera: se colocan dos transductores en posición opuesta, de modo que las ondas de sonido que viajan entre ellos forman un ángulo de 45° con la dirección del flujo en la tubería, (ver figura lateral). La velocidad del sonido desde el transductor colocado aguas arriba (A) hasta el transductor colocado aguas abajo (B) representa la velocidad inherente del sonido en el líquido, más una contribución debido a la velocidad del fluido. De una manera similar, la velocidad medida en la dirección opuesta B a A, representa la velocidad inherente del sonido en el líquido, menos la contribución debido a la velocidad del fluido. La diferencia entre estos dos valores se determina electrónicamente y representa la velocidad del fluido, la cual es directamente proporcional al flujo del mismo fluido.

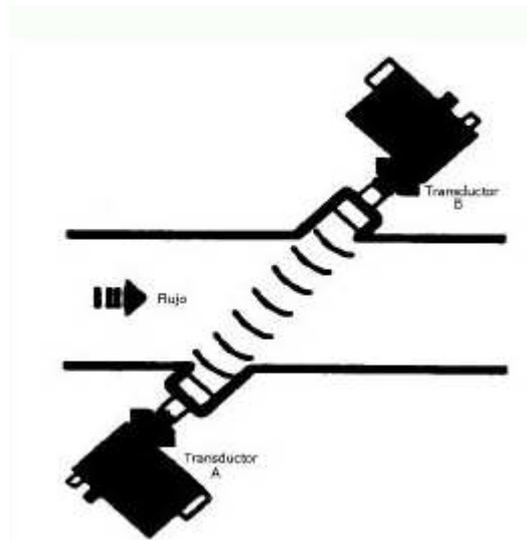


Figura 34 Medidor de flujo tipo ultrasónico

Los transductores pueden estar incorporados en un tramo recto de tubería, o pueden colocarse exteriormente sobre la tubería existente. Este tipo de medidor se utiliza principalmente en fluidos limpios ya que es recomendable que el fluido esté libre de partículas que pueden producir la dispersión de las ondas de sonido. La exactitud de estos medidores está entre +1% y +5% del flujo. Burbujas de aire o turbulencia en la corriente del fluido, causada por conexiones o accesorios aguas arriba, pueden dispersar las ondas de sonido provocando inexactitud en la medición.

- Medidor ultrasónico tipo Doppler:

Este tipo de medidor también utiliza dos transductores. En este caso están montados en un mismo compartimiento sobre un lado de la tubería tal como se muestra en la figura lateral derecha. Una onda ultrasónica de frecuencia constante se transmite al fluido por medio de uno de los elementos. Partículas sólidas o burbujas presentes en el fluido reflejan la onda de sonido hacia el elemento receptor. El principio Doppler establece que se produce un cambio en la frecuencia o longitud de onda cuando existe un movimiento relativo entre el transmisor y el receptor. En el medidor Doppler el movimiento relativo de las partículas en suspensión que posee el fluido, tienden a comprimir el sonido en una longitud de onda más corta (mayor frecuencia). Esta nueva frecuencia se mide en el elemento receptor y se compara electrónicamente con la frecuencia emitida.

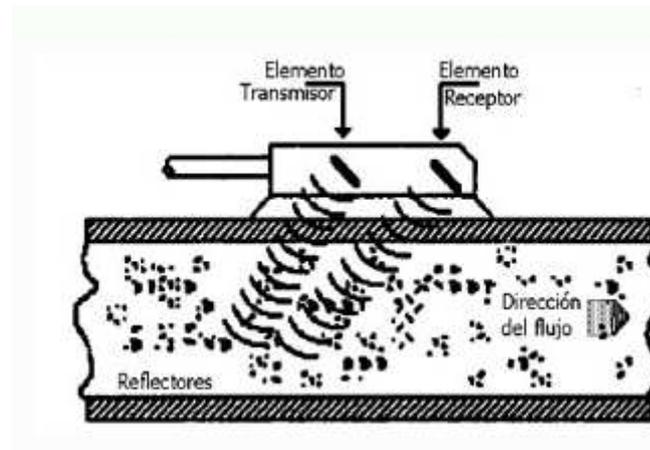


Figura 35. Medidor de flujo tipo ultrasónico tipo Doppler

El cambio de frecuencia es directamente proporcional a la velocidad del flujo en la tubería. Estos medidores normalmente no se utilizan en fluidos limpios, ya que se requiere que una mínima cantidad de partículas o burbujas de gas estén presentes en la corriente del fluido. El medidor Doppler Clásico requiere un máximo de 25 ppm de sólidos suspendidos en la corriente del fluido, o burbujas de por lo menos 30 micrones. La exactitud de estos medidores generalmente es de +2% a +5% del valor medido. Debido a que las ondas ultrasónicas pierden energía cuando se transmiten a través de la pared de la tubería, estos medidores no deben ser utilizados con materiales tales como concretos que impiden que la onda atraviese la pared de la tubería.

- ***Sensores Bently Nevada (BN) de temperatura y proximitor:***

La finalidad de estos sensores es proteger el grupo motor-bomba de cualquier tipo de avería que pudiese ocurrir. La forma de protegerlos es monitorizar con unos sensores de vibración o de proximidad las posibles vibraciones del eje, ya sea por un desgaste del eje o debido a una mala alineación en el acople del grupo motobomba. También habrá unos sensores de temperatura que, ante una subida repentina de la misma, se mandará una señal al PLC que tiene orden de enclavar la bomba. Tanto los Proximitors como los sensores de temperatura, Velometers, mandan la señal a un sistema de monitoreo de Bently Nevada, el cual describiré a continuación. El sistema de monitoreo estudiará las señales recibidas de los sensores calibrado los máximos y mínimos que dan lugar al enclavamiento del sistema y filtrando las señales de ruido y máximos puntuales. Una



vez filtrada y estudiada la señal, esta se manda por fibra óptica al sistema de monitorización remoto. Ante un pico de tensión, el sistema de monitoreo mandará una señal analógica al PLC que enclavará la bomba mediante una parada de emergencia del motor y mandará una señal de alarma al panel de control del oleoducto iluminándolo de forma que sea visible en sala de control. A continuación describirá más detalladamente los distintos componentes del sistema:

- Sensor de temperatura, Velomitor:



Figura 36 Sensor de temperatura, Velomitor

El “Velomitor” es un sensor con un amplio rango de aplicaciones. Normalmente se denomina con el sobrenombre XA (Aplicación eXtendida). El modelo concreto al que hago referencia es el sensor de Bently Nevada 330500. El recubrimiento de este sensor está fabricado de acero inoxidable 316L. Es completamente estanco no siendo necesario un cerramiento con carcasa como ocurre con otros modelos de Velomitor. Esta configuración permite al velomitor trabajar en una gran diversidad de ambientes. Este es capaz de medir rangos de variación de temperaturas, presiones y vibraciones sumamente pequeños por lo que el fabricante recomienda que el mantenimiento de la máquina sobre la que se instala este sensor se lleve a cabo con regularidad. A su vez, es muy importante prestar atención al punto de instalación de estos transductores ya que se puede modificar la amplitud de funcionamiento de sensor generando señales erróneas que no representan en estado real de la máquina.

- Sensibilidad de la señal: 3.94 mV/mm/s con un error del 5%



- Frecuencia de respuesta: de 4.5 a 2000 Hz+- 3 dB y de 6 a 1000 Hz con +- 0.9 dB
- Sensibilidad a la temperatura: Su funcionamiento oscila entre un -14% a un +7.5% del rango de temperatura normal de funcionamiento
- Rango de velocidades: hasta 1270 mm/s
- Frecuencia de resonancia: Mayor de 12 kHz
- Longitud máxima del cable: 305 metros.
- Dispositivo con certificado ATEX II capaz de funcionar en atmósferas explosivas y con SI.
- Rango de temperatura de funcionamiento: desde -55 hasta 121°C
- Recubrimiento herméticamente sellado

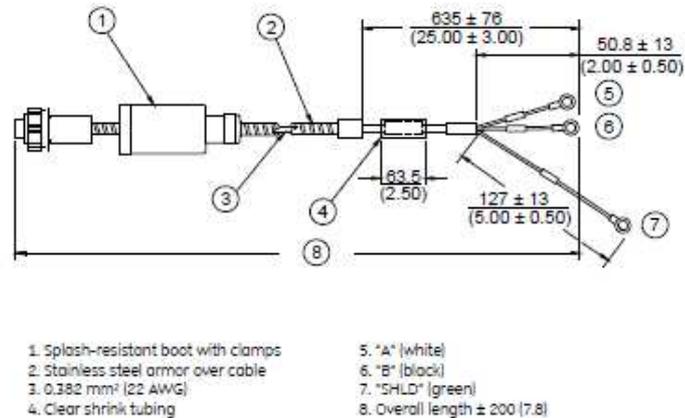
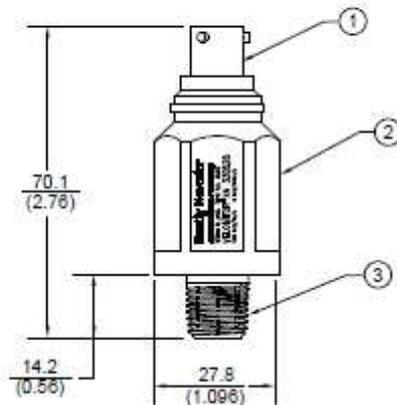


Figure 1: Dimensions for 106765 Cable Arial check all figure headings
 Dimensions are in millimeters (inches)

Figura 37. Internos de un velomitor



1. MIL-C-26482 receptacle
2. 25.4 (100) hexagonal
3. 1/4-18 NPT

Figure 2: Dimensions for 330525 Velomitor XA Piezo-Sensor
Dimensions are in millimetres (inches)

Figura 38 Medidas de un velomitor con carcasa para zonas clasificadas

- Sensor de proximidad, Proximito:

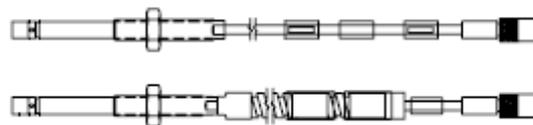


Figura 39. Internos de un proximito

Además de la protección contra altas temperaturas para los que está protegido el eje de una bomba con los velomitor, capaces de prevenir defectos de tipo de falta de engrase o rotura por fatiga de los rodamientos, estas bombas se van a proteger con otro



sensor de BN llamado “proximitor” o sensor de proximidad. La función esencial de este sensor de proximidad es detectar un exceso de vibraciones en el eje de la bomba. Este exceso de vibraciones, al igual que pasaba con una señal de alta temperatura del velomitor, puede detectar vibraciones por defectos en los cojinetes o por defectos de engrase, lo que hace que hasta cierto punto, la protección que se ofrece a una bomba sea redundante para beneficio de su seguridad. Además, el proximitor es capaz de pronosticar averías más comunes como la desalineación entre el eje del motor y el eje de la bomba.

En este caso se utilizara un transductor modelo 3300 5mm que consiste en:

- Sonda de 5 mm
- Cable de extensión 3300 XL
- Sensor proximitor 3300 XL

Cuando se combina un sensor de proximidad 3300 XL con un cable de extensión tipo XL, el sistema genera un voltaje de salida directamente proporcional a la distancia entre la punta de la sonda y la superficie en de estudio. El sistema es capaz de medir ambas distancias, la posición en estático y la vibración al estar el sistema o rotor en movimiento. Este sensor es normalmente utilizado en maquinas con películas de fluido entre cojinetes.

El sistema obtiene como resultado una señal precisa y estable en un rango muy amplio de temperaturas. Todos los 3300 XL sistemas transductores de proximidad que posee la marca Bently Nevada son intercambiables entre sí tanto las sondas como los cables extensores como el sensor eliminando la necesidad de una calibración específica para cada conjunto de elementos y en un laboratorio especializado lo que facilita y abarata su mantenimiento.

Respecto al cable extensor 3300 XL, este cable es resistente a la corrosión y su conexión a la sonda es mediante enganches rápidos y no atornillados. El par de apriete de estos conectores está diseñado para que, a la hora del montaje, se oiga un “click” en el momento que se alcance la presión óptima. Todo esto facilita su montaje y desmontaje en caso de reparación o modificación al no necesitar ninguna herramienta específica para su manipulación. A su vez, BN provee de protectores especiales para



atmosferas agresivas o incluso para obtener una temperatura lo suficientemente baja en la superficie que sea capaz de instalarse en zonas de clase II y así poder ser certificadas como ATEX.

Propiedades eléctricas:

- Input de sensor de proximidad XL: Es necesaria una sonda de 5 mm o de 8 mm y se puede montar con un cable extensor
- Alimentación: El rango de voltajes es de -17.5 V a -26 V con 12mA como máximo.
- . Sensibilidad de la alimentación: menos de 2 mV de variación en el voltaje de salida por voltio de variación en la entrada.
- Resistencia de salida: 50 ohmios
- Capacitancia del cable extensor: 69.9 pF/m como valor típico
- Cable de conexión en campo (a caja de derivación y en multicable): Se recomienda el uso de un conductor de tres hilos apantallado, con un diámetro de cable entre 0.2 y 1.5 mm. Con una longitud máxima de 305 m al existir una pérdida de señal significativa o al encontrarse las barreras demasiado lejos del sistema de monitoreo.
- Rango lineal: Es de 2 mm. Entre 0.25 mm a 2.3 mm del objeto.
- Estabilidad frente a la temperatura: La sonda es capaz de trabajar de forma estable entre -35 y 177 °C aunque existe un factor de incremento de escala de un 10% en función de la temperatura pudiendo desviar la línea de su posición hasta ± 0.076 mm
- Frecuencia de respuesta: entre 0 y 10 kHz se obtiene un rango de 0 a +3 dB para un cable de 305 m en campo.
- Mínimo diámetro del eje: 50.8 mm
- Diámetro mínimo recomendable del eje: 76.2 mm. Hay que prestar especial atención en aquellos ejes de maquinas rotativas a la hora de colocar las sondas



unas respecto a las otras ya que si están demasiado cerca, a menos de 40 mm entre las puntas de las sondas para mediciones de vibración axial y a 38 mm para mediciones de vibración radial, se pueden inducir corrientes que modifiquen los datos de la medición.

- Certificados para trabajo en ambientes peligrosos: Posee el certificado europeo ATEX clase II además de ser un instrumento con SI al trabajar con una potencia nominal de 0.84 W menor a 1W por lo que está habilitado para funcionar en zona 0
- Las sondas 3300 están compuestas por un sellado entre la punta de la sonda y la caja de la misma capaz de soportar cierta presión diferencial.

A continuación se exponen distintos gráficos de respuesta de la sondas en función de las temperaturas del entorno:

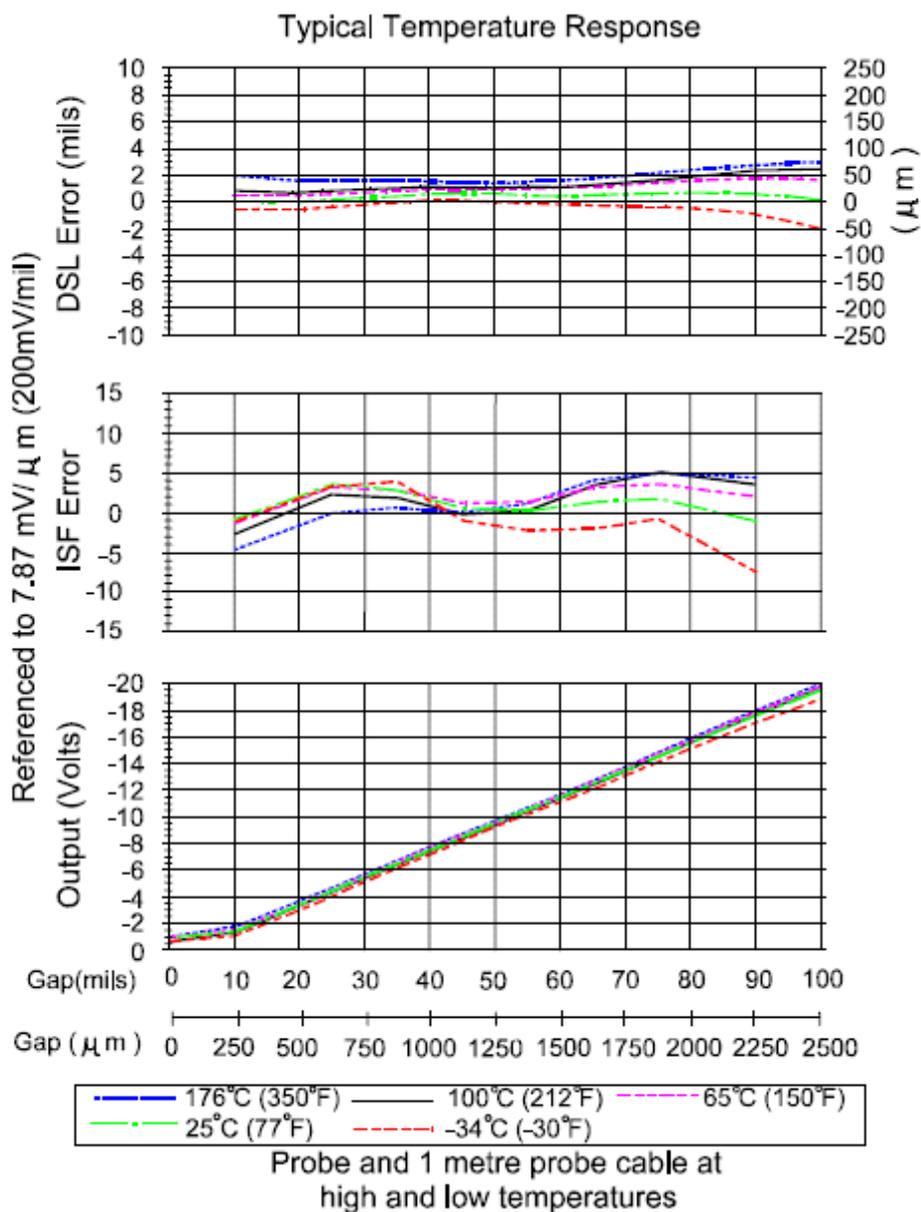
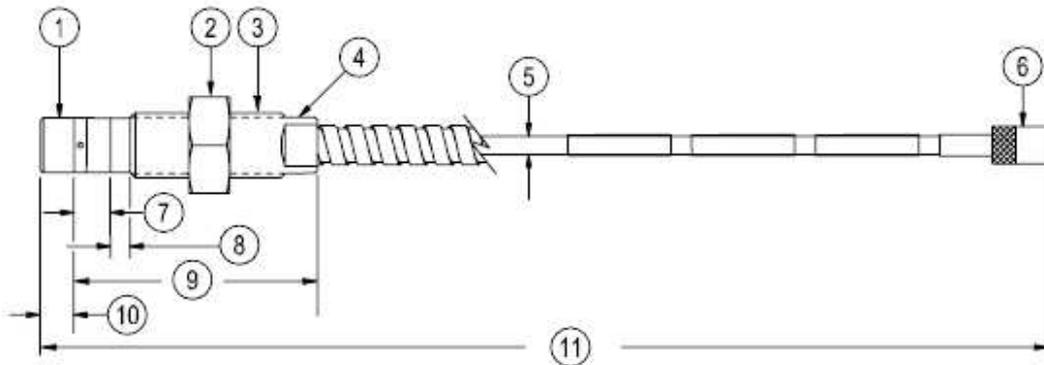


Figura 40. Gráficos de comportamiento de la señal en función de la temperatura

Diagrama dimensional del sensor:

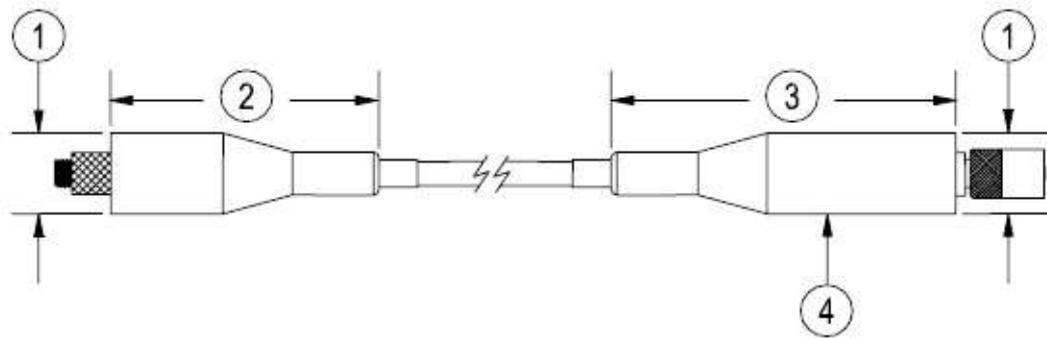


1. Probe tip, 5.2 mm [0.21 in] diameter
2. 11.1 mm [7/16 in] for 1/4-28 threads, 13.0 mm [0.51 in] for M8 thread. See Note 3.
3. Case thread
4. 5.6 [7/32] wrench flats for 1/4-28 threads, 7.0 [0.28] for M8 threads
5. 75Ω cable, 2.8 mm [0.11 in] maximum outside diameter, 7.6 mm [0.3 in] outside diameter of armor, 9.0 mm [0.35 in] maximum diameter of armor ferrule.
6. Miniature male coaxial connector, 7.23 mm [0.285 in] maximum outside diameter "D"
7. 3.2 [0.13 in]
8. Unthreaded length "A"
9. Case length "B"
10. 6.0 mm [0.235 in] maximum
11. Total length "C", +30%, -0%. See Note 8.

Figure 3 - 3300 5 mm Proximity Probes, Standard Mount³

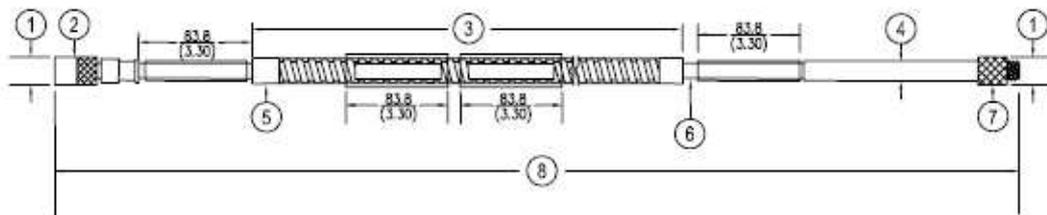
- 330171, 1/4-28 UNF-2A, without armor⁷
- 330172, 1/4-28 UNF-2A, with armor⁶
- 330173, M8X1 thread, without armor⁷
- 330174, M8X1 thread, with armor⁶

Figura 41. Despiece de un proximitor



1. 12 mm [0.40 in] maximum diameter
2. 36.3 mm [1.43 in] maximum
3. 51.1 mm [2.01 in] maximum
4. Connector protector (fluorosilicone material)

Figure 4 - Installed Connector Protectors



1. 7.2 mm [0.25 in] maximum diameter
2. Miniature male coaxial connector
3. FEP or PFA coated armor. Armor length is 300 mm [11.8 in] less than cable length. See Note 6.
4. 75Ω cable, 3.7 mm [0.15 in] maximum outside diameter, 3.9 mm [0.16 in] maximum diameter for FluidLoc® cable, 7.6 mm [0.30 in] maximum outside diameter or armor, 9.0 mm [0.35 in] maximum diameter of armor ferrule.
5. Stainless steel ferrules, 8.4 mm [0.33] diameter
6. Miniature female coaxial connector
7. Cable length, +20%, -0%

Figure 5 - 3300 XL Extension Cable

Figura 42. Despiece de cable alargadera y de la protección para el cable



- Sistema de monitoreo remoto de Bently Nevada (BN):



3500 Series Machinery Protection System

Bently Nevada™ Asset Condition Monitoring

Figura 43. Rack para tarjetas Bently Nevada 3500

Este es el sistema de monitoreo remoto de BN. A donde se envían las señales de los transductores anteriormente descritos. Esta unidad filtra las señales, las analiza, y en caso de que haya un exceso de temperatura o de vibraciones en los puntos estudiados del motor o de la bomba, manda una señal digital que enclava la bomba parando el motor además de mandar una señal al panel de control correspondiente tanto acústica como lumínica.

¿Por qué proteger y monitorear? Durante la generación de energía, en la compresión o bombeo de fluidos, o en la maquinaria de proceso, la industria utiliza maquinaria que a veces es crítica para dicho proceso. En este tipo de situaciones, los posibles fallos o averías en la maquinaria son grandes inconvenientes que pueden producir fuertes pérdidas de dinero. Por lo anteriormente expuesto, el monitoreo de las condiciones de



un sistema crítico como el de estas bombas se va a rentabilizar en cuanto se haya detectado la primera avería.

El seguimiento continuo de los parámetros de temperatura y vibraciones es la mejor forma de prevenir futuras roturas y paradas del servicio. Este sistema es utilizado en miles de industrias alrededor del mundo dando beneficios tangibles como:

- Protección contra fallos mecánicos catastróficos.
- Mejor ajuste de la maquinaria y de su funcionamiento y, por consiguiente, de su rendimiento
- Reducir las interrupciones del proceso
- Planificación y mejora del sistema de mantenimiento
- Menor coste en mantenimiento y reparaciones.
- Mayor tiempo entre paradas de mantenimiento.
- Disminución de costes en seguros.

- ***Densímetro:***

La finalidad de un densímetro es saber la densidad exacta del fluido que circula por una tubería. En este proyecto se han instalado 2 densímetros, uno llamado “densímetro de 1500” y el “densímetro de contabilidad”. Sus funciones son distintas y se explicarán detalladamente en el capítulo de proceso.

Los densímetros a instalar son de la marca Micro Motion, de Emerson, modelo 7835 para hidrocarburos.



Figura 44. Foto de densímetro de alta precisión marca Micro Motion

Consiste en un tubo largo por el que entra el fluido. Su interior contiene una sonda de temperatura, tipo PT 100 de 4 hilos cuyo fin es corregir el valor de la densidad en función de la temperatura, y un elemento vibrante que entra en resonancia al paso de dicho fluido. Este densímetro es comandado por una CPU llamada SOLARTRON, que en función de la temperatura, de la frecuencia de resonancia y de una serie de tablas y de ecuaciones de corrección experimentales, obtiene la densidad del fluido con muy buena precisión. Tal como veremos posteriormente, la necesidad de proceso para este densímetro será precisamente obtener un dato lo más preciso posible. Los factores a considerar serán la temperatura, la presión y la velocidad del sonido. A continuación se expone el método de cálculo:



- Método de cálculo:

Refined Products

Temp.(°C)	Density (kg/m ³)								
60	605.51	657.32	708.88	766.17	817.90	868.47	918.99	969.45	1019.87
55	610.59	662.12	713.50	769.97	821.49	872.00	922.46	972.87	1023.24
50	615.51	666.91	718.11	773.75	825.08	875.53	925.92	976.28	1026.60
45	620.49	671.68	722.71	777.53	828.67	879.04	929.38	979.69	1029.96
40	625.45	676.44	727.29	781.30	832.24	882.56	932.84	983.09	1033.32
35	630.40	681.18	731.86	785.86	835.81	886.06	938.28	986.48	1038.67
30	635.33	685.92	736.42	788.81	839.37	889.56	939.72	989.87	1040.01
25	640.24	690.63	740.96	792.55	842.92	893.04	943.16	993.26	1043.35
20	645.13	695.32	745.49	796.28	846.46	896.53	946.58	996.63	1046.68
15.556	649.46	699.48	749.50	799.59	849.61	899.61	949.62	999.63	1049.63
15	650.00	700.00	750.00	800.00	850.00	900.00	950.00	1000.00	1050.00
10	654.85	704.66	754.50	803.71	853.53	903.47	953.41	1003.36	1053.32
5	659.67	709.30	758.97	807.41	857.04	906.92	956.81	1006.72	1056.63
0	664.47	713.92	763.44	811.10	860.55	910.37	960.20	1010.07	1059.93

The above tables are derived from equations, which form the basis of the data in the *Revised Petroleum Measurement Tables* (IP 200, ASTM D1250, API 2540 and ISO R91 Addendum 1).

Tabla 2. Densidad de los distintos productos refinados en función de la temperatura

Esta tabla 2 se extrae de las normas IP, ASTM, API e ISO y será el punto de partida de nuestro cálculo.

La relación temperatura/densidad se obtendrá a partir de lo siguiente:

$$\frac{\rho_t}{\rho_{15}} = \exp[-\alpha_{15}\Delta t(1 + 0.8\alpha_{15}\Delta t)]$$

Donde:

ρ_t = densidad a la temperatura de la línea kg/m³

ρ_{15} = densidad a una temperatura de referencia de 15 °C

Δt = gradiente de temperaturas entre la temperatura de referencia y la temperatura de proceso

α_{15} = coeficiente de expansión térmica del fluido a 15°C

El coeficiente de expansión térmica del fluido (α_{15}) se obtendrá a partir de:



$$\alpha_{15} = \frac{K_0 + K_1 \rho_{15}}{\rho_{15}^2}$$

Donde K_0 y K_1 son los llamados “Factores API” y se definen como:

Product	Density Range (kg/m ³)	K_0	K_1
Crude Oil	771 - 981	613.97226	0.00000
Gasolines	654 - 779	346.42278	0.43884
Kerosines	779 - 839	594.54180	0.00000
Fuel Oils	839 - 1075	186.96960	0.48618

Tabla 3. Valores de las constantes K_0 y K_1 para cada combustible

También será necesario disponer del dato de la velocidad del sonido para los hidrocarburos a 20 °C

Velocity of Sound in Liquids

Liquid	Temperature (t °C)	Velocity of Sound (C ms ⁻¹)	Rate of Change ($\delta C / \delta t$ ms ⁻¹ K ⁻¹)
Kerosene	25	1315	-3.6

Tabla 4. Velocidad del sonido del queroseno a 25°C

A partir de lo anteriormente expuesto se procederá a establecer la densidad corregida a partir de lo siguiente:

$$D = K_0 + K_1 \cdot \tau + K_2 \cdot \tau^2$$

Donde:

D = densidad del fluido de estudio sin corregir (kg/m³)

τ = periodo de la vibración de la masa resonante del densímetro (μs) = 1/f donde f es la frecuencia de vibración

K_0 , K_1 y K_2 son valores obtenidos a partir de la calibración realizada en fábrica.



- Corrección de temperatura:

$$D_t = D[1 + K18(t - 20)] + K19 (t - 20)$$

Donde:

D_t = densidad del fluido de estudio corregida (kg/m³)

D = es la densidad sin corregir

t = temperatura en °C

K18 y K19 son datos del certificado de calibración

- Corrección de presión:

La densidad de la línea, a efectos prácticos, se considera constante con las variaciones de presión, pero para un cálculo ajustado de la densidad, habrá que tener en cuenta esta variación residual. La ecuación utilizada será la siguiente:

$$D_p = D_t[1 + K20(P - 1)] + K21 (P - 1)$$

Donde:

D_p = densidad del fluido de estudio corregida en temperatura y presión (kg/m³)

D_t = es la densidad corregida en temperaturas

P= presión absoluta en bares

K20= K20A + K20B (P-1)

K21= K21A + K21B (P-1)

K20A/20B/21^a/21B= son coeficientes dados por la tabla de certificado de calibración

Incremento de densidad en función de la presión

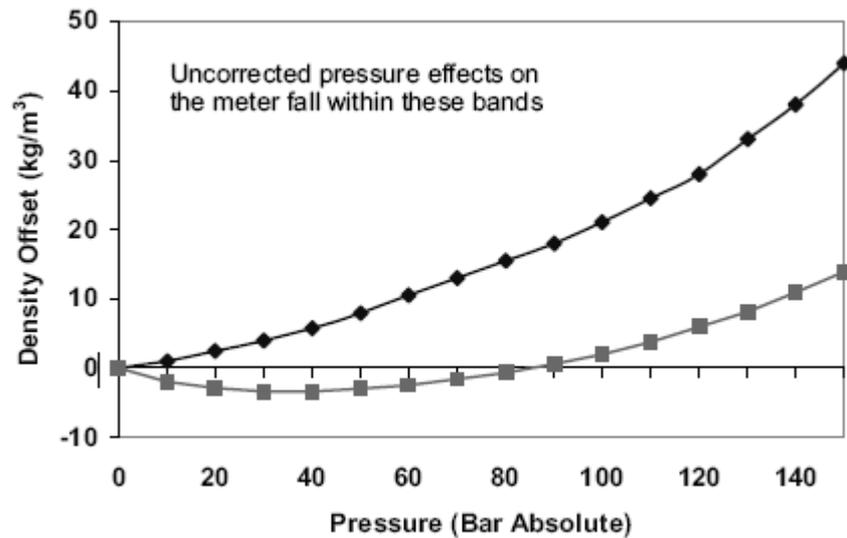


Figura 45. Variación residual de la densidad al aumentar la presión

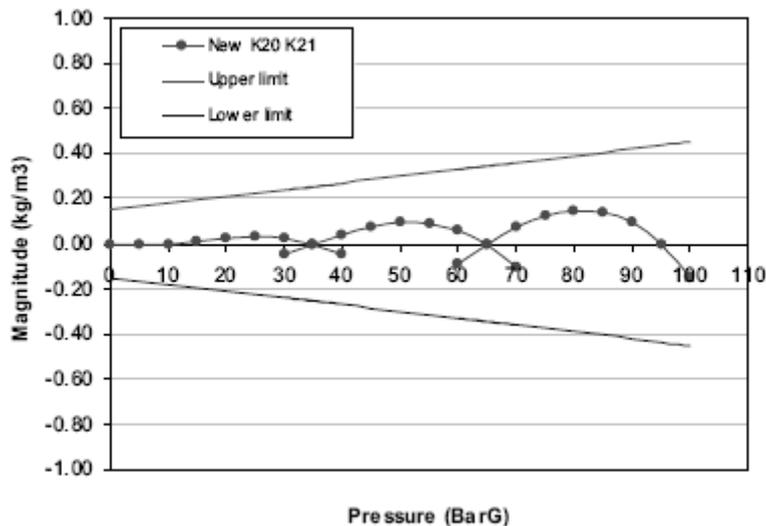


Figura 46. Error de la densidad en función de la presión una vez aplicado el factor de corrección

- Corrección de la velocidad del sonido (VOS):

$$D_{VOS} = D_P \left[1 + \frac{1.4E06}{D_P + 1400} \left(\frac{1}{V_C^2} - \frac{1}{V_A^2} \right) \right]$$



Donde:

D_{VOS} = Densidad corregida en velocidad del sonido, presión y temperatura (kg/m^3)

D_P = Densidad corregida en presión (kg/m^3)

V_C = Velocidad del sonido calibrada (m/s)

V_A = Velocidad del sonido teórica (m/s)

La velocidad del sonido calibrada se obtiene a partir de la siguiente tabla:

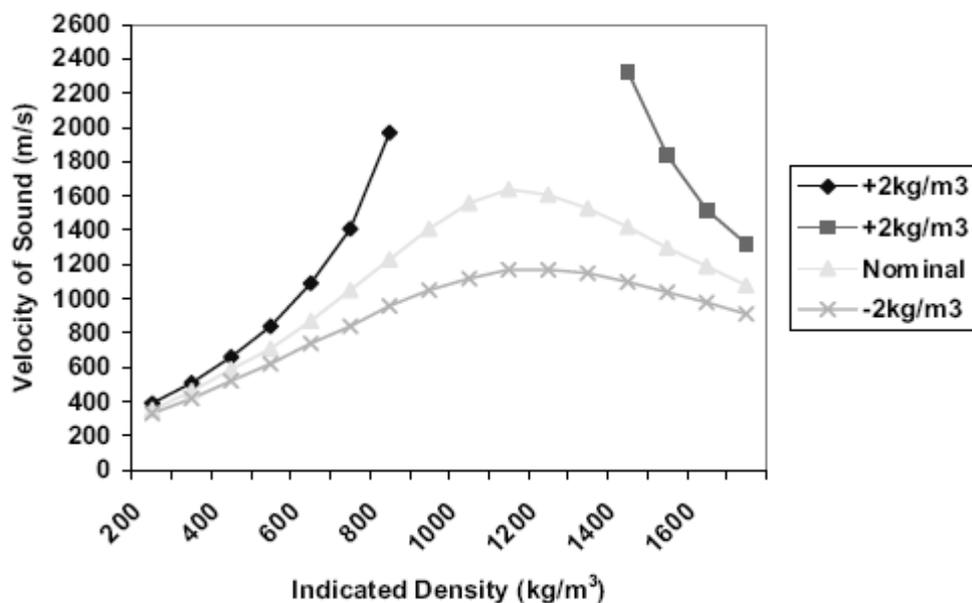


Figura 47. Densidad en función de la velocidad del sonido

Las tablas de calibración se obtienen en fábrica. El método es simple, tomando las distintas lecturas del densímetro a varias temperaturas y presiones utilizando contenedores de líquido calibrados midiendo así volumen y masa.

A continuación se expone una tabla de calibración típica:



CALIBRATION CERTIFICATE		
7845C LIQUID DENSITY METER 7845CRAFTJDDAA	Serial No : 454664 Cal. Date : 11MAY07 Pressure Test : 76 BARA	
DENSITY CALIBRATION AT 20 DEG. C AND AT 1 BARA		
DENSITY [KG/M3]	PERIODIC TIME [us]	
0	1099.763	DENSITY = K0 + K1.T + K2.T**2
(Air	1099.412)	
300	1208.663	K0 = -1.21776E+03 \
600	1307.659	K1 = -3.74124E-01 } 600 - 1600 kg/m3
800	1369.322	K2 = 1.34933E-03 /
900	1399.044	
1000	1428.093	
1100	1456.513	K0 = -1.26756E+03 \
1200	1484.343	K1 = -3.05320E-01 } 0 - 3000 Kg/m3
1600	1590.423	K2 = 1.32565E-03 /
TEMPERATURE COEFFICIENT DATA		
Dt=D(1+K18(t-20))+K19(t-20)		K18 = -4.83311E-04 K19 = -5.73662E-01
PRESSURE COEFFICIENT DATA		
DP=Dt(1+K20(P-1))+K21(P-1)		K20 = K20A + K20B(P-1) K21 = K21A + K21B(P-1)
		K20A = 1.48357E-05 K20B = -1.51498E-06 K21A = 1.20918E-01 K21B = -2.32436E-03
where	D = Density (Uncorrected) Dt = Density (Temp Corrected) DP = Density (Pressure Corrected) T = Periodic Time (us) t = Temperature (DEG.C) P = Pressure (BarA)	
		FINAL TEST & INSPECTION
Ref No:- LD7835/v5.0/FVA		DATE : 15MAY07

Figura 48. Certificado de calibración de un densímetro

2.2.2 Digitales:

- *Presostatos PSL y PSH:*

Los presostatos son señales digitales (circuito abierto/cerrado) cuya variable de actuación es la presión. Disponen de un muelle retráctil que viene calculado y calibrado para que a cierta presión el circuito se abra (fallo abre) y deje de conducir corriente. Por lo que el estado normal de funcionamiento será con el circuito cerrado. La función



principal de un presostato será asegurar un funcionamiento seguro de las líneas de proceso por lo que esta señal estará enclavada, mediante un PLC, a apertura de válvulas o paro de bombas.

Tal como su nombre indica, los presostato pueden estar asociados a circunstancias de alta presión PSH (por ej. alta presión en línea de entrada a estación) o por baja presión PSL (por ej. Por baja presión de aspiración en bombas).

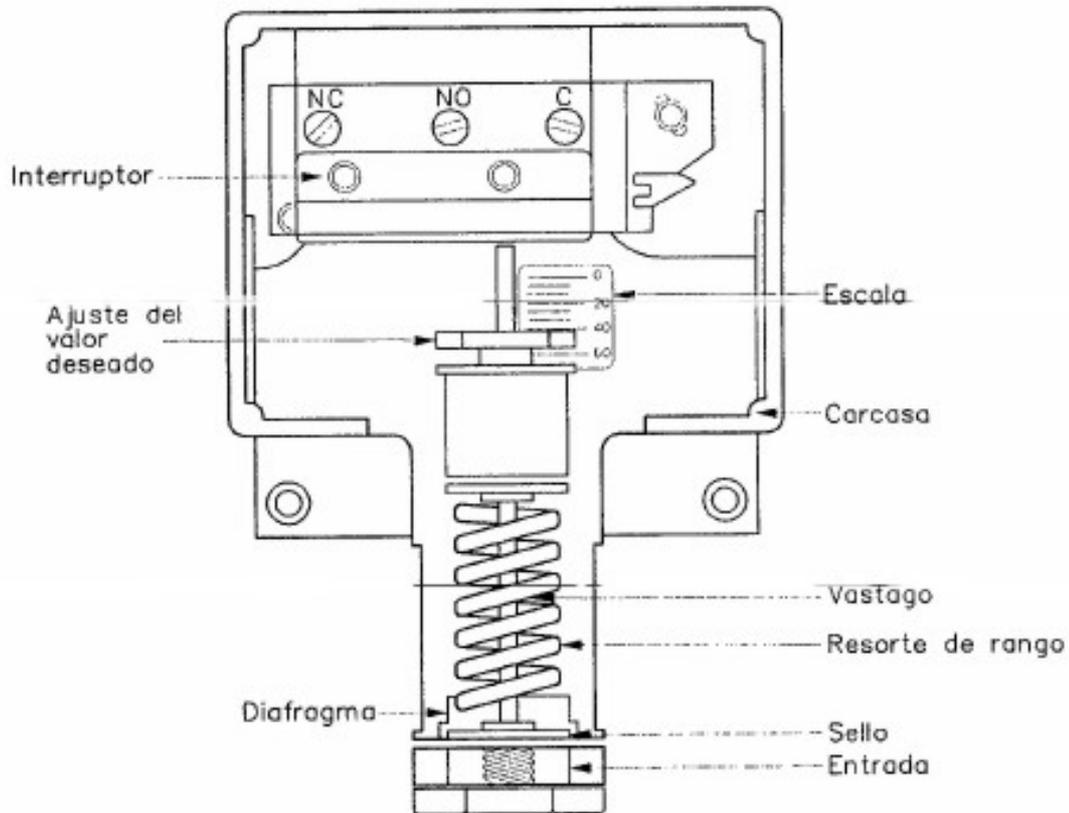


Figura 49. Internos de un presostato

- **Contactos de final de carrera de PSV's y PCV's**

Son una serie de contactos que indican la posición de un eje o vástago.

En el caso de las PCV's, que son válvulas de control, el contacto de final de carrera indicará que la válvula de control se encuentra completamente abierta o completamente cerrada. La finalidad de esta información es distinta. Por ejemplo, la PCV-1 se abre al haber falta de tensión en planta para que la estación se quede en estado de bypass y no producir así un fallo o parada en cascada de todas las E.B. Este contacto de final de



carrera generará una alarma en caso de apertura total por lo que será fácilmente verificable la posición del vástago de la válvula de control sin necesidad de pasar por campo.

En el caso de las válvulas de seguridad PSV's, el contacto de final de carrera generará un enclavamiento de primer orden, parando todas las bombas y dejando toda la planta en bypass.

- **FSH para fugas en cierre mecánico de bombas:**

Los acoplamientos mecánicos de las bombas constan de un rodete que está ligado a un eje por el que se transfiere el par y un estator. El punto de contacto entre el rotor y el estator es mediante unos rodamientos que están engrasados por un circuito de aceite, cuya presión se extrae de la bomba. Este cerramiento mecánico tiene una carcasa y un conducto que llega hasta el llamado detector de fugas. Es un nivel simple que cuando se llena de aceite cierra un interruptor que manda una señal de alarma por falta de engrase de la bomba y un enclavamiento de paro de la bomba. Estos detectores de fugas mediante nivel de líquido en la botella también sirven para detectar agua en el rodete de la bomba debido a un fallo en el sellado de la carcasa del cierre mecánico.

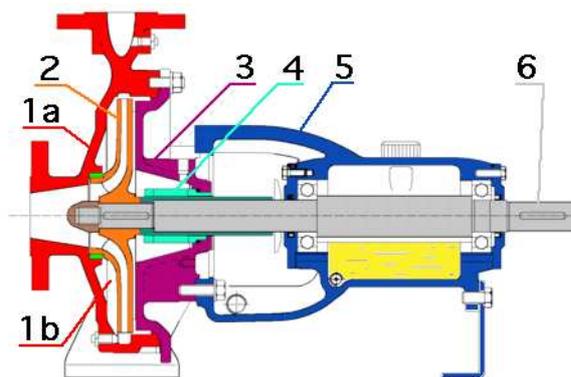


Figura 50. Sección de bomba centrífuga carenada



3 DESCRIPCIÓN Y FASES DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO

A continuación se expone posiblemente la parte más complicada a la hora de ejecutar un proyecto, esta es la definición de las fases o hitos a abordar, es realmente el objetivo prioritario a cumplir durante la fase de construcción. Para enfocar esto, es necesario, como bien se explicó al principio de este proyecto, conocer minuciosamente el estado de la instalación y listar todos los pasos necesarios para completar las requisiciones técnicas establecidas por el proceso de la planta. Cualquier modificación de esta tarea a posteriori se traduciría directamente en retrasos temporales de la ejecución y en coste de las operaciones.

3.1 FASES DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO

La instalación consta de 3 oleoductos antiguos y uno nuevo. Los tres oleoductos existentes son el de Morón de la Frontera, el Huelva-Málaga y el Rotaza (Rota-Norte) mientras que el oleoducto nuevo es el llamado “Nuevo Rotaza”, desdoblamiento del “Antiguo Rotaza”. Esto, de cara a la estación de bombeo, se traduce en 3 grupos de bombeo para los oleoductos antiguos y un grupo de bombeo nuevo. El proyecto tiene como finalidad actuar en 3 de los 4 bombeos, en el Huelva Málaga, en el antiguo Rotaza y en el nuevo Rotaza, por lo que el proyecto no es una ampliación propiamente dicha si no que más bien es una ampliación con un cambio de funcionalidad de toda la instalación.

A lo anteriormente expuesto hay que añadir una variable más, que es que el antiguo Rotaza es un oleoducto que bombea las 24h los 365 días del año y sobre el que es realmente complicado realizar una conexión al prestar un servicio continuado. Por ello, es preciso realizar una planificación exhaustiva del proyecto para minimizar o evitar las paradas y los tiempos de parada de la instalación. Los pasos a seguir son los siguientes.



3.1.1 Puesta en servicio del “Nuevo Rotaza ” (a partir de ahora NR) utilizando las bombas del “Antiguo Rotaza” (a partir de ahora AR):

En la primera fase de proyecto se puso en servicio, utilizando una línea provisional, el oleoducto NR al finalizarse antes que las ampliaciones de los bombes. Indicándose en la Figura 51 aquel tramo de tuberías a desmontar para interconexión el bypass temporal que pondrá el oleoducto en marcha (Figura 52)

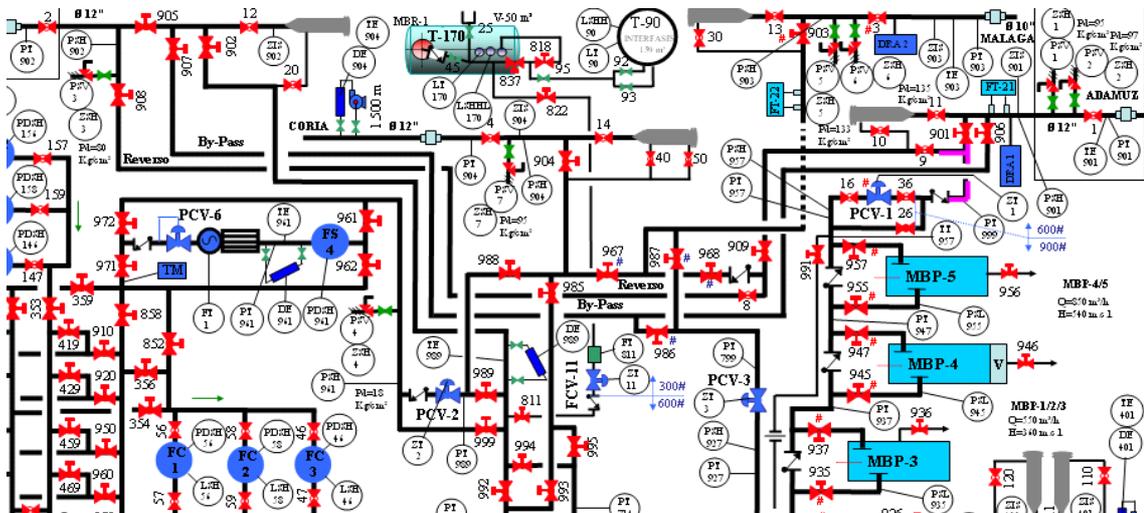


Figura 51 Parte a remover de la antigua instalación en color rosa

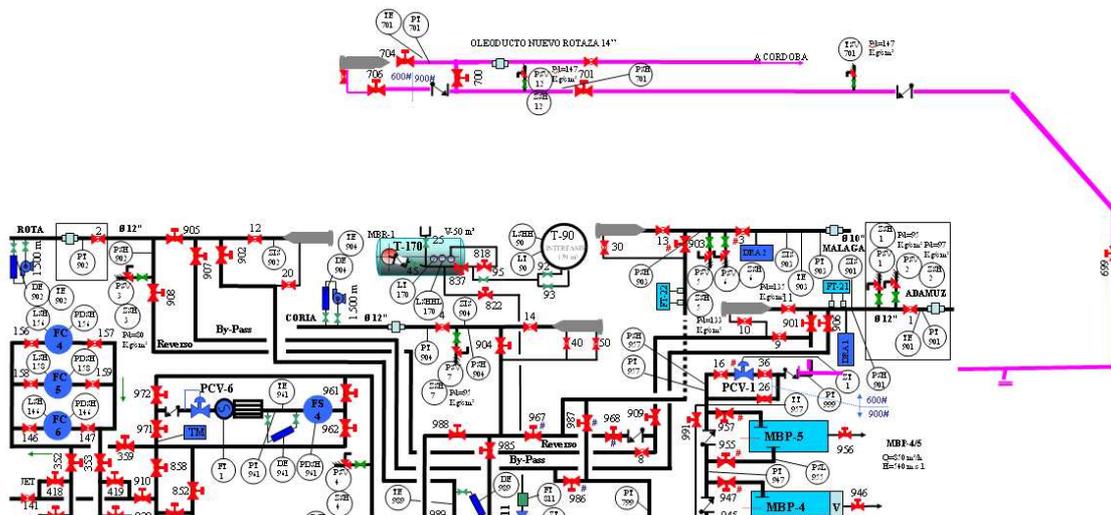


Figura 52. Parte nueva instalada durante la intervención en rosa



Como se puede observar en los gráficos anteriores, la primera fase consistió en crear una línea provisional para la puesta en servicio del NR. Parte de esta línea, a partir de la primera retención en sentido de flujo de la Figura 52, no es provisional si no que está compuesta por parte de la línea de las bombas 4, 5,6. Además se ha instalado una trampa de rascadores, aguas abajo de la válvula 704, donde se introducirá un PIG rascador de oleoducto para así poder limpiar la tubería de aquellos residuos y escorias resultantes de la fase de construcción del oleoducto.

El motivo fundamental de esta decisión fue la finalización temprana del oleoducto del NR. Esta fase implica el cálculo y la soportación de la línea provisional, la realización de los planos isométricos y el diseño del proceso de la trampa de rascadores provisional así como la planificación para poderse acoplar al oleoducto durante la tercera fase. También se realizaron una serie de cambios en la sala del CCM como fue un cambio de posición del armario de CC para encontrar espacios suficientes en el cuarto y así poder instalar las cabinas de los motores nuevos. La línea del NR será de esta forma impulsada provisionalmente por el grupo de bombeo del AR pudiendo a su vez dar servicio al AR.

3.1.2 Puesta en servicio bombas 7 y 8 para AR y NR.

En la Figura 53, se da el resultado de la segunda intervención en la planta. Habiéndose realizado las siguientes operaciones:

- Conexión y puesta en servicio de las bombas 7 y 8 nuevas.
- Modificación parcial del oleoducto Huelva- Málaga conectándose la bomba MBP-3 a este oleoducto
- Modificando toda la parte de llegada de producto, bypass de planta y salida de producto en el Huelva- Málaga
- Sustitución y puesta en servicio de una nueva PCV-3 al detectarse que la anterior PCV-3 no era válida para el nuevo servicio. El oleoducto Huelva Málaga pasaba a trabajar a presiones máximas de 90 kg/cm² y la PCV-3 era de 600# siendo necesaria una de 900#.

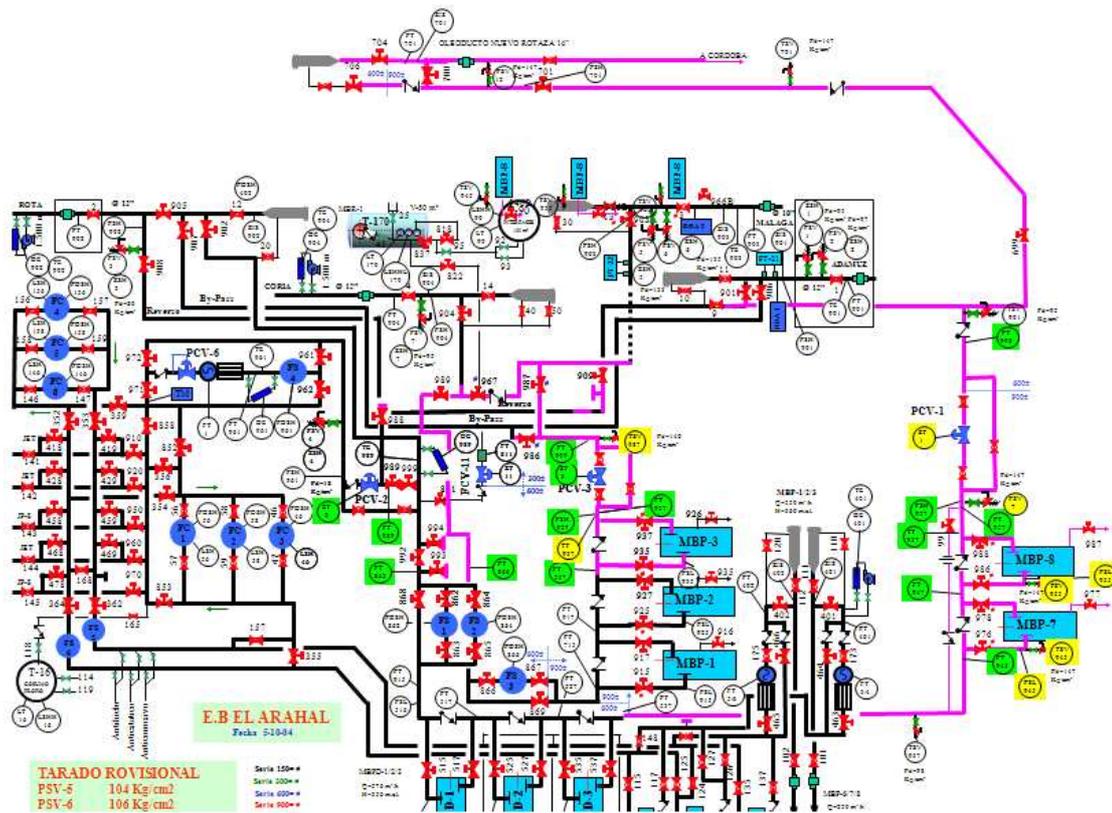


Figura 53. Estado de la estación tras segunda intervención

Esta intervención se realizó en 24h con un cambio significativo en el proceso de planta. No solo sugiere cambios mecánicos sino que se tuvo que proceder a cambios en los armarios de interfase, pruebas de temperaturas y vibraciones en el BN, modificación de lazos de control de PCV y bombas y puesta en servicio de armarios de CCM. Además hay que tener en cuenta que no se realizó el montaje de válvulas previsto en el proyecto inicial, el cual pedía reutilizar las válvulas antiguas de las bombas MBP-4,5 en las bombas 7 y 8. Esto no se realizó de esta forma puesto que el tiempo de parada de la planta se habría duplicado. Se optó por instalar la valvulería nueva prevista para las bombas 12, 22,32, y recalcular las presiones diferenciales de las válvulas y por tanto las potencias de los actuadores haciendo los cambios que fuesen necesarios. También se modificó el criterio de cableado de los armarios de interfase por lo que se tuvo que remodelar el cableado de 2 armarios de interfase, sobre todo del armario número 3.

Finalmente se procedió a la puesta en marcha, dirigida por mí personalmente, en la cual se procedió a la purga de aire de todo el circuito vacío, de todos los instrumentos,



de la presurización dada por la E.B de Rota para cebar la aspiración de las Bombas lo suficiente como para que no se disparen los presostatos de baja presión que tienen en la aspiración evitando posibles cavitaciones. Se detectaron un par de fugas, por dos embridamientos, que fueron corregidas rápidamente. Durante los dos días siguientes hubo problemas de vibración en la bomba 5 disparándose la protección del Bentley Nevada, pero tras estudiar detenidamente la situación, el problema residía en una mala configuración de la tarjeta de vibraciones.

3.1.3 Puesta en servicio completo

Por último, la tercera intervención, que duró aproximadamente 16 h y consistió en:

- Anulación del tramo provisional de impulsión de las bombas MBP-7 y 8 de la primera fase del proyecto.
- Finalización de las modificaciones en el Huelva- Málaga.
- Modificación de la llegada a turbina del oleoducto de Morón de la Frontera
- Conexión de bypass entre NR y Huelva-Málaga
- Conexión al oleoducto NR (aguas abajo) quitando la trampa de rascadores de las bombas MBP-12/22/32.

Como en la anterior intervención, esta conexión no solo tuvo modificaciones del proceso en planta, también se tuvo que realizar mucho trabajo en sala de control con:

- Pruebas del BN de las bombas 12, 22,32 (su tag se modificó siendo las antiguas 4, 5,6).
- Puesta en servicio de los lazos de control de la bomba MBP-4 y la válvula PCV-4
- Se probaron todas las señales y alarmeros.
- Puesta en servicio de nuevo panel de control de oleoducto
- Puesta en servicio de la nueva bomba de Flowserve MBP-32 (1700 CV);



- Configuración de densímetro de planta y de 1500.

La secuencia de puesta en marcha tras la intervención fue la misma que en el caso anterior.

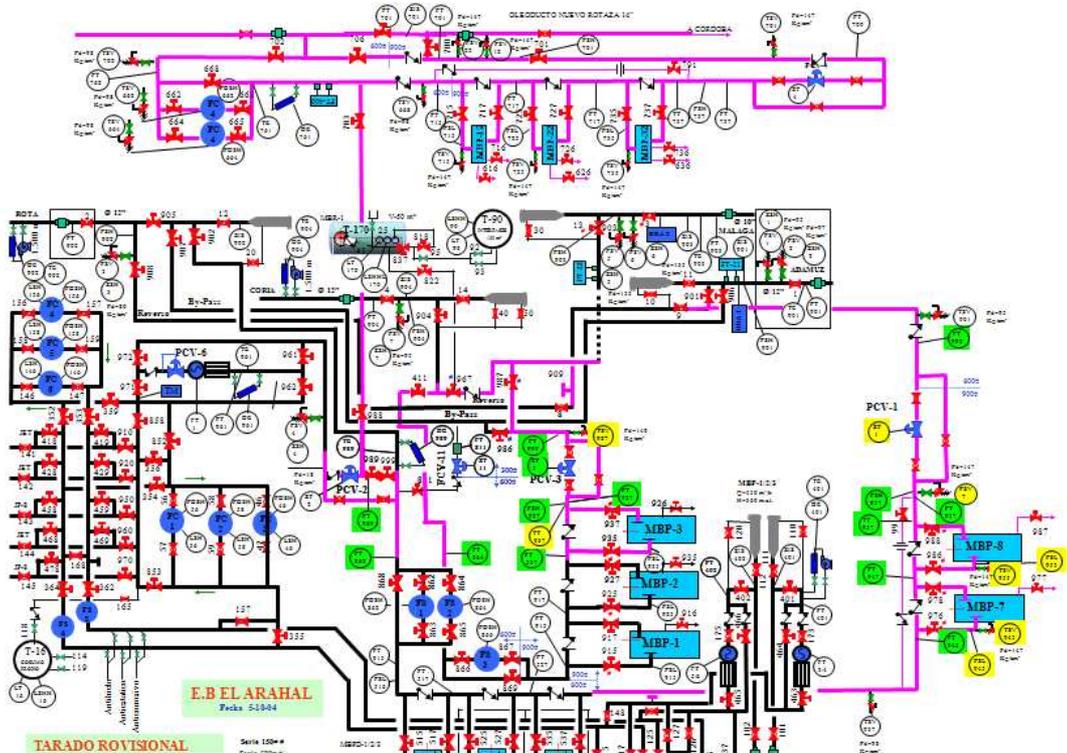


Figura 54. Estado de la instalación tras la intervención 3. Finalización

A continuación se explicará brevemente la ejecución del proyecto por disciplinas.

3.2 OBRA CIVIL

Como se puede observar en la figura 55 existen dos zonas completamente diferenciadas en la planta (trazado de rayas) donde se ha de actuar en la obra civil. El orden de actuación que se siguió con la obra civil fue aquel necesario para acometer con solvencia los hitos dispuestos en el apartado 3.1 habiéndose dado prioridad a los trabajos en la zona de bombas MBP-7/8 y posteriormente a la zona de bombas MBP-4/5/6.

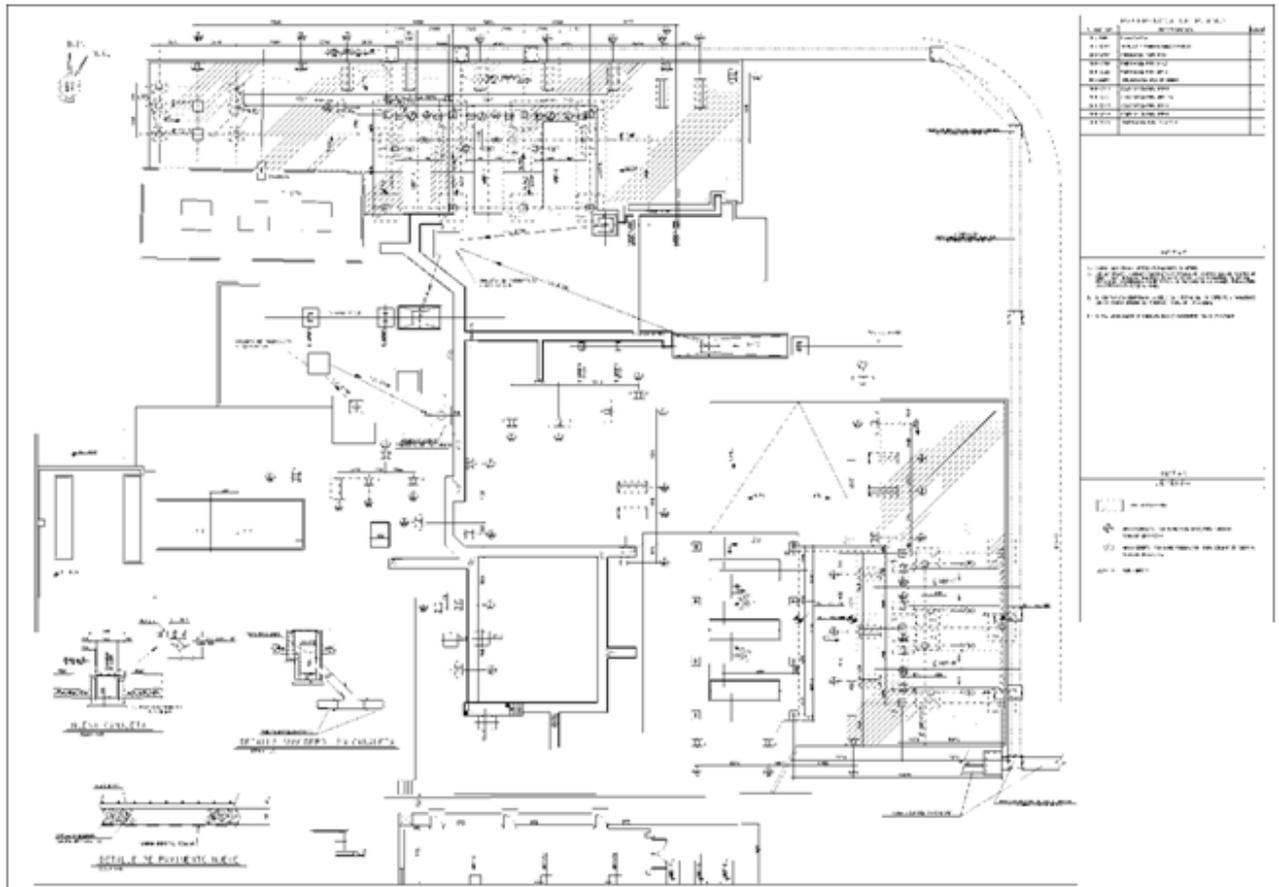


Figura 55. Planimetría general de cimentaciones y redes enterradas

En una ampliación de una estación de bombeo existen tuberías a una cota fija por lo que, durante el desarrollo de esta fase de la obra, los puntos existentes han de respetarse. Durante la excavación y hormigonado de la zona de bombas 7 y 8 había 2 puntos a los que había que unir con la tubería nueva. Estos son los puntos de conexión 202 y 203 se definen en el detalle del plano general de tuberías (figura 56). Según esto, la cota del colector ha de ser constante, hasta llegar a los cuatro codos de 45° llevan a la tubería a otra cota distinta de planta, y debido a esto, la cota a la que va finalizado cada uno de los durmientes será la misma.

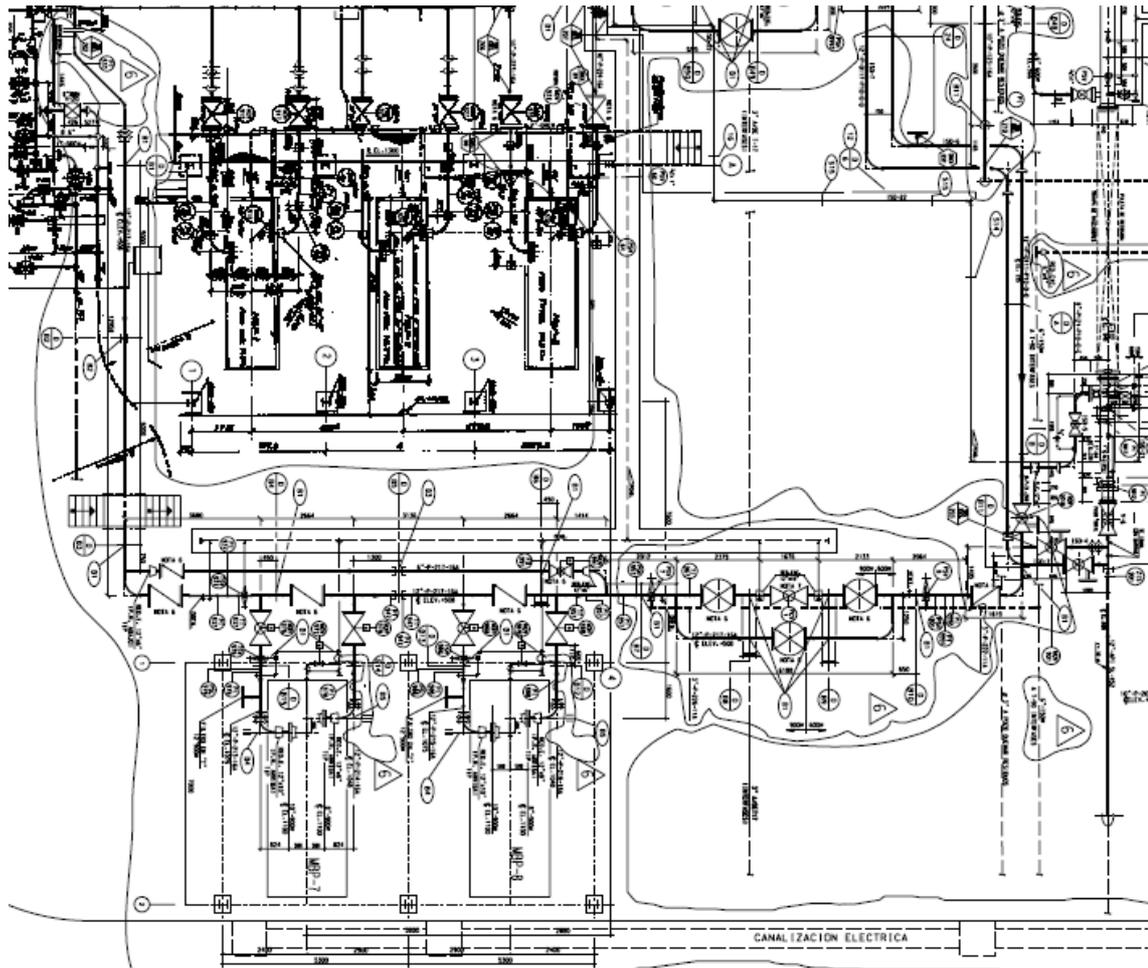


Figura 56. Detalle de la planta general de tuberías

A continuación se expone un detalle de la planimetría de cimentaciones y redes enterradas de la zona de bombas 7 y 8 (Figura. 57)

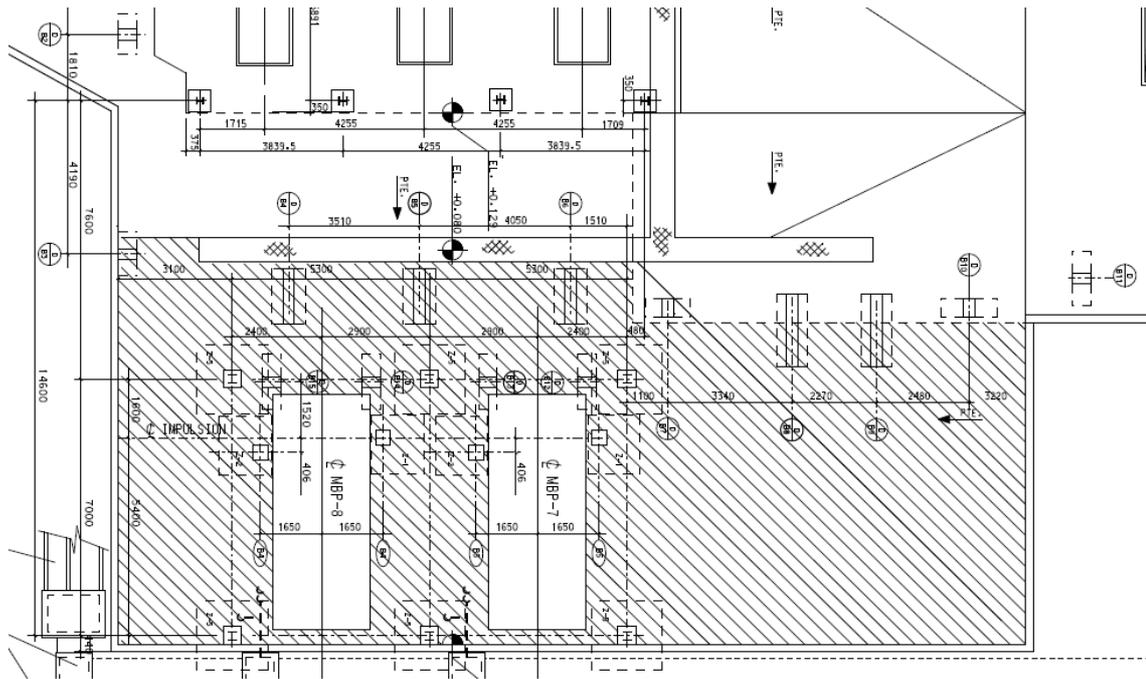


Figura 58. Planimetría de redes enterradas, zona de bombas MBP-7/8

La E.B en la que se ha realizado el montaje del proyecto, está datada de mediados de los años 50. La factoría antigua está completamente soterrada con el fin estratégico de no poder ser detectada por vía aérea. Hoy en día, los fines son distintos, se busca minimizar de gastos de mantenimiento y mejorar el acceso a los servicios. Sin embargo la planta antigua sigue funcionando, en parte, con la parte nueva y aérea. Esto ha generado multitud de problemas en fase de construcción. Por ejemplo, la posición de las bombas 7 y 8, se ha desplazado 660mm en dirección oeste al encontrarse situadas, según el proyecto original, sobre una canalización eléctrica a las antiguas bombas 4 y 5 (Figura 59). También se registraron interferencias durante el hormigonado de los durmientes B8, B9 y B3 al haber diversos cables eléctricos que lo atravesaban (Figura 60).

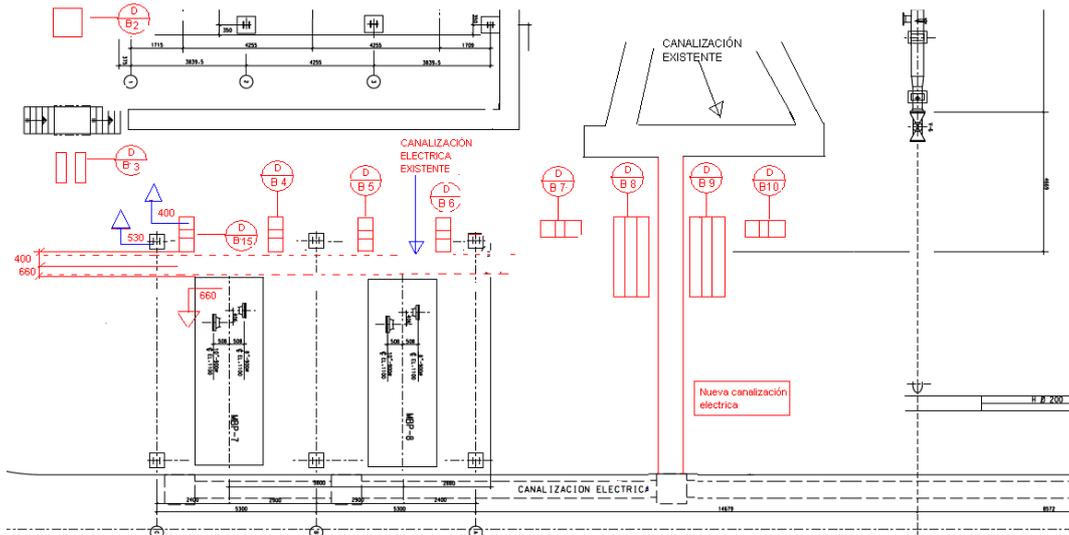
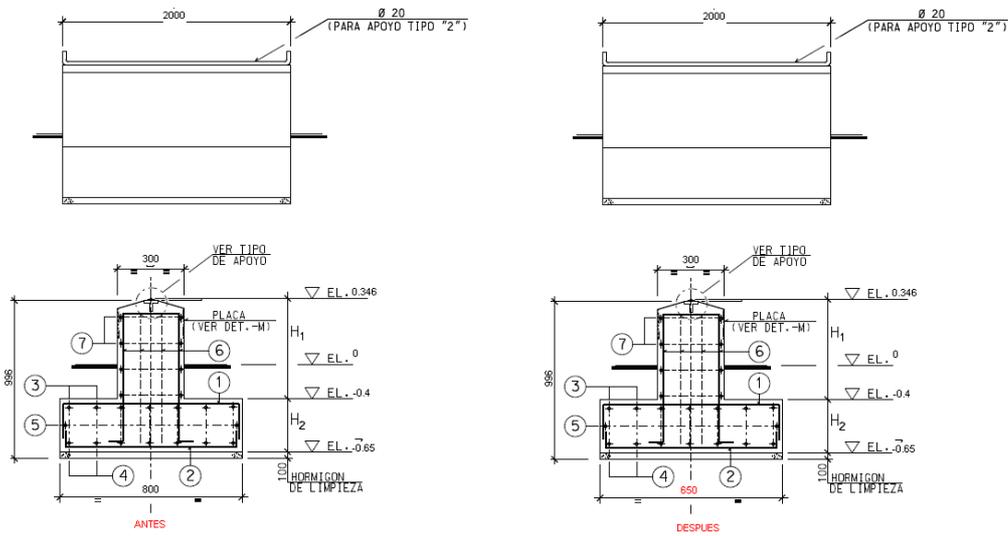
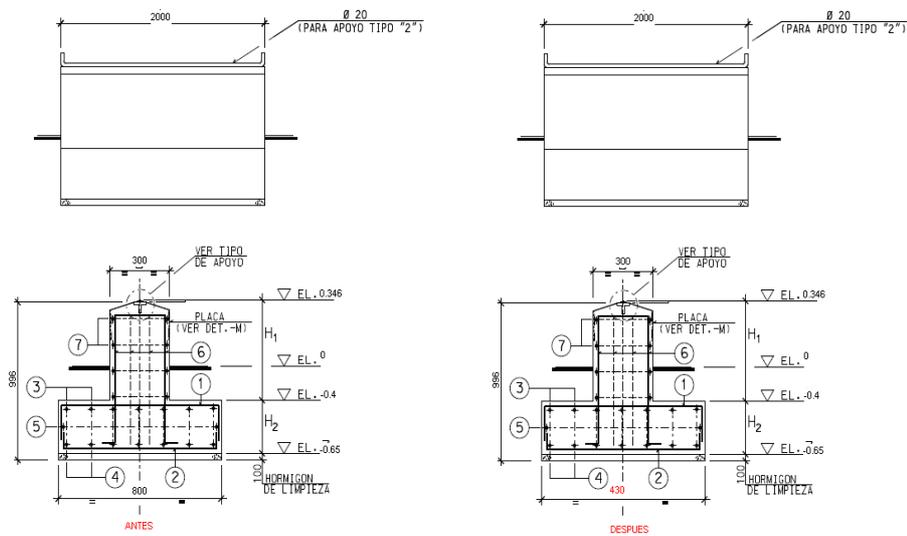


Figura 59. Estado final de la obra civil en la zona de bombas 7 y 8



Durmiente B9

Durmiente B8



Durmiente B3

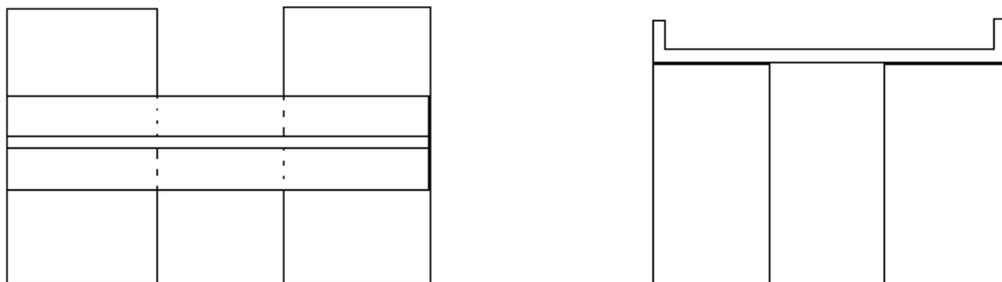


Figura 60. Durmientes reformados por interferencias de cables enterrados (MBP-7/8)

- Canalización eléctrica:

La filosofía de montar cualquier servicio aéreo en vez de soterrado no es aplicable a los cables de alta tensión. Según la ficha técnica de estos cables, su peso propio es de 9965 kg/km lineal y su diámetro exterior es de 67 mm por lo que hay dos opciones. Se puede fabricar una soportación con altura suficiente mediante cristos o bien se puede soterrar. El montaje de la primera opción es más barato que el de la segunda, sin embargo, se puede dejar espacio de reserva en los cristos para servicios



futuros lo que abarata mucho el coste. En este caso el cliente ha preferido enterrar los servicios de alta tensión de alimentación de las bombas y dejar aéreos aquellos cables de instrumentación y de alimentación de las válvulas motorizadas. Soterrar una canalización eléctrica de 9 tubos de doble capa de 160 mm de diámetro en una instalación antigua es un proceso muy complicado por el número ingente de servicios enterrados no reflejados en ningún plano. De hecho, la cota respecto a la superficie de la canalización eléctrica ha variado a lo largo de su trazado tal como se indica en el perfil de la Figura 61.

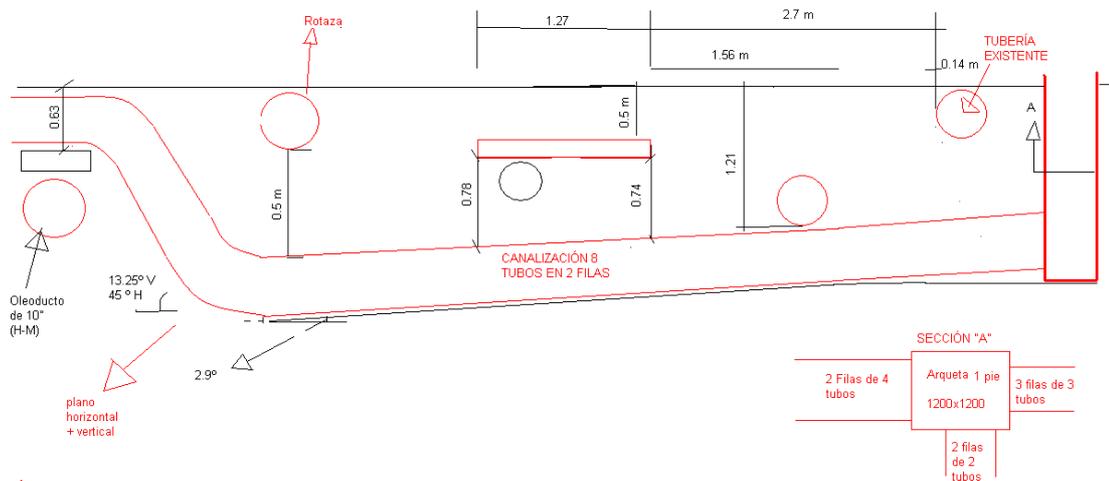
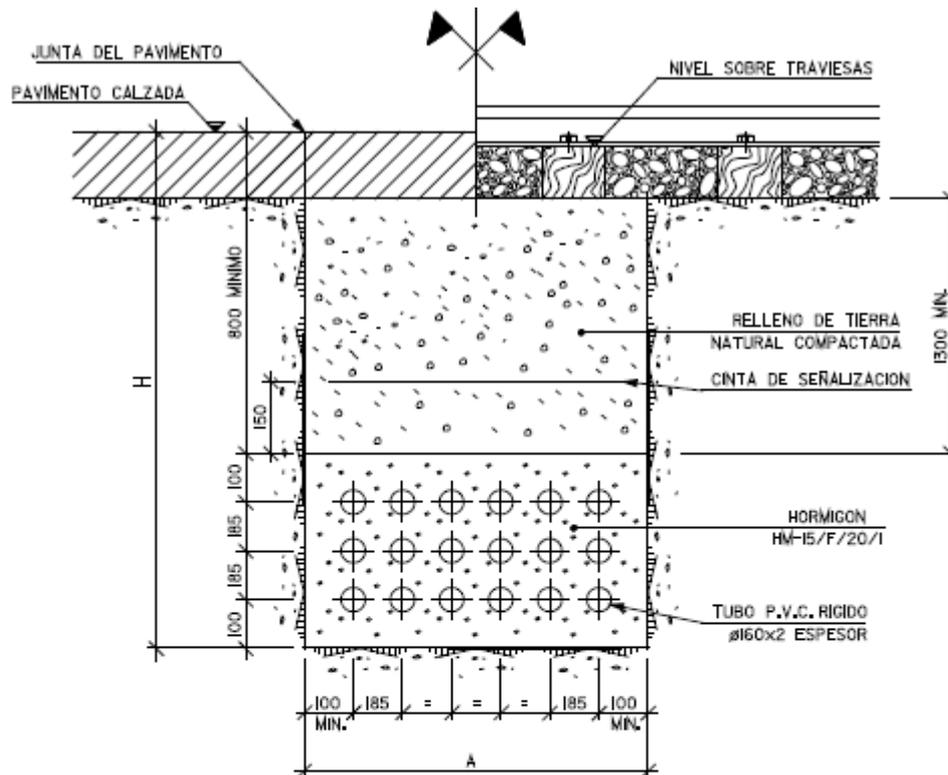


Figura 61. Perfil de la canalización eléctrica nueva al paso de los oleoductos de Huelva-Málaga y Rotaza.

En la Figura 62 se detalla claramente el perfil de excavación y rellenos de una canalización eléctrica enterrada según los estándares de CLH.



DIMENSIONES		DISPOSICION	
A	H	N° TUBOS	N° FILAS
400	900	2	1
400	1085	4	2
570	1085	6	2
570	1270	9	3
570	1455	12	4
755	1455	16	4

DIMENSIONES		DISPOSICION	
A	H	N° TUBOS	N° FILAS
755	1640	20	5
755	1825	24	6
940	1825	30	6
1125	1825	36	6
1310	1825	42	6
1500	1825	48	6

Figura 62. Estándar de relleno de canalizaciones eléctricas bajo pavimento o vías férreas

A continuación, Figura 63, se muestran diversas fotos reales del periodo de construcción de la obra civil de esta parte de la E.B:



Figura 63. Comienzo de la excavación en la zona de bombas MBP-7/8





Figura 64. Encofrado de la bancada de la bomba MBP-8 y posterior acoplamiento de las bombas a sus respectivas bancadas.



Figura 65. Durmientes en zona de bombas MBP-7/8



Figura 66. Zona de bombas MBP-7/8 con la cimentación finalizada

En la zona de bombas 12/22/32 las condiciones no eran tan complicadas como en la zona de bombas 7/8 al tratarse de una zona libre o prácticamente nueva a explotar. Por hacer alguna reseña, se observa en la Figura 55 como esta zona de bombeo estaba pegada físicamente al resto de la planta. A continuación se muestra un plano explicativo (Figura 67) de la situación final en la que quedó el nuevo bombeo.

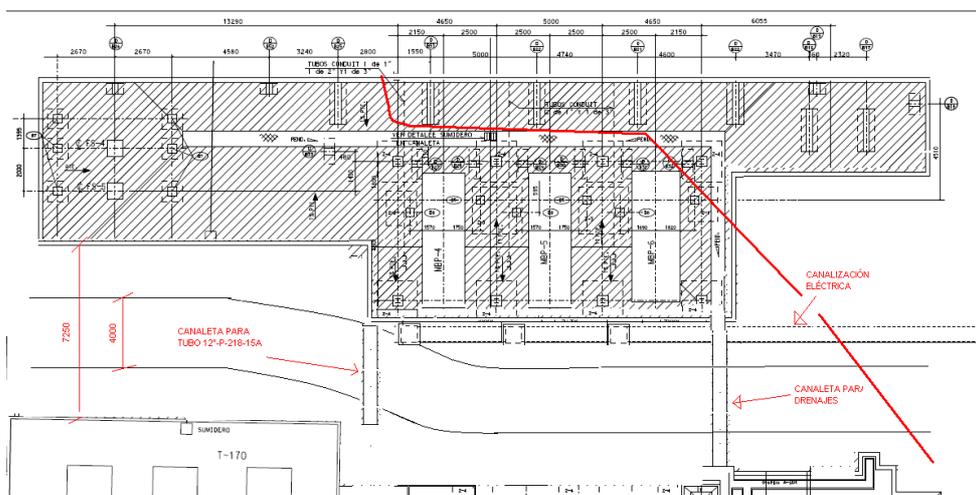


Figura 67. Posición final de la zona de bombas MBP-12/22/32



En la Figura 67 se observa un desplazamiento de 7250 mm en dirección norte del bombeo para trazar un nuevo vial transitable por vehículos. El fin de este paso de vehículos es poder acceder a las “trampas de rascadores” de los dos antiguos oleoductos.

Además cabe destacar como se ha modificado la posición de la canalización eléctrica que pasa del norte de las bombas al sur. Esto es debido al mejor acceso por esta zona de los cables y por falta de espacio al norte de las nuevas bombas (oleoducto de “Nuevo Rotaza”).

También son reseñables los dos pasos bajo calle que se han tenido que realizar a costa de esta nueva ubicación. Uno es para la comunicación de la canaleta de aguas hidrocarburadas y la otra es para el paso del tubo del bypass del Nuevo Rotaza hacia Málaga o a la base de Morón de la frontera.

En una estación de bombeo o de almacenamiento de productos derivados del petróleo, según la normativa española MI-IP-02 y 04, han de separarse 3 productos de forma completamente diferenciada. Estos son los hidrocarburos, las aguas hidrocarburadas o aguas contaminadas y las aguas pluviales. Cada uno de estos fluidos tiene conducciones distintas y el tratamiento de las mismas es diferente. En el primer caso, de hidrocarburos puros, se utiliza un sistema de reinyección que se explicará más adelante yendo estos a un sistema de purgas cerrado. En el caso de aguas hidrocarburadas se ha de proceder a una descontaminación y tratamiento previo del agua antes de su vertido mediante una balsa API y un analizador de hidrocarburos llamado Oriba y las aguas pluviales o aguas limpias de la lluvia llevarán un recorrido totalmente separado de las dos anteriores hacia un desagüe de pluviales corriente.

La descontaminación de las aguas hidrocarburadas consiste en el paso a través de un decantador primario, después el agua pasa a un decantador secundario donde los aceites y productos son separados de la superficie mediante un rastrillo rascador llamado Skimmer, posteriormente se vierten en un decantador terciario o separador que dispone de unas bombas que impulsan los aceites a un depósito de desechos o slops y de un analizador, que impulsará una muestra de una supuesta agua limpia y tratada a la Oriba. La Oriba es el analizador de aguas propiamente dicho. Este analizador detectará el

número de ppm que hay disueltos en el agua y dará así su visto bueno al agua tratada que será vertida en la red de pluviales.

A continuación se exponen fotos de la fase de obra civil de las bombas 4, 5,6:



Figura 68. Cimentación de las bombas MBP-12/22/32



Figura 69. Cimentaciones y arquetas



Figura 70. Cimentaciones y arquetas MBP-12/22/32



Figura 71. Zona MBP 12/22/32 y vial

3.3 MONTAJE MECÁNICO

Todos los elementos a instalar en la planta serán embridados o soldados a tope (BUTT WELD). En este proyecto se han utilizado 2 tipos de materiales. Un acero al carbono de grado B apto para ratings de 600# (según ASME b 36.1) y un acero llamado X60 (acero de alto límite elástico) o, dicho de otro forma, con un límite elástico de 60000 psi capaz de soportar presiones de 900#. Los diámetros de la tubería variarán entre ½” y 12” como máximo.

Según el código ASME, el cual es de obligado cumplimiento en este proyecto por normativa del cliente CLH, un acero tipo ASTM A-106 Gr B tiene que ser capaz de soportar un límite elástico de 240 Mpa como mínimo y una tensión máxima como mínimo de 415 Mpa. A su vez, un acero tipo X60 tiene un límite elástico entre los 415 y los 565 Mpa y entre 520 y 665 Mpa de tensión máxima. Se puede observar como las características mecánicas del X60 son muy superiores a las del Gr B. El acero X60 se



utilizará en aquellas zonas de la instalación que vayan a soportar presiones superiores a los 42 kg/cm².

3.3.1 Procedimientos de soldadura

El montaje de tubería se realiza por soldadura a tope. El método, materiales de aporte, avances, posiciones de soldadura e input térmico. Son una serie de características a definir previamente al montaje del tubo. Por lo que la empresa constructora elabora un procedimiento llamado WPS. Dicho WPS debe ser acorde al código ASME IX o el código API STD 1104, como es el caso. A continuación se expone el procedimiento de soldadura utilizado en el proyecto para soldar material de tipo X60 y de GrB:



- Para GrB:

ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) (De acuerdo con Norma API Std. 1104)		Preliminar WPS TI- 712
		Hoja 1 de 2
		Rev.: 2
Nombre de la empresa :	Confeccionado por :	Rev. : 2
Especificación de procedimiento de soldadura n°: TI-712		Fecha : 10/07/2009
Amparado por PQR :		Rev. :
		Fecha :
Proceso de soldeo :	GTAW/SMAW	Tipo : Manual (manual, automática, semiautomática)
1 JUNTAS		
Tipo de unión (diseño de la junta) : A tope Respaldo : GTAW no ; SMAW si Material de respaldo (tipo) :ER 70S8 Metálico : Metálico no fundible : No metálico : Otros :	Croquis de la unión 	
2 MATERIAL BASE		
Especificación tipo y grado : API 5L Gr B; A 106 Gr B		Grupo a
a especificación tipo y grado : API 5L Gr B; A 106 Gr B		Grupo a
Análisis químico y propiedades mecánicas :		
a análisis químico y propiedades mecánicas :		
Rango de espesores	(17,48 mm)	
Metal base	A tope : 4,8 a 19,1 (mm)	En ángulo : Todos
Diámetros de tuberías	12"	
A tope :	2 3/8" a 12 7/8"	En ángulo : Todos
Otros		
3 MATERIALES DE APORTACION		
Especificación (SFA) N°	5.18	5.1
AWS N°	ER 70S8	E 7018-1
F N°	6	4
A N°	1	1
Diámetro del material de aporte	2,4	2,5; 3,25
Metal de soldadura depositado	mm	mm
Rango de espesores		
A tope	mm	mm
En ángulo	Todos	Todos
Clase de electrodo - flux		
Marca comercial flux		
Varilla consumible		
Otros :		



Preliminar WPS N° TI- 712		Rev. 2		Fecha : 10/07/09		Hoja 2 de 2													
4 POSICION Posición a tope : 6G Posición en ángulo : Dirección de avance Ascendente				5 TRATAMIENTO TERMICO POSTSOLDADURA (N.A.) Calentamiento libre hasta : Gradiente de calentamiento Desde a Velocidad Temperatura de mantenimiento Mínimo Máximo Tiempo Gradiente de enfriamiento Desde a Velocidad Enfriamiento libre desde Medio empleado para el tratamiento térmico															
6 PRECALENTAMIENTO Temperatura precalentamiento min. : 100°C Temperatura entre pasadas max. : 250°C Mantenimiento del precalentamiento : 150°C				7 GAS <table border="1"> <thead> <tr> <th>Gas</th> <th>Mezcla</th> <th>Caudal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Protección Argón</td> <td>99,99%</td> <td>12-15 l/min</td> </tr> <tr> <td>Gas portador</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Respaldo</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				Gas	Mezcla	Caudal	Protección Argón	99,99%	12-15 l/min	Gas portador			Respaldo		
Gas	Mezcla	Caudal																	
Protección Argón	99,99%	12-15 l/min																	
Gas portador																			
Respaldo																			
8 CARACTERISTICAS ELECTRICAS Corriente : CC Polaridad : neg./pos. Intensidad (A) : 68 - 120 Tensión (V) : 11 - 24 Electrodo no consumible dimensiones y tipo : Ø 1,6-2 mm SFA 5.12 AWS EWCe-2 Modo de transferencia del metal para GMAW : Velocidad de alimentación varilla - electrodo																			
9 TECNICA Cordon recto u oscilante : Ambos Limpieza inicial y entre pasadas : Cepillado / Esmerilado Metodo de saneado de raiz : N.A. Oscilación : Máxima 2,5 veces Ø electrodo Pasadas simple o múltiple (por lado) : Múltiple Velocidad de avance : 6-11 y 7-9 cm/min Diámetro boquilla : 8-10 mm Distancia a la boquilla : Electrodo simple o múltiple : Simple Otros : Tiempo entre pasadas : 5 min Lineup clamp : N/A																			
Pasada	Proceso	Metal Aportación		Corriente			Velocidad (cm/minuto)	Otros											
		Clase	Ø	Tipo/Polar.	Intensidad (A)	Tensión (V)													
1ª y 2ª	GTAW	ER 70S6	2,4	CC / neg.	100 -120	11-15	6 - 11												
Resto	SMAW	E 7018-1	2,5	CC / pos.	68 - 88	20-24	9 - 7												

Notas :

Fdo.

Figura 72. WPS para API 5L Gr B



- *Proceso a seguir*

El proceso a seguir para la ejecución del montaje de tubería es el siguiente:

1. Elaboración del WPS: el WPS es una proposición para el procedimiento de soldadura, de ahora en adelante PQR.
2. Elaboración de la probeta de acuerdo con el WPS y avalado por una OCA.
3. Ensayos destructivos de un laboratorio acreditado de la probeta.
4. Elaboración del PQR o procedimiento de soldadura final.

En los dos WPS anteriores se define:

1. **JUNTAS:** Ángulos admisibles en el biselado, rango de espesores de los tacones, separación entre biseles, tipo de soldadura (en este caso es una soldadura a tope, es decir, de todo el perímetro de la tubería) y respaldo tipo GTAW (mediante electrodo) o SMAW (TIG, Tungsten Inert Gas)
2. **MATERIAL BASE:** Tipo de material base o de tubería (X60 o grado B en este caso), rango de espesores y rango de diámetros.
3. **MATERIALES DE APORTACIÓN:** Número F (tipo de material de aportación ya sea tungsteno, acero, aluminio...), el número A (define el porcentaje de aleantes del material empleado F), diámetro del material de aporte, rango de espesores y marca y modelo del electrodo y de varilla a utilizar en el aporte.
4. **POSICIÓN:** Define la posición en la que se puede realizar la soldadura, en este caso es una 6G que permite soldar en horizontal, vertical u oblicuo. Por ejemplo, una posición 5G solo permite soldar tubería en posición horizontal, y posición de soldadura que define si se realiza el cordón de soldadura en ascendente o en descendente.
5. **Tratamiento térmico pos soldadura:** Define si en necesario realizar o no un tratamiento térmico a la soldadura para aliviar tensiones. Depende del tipo de material empleado, del número de pasadas de material de aporte.



6. Precalentamiento: En este apartado se define las temperaturas máximas y mínimas a las que debe someterse la tubería. Si la temperatura es demasiado baja a la hora de comenzar a soldar se pueden producir defectos de fisuras, laminaciones o faltas de fusión del material base y si es demasiado alta se puede generar una modificación granular considerable disminuyendo notablemente el límite elástico del material.

7. GAS: Tipo de gas utilizado para fundir la varilla TIG en una soldadura tipo GTAW así como el caudal de aportación del gas.

8. TÉCNICA: Define el resto de parámetros como diámetro de la boquilla de la pistola, tipo de limpieza a aplicar entre pasadas, oscilación máxima del electrodo ...

Para el caso de la tubería de alto límite elástico, X60, la normativa ASME IX define la cantidad máxima de energía que se puede generar durante el proceso de aporte definiendo un rango de intensidades, voltajes, tiempos entre pasadas e input térmico (J/mm) a generar.

A continuación se muestran los resultados del laboratorio de dos electrodos tipo 9018 de 2,5 y 3,25 mm de diámetro recomendados para soldar tubería X70 (Figuras 74 y 75)



Informe de Ensayo

LINCOLN
ELECTRIC
 LINCOLN-KD, S.A.

Producto	CONARC 70G	Item No.	523706
Clasificación	AWS A5.5 : E9018-G-H4R EN 757 : E 55 4 1NiMo B 32 H5	Lote	O26196306
		Tamaño (mm)	2,5 X 350
		Product Line	Electrodos
Ciente		Pedido cliente	H004725
		Nuestra orden:	SE371547
		Cantidad	15,0 KG

Análisis Químico(%)													Según EN10204:2004
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Nb	Cu	V	Ti	Al	
0,05	0,4	1,2	0,015	0,007	0,0	1,0	0,40	0,01	0,1	0,02	0,01	0,01	
B	As	Sn	Pb	N									
0,000	0,00	0,00	0,00	0,008									

Propiedades mecánicas, Metal Depositado										Según EN10204:2004
Resistencia					Test de impacto					
Cond.	Temp. °C	ReL N/mm ²	Rm N/mm ²	A5 %	Cond.	Temp.1 °C	Av1 J			
AW	RT	610	677	24	AW	-40	102			

Información adicional										Según EN10204:2004
Otras pruebas										
/										

Observaciones									
Material packed in Sahara Ready Pack									
/									

Figura 74. Ensayo electrodo de 2.5 mm de diámetro



Informe de Ensayo


 LINCOLN-KD, S.A.

Producto CONARC 70G Clasificación AWS A5.6 : E9018 G H10 EN 757 : E 55 4 1NiMo B 32 H5	Item No. 523737 Lot Q19181952 Tamaño (mm) 3,2 X - 350 Product Line Electrodes Partido cliente H004775 Nuestra orden: SE371547 Cantidad 32,0 KG
Ciente <div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 40px;"></div>	

Análisis Químico(%)													Según EN10204:2004
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Nb	Cu	V	Ti	Al	
0,015	0,4	1,2	0,015	0,007	0,0	1,0	0,40	0,01	0,1	0,02	0,01	0,01	
B	As	Sn	Pb	N									
0,000	0,00	0,00	0,00	0,008									

Propiedades mecánicas, Metal Depositado					Test de impacto			Según EN10204:2004
Resistencia								
Cond.	Temp. °C	ReL N/mm2	Rm N/mm2	A5 %	Cond.	Temp.1 °C	Av1 J	
AW	RT	610	677	24	AW	-40	102	

Información adicional	Según EN10204:2004
<input type="checkbox"/> Tras pruebas <input type="checkbox"/> U.S.	

Observaciones
Material packed in Sahara Ready Pack

Figura 75. Ensayo electrodo de 3.25 mm de diámetro

Una vez realizados los pasos 1 y 2, redacción del WPS y soldadura de la probeta, esta se manda al laboratorio donde se realizan los ensayos destructivos. A continuación se exponen los resultados de los ensayos correspondientes a los procedimientos expuestos más arriba:



- Para Gr. B:

1. ANTECEDENTES El 26/08/09 la firma entrega en AZTERLAN una probeta soldada cuyos datos de identificación son los siguientes:

- Referenda **A106 GR. B**
- Dimensiones **Tubo de 12"**

2. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Inspección visual	
La soldadura presenta un aspecto regular y libre de defectos. Su aspecto es satisfactorio.	
<small>Inspección realizada el 24/08/09</small>	

3. ENSAYOS DE TRACCIÓN TRANSVERSALES (S/ API 1104)

3.1. Resultados

Probeta	Dimensiones (mm)	Rm (MPa)	Fm (N)	Zona Rotura
1	25,30 x 17,00	494	212.630	Metal Base
2	25,30 x 17,00	501	215.518	Metal Base

4. ENSAYOS DE FRACTURA NICK BREAK (S/ API 1104)

4.1. Resultados

Probeta	Resultado
1	La rotura se produce por el metal base. Aspecto de la fractura correcto. No se observan defectos
2	La rotura se produce por el metal base. Aspecto de la fractura correcto. No se observan defectos

5. ENSAYOS DE DOBLADO TRANSVERSALES (S/ API 1104)

5.1. Resultados

Probeta	Ensayo	Angulo de doblado	Resultado
1	Lateral	180°	No se aprecian indicaciones
2			No se aprecian indicaciones
3			No se aprecian indicaciones
4			No se aprecian indicaciones

5.2. Observaciones

- El diámetro del olisador es $d = 60$ mm.

6. REGISTROS FOTOGRÁFICOS



Figura 1. Tracciones transversales. La rotura se produce por la zona del metal base.



Figura 2. NICK BREAK. Detalle de las superficies de fractura.



Figura 3. Doblaños Laterales. Se presentan las probetas tras el ensayo.

Figura 76. Informe de ensayo de la probeta de acero A 106 Gr B



- Para X60:

1. ANTECEDENTES El 26/08/09 la firma S.A. (Huelva), entrega en AZTERLAN una probeta soldada cuyos datos de identificación son los siguientes:

- Referencia **API 5LX60**
- Dimensiones **Tubo de 10"**

2. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Inspección visual	
La soldadura presenta un aspecto regular y libre de defectos. Su aspecto es satisfactorio.	

Inspección realizada el 26/08/09

3. ENSAYOS DE TRACCIÓN TRANSVERSALES

(S/ API 1104)

3.1. Resultados

Probeta	Dimensiones (mm)	Rm (MPa)	Fm (N)	Zona Rotura
1	25,30 x 14,80	609	228.130	Metal Base
2	25,30 x 14,80	624	233.576	Metal Base

4. ENSAYOS DE FRACTURA NICK-BREAK

(S/ API 1104)

4.1. Resultados

Probeta	Resultado
1	Aspecto de la fractura correcto. No se observan defectos
2	Aspecto de la fractura correcto. No se observan defectos

5. ENSAYOS DE DOBLADO TRANSVERSALES

(S/ API 1104)

5.1. Resultados

Probeta	Ensayo	Angulo de doblado	Resultado
1	Lateral	180°	No se aprecian indicaciones
2			No se aprecian indicaciones
3			No se aprecian indicaciones
4			Indicación en soldadura de un 1 mm

5.2. Observaciones

• El diámetro del pisador es $d = 60$ mm.

6. REGISTROS FOTOGRÁFICOS



Figura 1. Tracciones transversales. La rotura se produjo por la zona del metal base.



Figura 2. NICK BREAK. Detalle de las superficies de fractura.

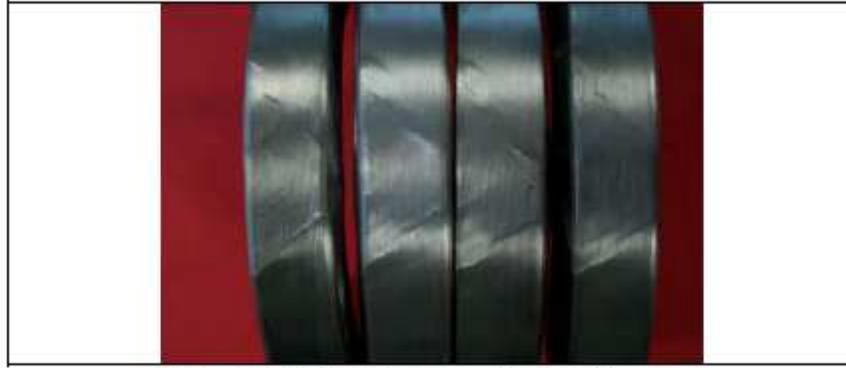


Figura 3. Doblados Laterales. Se presentan las probetas tras el ensayo.

Figura 77. Informe de ensayo de la probeta de acero API 5L X60

Explicación de los resultados:

1. Antecedentes: Al ser este una prueba oficial de que la soldadura resultante del WPS puede soportar las tensiones requeridas por el material según las tablas ASME, se pone en antecedente aquellas partes interesadas en el ensayo. Por un lado la OCA que ha realizado el WPQ y por el otro el laboratorio que va a ensayar las probetas.

2. Ensayos no destructivos: Los ensayos no destructivos pueden constar, dependiendo del tipo de probeta, material y resistencias a las que se ha de someter, de una inspección visual, líquidos penetrantes, partículas magnéticas o incluso ultrasonidos. Previamente antes de mandar la probeta al laboratorio y para cerciorarse de que la soldadura se encuentra en perfecto estado, se realizan unas radiografías para observar los posibles defectos de la costura.

3. Ensayos de tracción transversales: Consiste en extraer dos probetas axialmente opuestas a la tubería y con ellas realizar un ensayo de tracción tradicional. A partir de esta prueba se puede obtener a la curva de tensión-deformación de la probeta y, a partir de ella, el límite elástico del material.

Haciendo una comparativa entre los resultados obtenidos en los ensayos y los expuestos en las tablas de los aceros, se llega a la siguiente conclusión:

- A106 Gr B:

Tabla: $R_m = 425 \text{ MPa}$



Probeta 1: $R_m = 494$ MPa

Probeta 2: $R_m = 501$ MPa

- X60:

Tabla: $R_m = 520-665$ MPa

Probeta 1: $R_m = 609$ MPa

Probeta 2: $R_m = 624$ MPa

Por lo que se llega a la conclusión de que el límite elástico del material de la soldadura es superior al mínimo exigido.

4. Ensayos de fractura Nick-Break: Este ensayo de rotura es similar a un ensayo Charpy. Se realiza una rotura por golpeo y se buscan posibles defectos en el material como poros o laminaciones. Además deja entrever la plasticidad del material ante la rotura observando que la superficie es rugosa y no lisa y brillante.

5. Ensayos de doblado transversales: Se obtienen a partir de cuatro probetas. Consiste en el doblado de dichas probetas un ángulo de 180° con una curvadora estandarizada de 60mm de diámetro. A partir de este ensayo se buscan defectos superficiales del material como slattering o grietas.

3.3.2 Radiografías

Las especificaciones del cliente para el que se realiza esta factoría establece que, para instalaciones concentradas o para terminales de oleoducto, es requisito imprescindible realizar inspecciones visuales por radiografiado del 100% de todas las tuberías de producto que trabajen fuera de la presión atmosférica. Por lo que el 90% de las uniones soldadas han de ser radiografiadas. Los criterios de calificación de estas uniones soldadas se harán de acuerdo a lo explicado en el punto 2.2.1 del presente proyecto.



3.3.3 Proceso de embridado de uniones atornilladas

Una unión embridada es toda aquella fijación que se dará mediante dos bridas, atornilladas mediante los pernos correspondientes, todo según las especificaciones de bridas descritas en el código ASME. A continuación se describe el procedimiento de embridado según la **Instrucción Técnica de CLH**:

La Instrucción Técnica de CLH es aplicable a todas las instalaciones de oleoductos con bridas según ASME B16.5, Raised Face (RF), de diámetro nominal hasta 24” y ANSI Class Rating hasta 1500.

Una excepción es hecha para todas aquellas uniones embridadas de una instalación que hayan sido sometidas a prueba de presión previamente. En este caso, sólo se aplicará la totalidad de la norma de CLH a las uniones embridadas situadas en los extremos del circuito probado hidráulicamente. Para el resto de uniones embridadas que hayan sido probadas durante la prueba de presión, se seguirá lo indicado en esta norma pero no será necesario aplicar un control y aseguramiento de calidad.

Las Tablas 5 y 6 especifican la cantidad, las dimensiones y la designación básica de la rosca de los espárragos y tuercas a utilizar en el sistema unificado y las Tablas 7 y 8 en el sistema métrico.

El material de los espárragos deberá ser ASTM A 193 Gr. B7 y el de las tuercas ASTM A 194 Gr. 2H.

Los espárragos y tuercas a utilizarse deberán ser en lo posible nuevos o haberse empleado como máximo en 2 ocasiones.

La junta deberá corresponder con el tamaño y ANSI Class Rating de la unión y tener las siguientes características adicionales:

- Fabricación según ASME B16.20.
- Material del espiral: Acero Inoxidable 304 o superior.
- Material de relleno: Grafito flexible (F.G.).



- Anillo de centrado en acero al carbón.
- Anillo interior del mismo material que el espiral.

La junta de acero inoxidable 304 se identifica con una pintura de color amarillo en el borde del anillo de centrado y el material de relleno F.G. con rayas grises ubicadas a intervalos regulares en el borde del anillo de centrado.

La junta debe ser nueva, libre de defectos y sin corrosión. No se podrán reutilizar juntas usadas previamente.

Para el apriete, se deberán utilizar herramientas dinamométricas manuales o hidráulicas para espárragos de 27 mm (1”) e inferiores y herramientas dinamométricas hidráulicas para espárragos de diámetro superior a 27 mm (1”) así como para el montaje de bridas de conexión con bombas, válvulas de alivio y válvulas de control. Los equipos a utilizar deberán tener documento de calibración en banco certificado, con fecha de expedición inferior a un año.

Si se utilizan herramientas de aplicación de tensión, el espárrago deberá sobresalir de la tuerca 1.5 veces su diámetro en el lado donde se aplicará la carga.

Los pasos a seguir serán los siguientes:

Preparación:

a) Inspeccionar visualmente los materiales descritos anteriormente. Comprobar que cumplen las características indicadas y que se encuentran libres de daño mecánico (ej.: muecas, mellas, ralladuras, etc.) y corrosión. Los elementos defectuosos deberán ser sustituidos.

b) Verificar que el equipo a utilizar cumple con las características descritas.

c) Limpiar e inspeccionar visualmente las caras de las bridas. Estas deben encontrarse libres de imperfecciones tales como rasguños, muecas y corrosión. El tamaño máximo de la proyección radial (Ver Figura 78) de las imperfecciones en las superficies de contacto de las bridas se incluye en la Tabla 9. Bridas que presenten imperfecciones por encima de este valor deberán ser reemplazadas.



d) Verificar el alineamiento de la brida.

- La tolerancia respecto al plano de alineamiento, medida a través de cualquier diámetro es de 1 mm por cada 200 mm medida desde el plano de referencia. Esto aplica individualmente para cada brida medida desde el plano de referencia. Ver Figura 79.

- La tolerancia respecto al plano de alineamiento de bridas de conexión con bombas y equipo crítico (Válvulas de control, Alivio, etc.) es de 0.5 mm por cada 200 mm, salvo que se indique una menor por parte del fabricante.

- Los taladros de las bridas deben ser concéntricos con un desfase inferior a 1.5 mm para tortillería métrica y de 3 mm para tortillería en pulgadas. Ver Figura 80. Esta tolerancia se reduce a la mitad para las bridas de conexión con bombas y equipo crítico (Válvulas de control, Alivio, etc.), salvo que se indique una menor por parte del fabricante.

- La desalineación entre bridas debe corregirse. Ejemplos: Aumentando la excavación, desacoplando otras conexiones en la estructura, cortando y reemplazando la brida, etc.

Montaje.

a) Alinear las bridas utilizando al menos 2 punteros de alineación. Si el eje de la unión embridada es horizontal, ubicarlos en la mitad inferior de las bridas. Ver Figura 81.

b) Lubricar la rosca de los espárragos y la rosca y superficie de contacto de las tuercas a las que se les aplicará el par de apriete. Utilizar una grasa lubricante de las especificadas en la Tabla 10. Se recomienda la opción del lubricante a base de Bisulfuro de Molibdeno.

c) Instalar la junta de tal manera que sea concéntrica con el diámetro interno de la brida. Ninguna parte de la junta debe sobresalir por la zona de flujo de la brida. Ver Figura 81.

Si el eje de la unión embridada es horizontal, instalar primero los espárragos de la mitad inferior para ayudar a centrar la junta.



d) Se deben instalar los espárragos y apretar las tuercas con la mano, asegurando que los espárragos pasan completamente a través de las tuercas. Centrar los espárragos entre las tuercas dejando igual número de hilos por fuera de las tuercas a cada lado, salvo que se vaya a utilizar un equipo de aplicación de tensión.

e) Numerar los espárragos siguiendo el patrón que se muestra en la Figura 82.

f) Utilizando llaves manuales apretar 4 u 8 espárragos igualmente espaciados hasta que no exista espacio visible entre las bridas y la junta. No sobrepasar el 20% del valor del par establecido en la Tabla 10 si se usan espárragos del sistema unificado o en la Tabla 11 si se usan espárragos del sistema métrico.

Si el espacio visible no puede ser eliminado, las bridas se encuentran desalineadas.

g) Medir en cuatro puntos diferentes separados 90° la distancia entre las caras de las bridas alrededor de la circunferencia utilizando un calibre o pie de rey. Cuando estas cuatro lecturas sean aproximadamente iguales y no existan diferencias mayores de 2 mm entre ellas se considera que las bridas están enfrentadas y alineadas. Para la aplicación del par de apriete a partir de este momento solo se podrán usar herramientas dinamométricas o de aplicación de tensión.

h) Apretar las tuercas siguiendo la secuencia de la numeración (diametralmente opuesta), aplicando un par aproximadamente igual al 30% del par de apriete establecido en la Tabla 10 si se usan espárragos del sistema unificado o en la Tabla 11 si se usan espárragos del sistema métrico.

Cuando en la secuencia se encuentre alguno de los punteros de alineación, salte al siguiente número.

i) Retirar los punteros de alineación, instalar en su lugar los espárragos y las tuercas previamente lubricados y aplicar el par de apriete establecido en la sección h).

j) Apretar las tuercas siguiendo la secuencia de la numeración (diametralmente opuesta), aplicando un par aproximadamente igual al 60% del par de apriete establecido en la Tabla 10 si se usan espárragos del sistema unificado o en la Tabla 11 si se usan espárragos del sistema métrico.



k) Apretar las tuercas siguiendo la secuencia de la numeración (diametralmente opuesta), aplicando un par igual al 100% del par de apriete establecido en la Tabla 10 si se usan espárragos del sistema unificado o en la Tabla 11 si se usan espárragos del sistema métrico.

l) Verificar el par de apriete de cada tuerca al 100% del valor del par final moviéndose circunferencialmente alrededor de la brida en el sentido horario. Realizar una o más rondas hasta verificar que todas las tuercas están apretadas por igual.

m) Poner en marcha el sistema y aplicar presión lo más lentamente posible, controlando visualmente que no existan fugas.

En caso de que se presenten fugas, despresurizar y aislar si es posible el tramo o accesorio intervenido por medio de válvulas aguas arriba y aguas abajo. Verificar, según las tablas, que el par de apriete aplicado en los espárragos sea el indicado para el diámetro que éstos tengan y el tipo de lubricante que se esté usando.

Si la fuga no puede ser controlada:

- Despresurizar el sistema y drenar si es necesario.
- Retirar los espárragos y la junta espiro-metálica.
- Revisar las superficies de las bridas y el estado de la junta.
- Reemplazar la junta.
- Repetir el procedimiento de instalación.

n) Repetir la secuencia de la sección l) después de 4 horas, despresurizando el sistema previamente.

La aplicación del Par de Apriete se debe terminar en el mismo día en que se comenzó.



Tabla 1 – Espárragos para Bridas ANSI Class 150, 300 y 400 – Sistema Unificado

Brida RF Diámetro NPS (pulg)	ANSI CLASS RATING											
	# 150				# 300				# 400			
	Cant	Espárrago	L (pulg)	Tuerca ¹	Cant	Espárrago	L (pulg)	Tuerca ¹	Cant	Espárrago	L (pulg)	Tuerca ¹
1/2	4	1/2 - 13 UNC 2A	2,25	7/8	4	1/2 - 13 UNC 2A	2,50	7/8				
3/4	4	1/2 - 13 UNC 2A	2,50	7/8	4	5/8 - 11 UNC 2A	3,00	1 1/16				
1	4	1/2 - 13 UNC 2A	2,50	7/8	4	5/8 - 11 UNC 2A	3,00	1 1/16				
1 1/4	4	1/2 - 13 UNC 2A	2,75	7/8	4	5/8 - 11 UNC 2A	3,25	1 1/16				
1 1/2	4	1/2 - 13 UNC 2A	2,75	7/8	4	3/4 - 10 UNC 2A	3,50	1 1/4				
2	4	5/8 - 11 UNC 2A	3,25	1 1/16	8	5/8 - 11 UNC 2A	3,50	1 1/16				
2 1/2	4	5/8 - 11 UNC 2A	3,50	1 1/16	8	3/4 - 10 UNC 2A	4,00	1 1/4				
3	4	5/8 - 11 UNC 2A	3,50	1 1/16	8	3/4 - 10 UNC 2A	4,25	1 1/4				
3 1/2	8	5/8 - 11 UNC 2A	3,50	1 1/16	8	3/4 - 10 UNC 2A	4,25	1 1/4				
4	8	5/8 - 11 UNC 2A	3,50	1 1/16	8	3/4 - 10 UNC 2A	4,50	1 1/4	8	7/8 - 9 UNC 2A	5,50	1 7/16
5	8	3/4 - 10 UNC 2A	3,75	1 1/4	8	3/4 - 10 UNC 2A	4,75	1 1/4	8	7/8 - 9 UNC 2A	5,75	1 7/16
6	8	3/4 - 10 UNC 2A	4,00	1 1/4	12	3/4 - 10 UNC 2A	4,75	1 1/4	12	7/8 - 9 UNC 2A	6,00	1 7/16
8	8	3/4 - 10 UNC 2A	4,25	1 1/4	12	7/8 - 9 UNC 2A	5,50	1 7/16	12	1 - 8 UNC 2A	6,75	1 5/8
10	12	7/8 - 9 UNC 2A	4,50	1 7/16	16	1 - 8 UNC 2A	6,25	1 5/8	16	1 1/8 - 8 N 2A	7,50	1 13/16
12	12	7/8 - 9 UNC 2A	4,75	1 7/16	16	1 1/8 - 8 N 2A	6,75	1 13/16	16	1 1/4 - 8 N 2A	8,00	2
14	12	1 - 8 UNC 2A	5,25	1 5/8	20	1 1/8 - 8 N 2A	7,00	1 13/16	20	1 1/4 - 8 N 2A	8,25	2
16	16	1 - 8 UNC 2A	5,25	1 5/8	20	1 1/4 - 8 N 2A	7,50	2	20	1 3/8 - 8 N 2A	8,75	2 3/16
18	16	1 1/8 - 8 N 2A	5,75	1 13/16	24	1 1/4 - 8 N 2A	7,75	2	24	1 3/8 - 8 N 2A	9,00	2 3/16
20	20	1 1/8 - 8 N 2A	6,25	1 13/16	24	1 1/4 - 8 N 2A	8,00	2	24	1 1/2 - 8 N 2A	9,50	2 3/8
24	20	1 1/4 - 8 N 2A	6,75	1 13/16	24	1 1/2 - 8 N 2A	9,00	2 3/8	24	1 3/4 - 8 N 2A	10,50	2 3/4

Usar dimensiones de la Clase 600 en estos tamaños

¹ Ancho entre caras en pulgadas / Dimensión de la copa o llave

Tabla 5. Número y tipo de espárragos a en bridas RF de 150#, 300# y 400# (sistema unificado)



Brida RF	ANSI CLASS RATING													
	# 600				# 900				# 1500					
	Díámetro	NPS (pulg)	Cant	Espárrago	L (pulg)	Tuerca ¹	Cant	Espárrago	L (pulg)	Tuerca ¹	Cant	Espárrago	L (pulg)	Tuerca ¹
1/2	4	1/2 - 13 UNC 2A	3,00	7/8			4	3/4 - 10 UNC 2A	4,25	1 1/4	4	3/4 - 10 UNC 2A	4,25	1 1/4
3/4	4	5/8 - 11 UNC 2A	3,50	1 1/16			4	3/4 - 10 UNC 2A	4,50	1 1/4	4	3/4 - 10 UNC 2A	4,50	1 1/4
1	4	5/8 - 11 UNC 2A	3,50	1 1/16			4	7/8 - 9 UNC 2A	5,00	1 7/16	4	7/8 - 9 UNC 2A	5,00	1 7/16
1 1/4	4	5/8 - 11 UNC 2A	3,75	1 1/16			4	7/8 - 9 UNC 2A	5,00	1 7/16	4	7/8 - 9 UNC 2A	5,00	1 7/16
1 1/2	4	3/4 - 10 UNC 2A	4,25	1 1/4			4	1 - 8 UNC 2A	5,50	1 5/8	4	1 - 8 UNC 2A	5,50	1 5/8
2	8	5/8 - 11 UNC 2A	4,25	1 1/16			8	7/8 - 9 UNC 2A	5,75	1 7/16	8	7/8 - 9 UNC 2A	5,75	1 7/16
2 1/2	8	3/4 - 10 UNC 2A	4,75	1 1/4			8	1 - 8 UNC 2A	6,25	1 5/8	8	1 - 8 UNC 2A	6,25	1 5/8
3	8	3/4 - 10 UNC 2A	5,00	1 1/4			8	7/8 - 9 UNC 2A	5,75	1 7/16	8	1 1/8 - 8 N 2A	7,00	1 13/16
3 1/2	8	7/8 - 9 UNC 2A	5,50	1 7/16			8	1 1/8 - 8 N 2A	6,75	1 13/16	8	1 1/4 - 8 N 2A	7,75	2
4	8	7/8 - 9 UNC 2A	5,75	1 7/16			8	1 1/4 - 8 N 2A	7,50	2	8	1 1/2 - 8 N 2A	9,75	2 3/8
5	8	1 - 8 UNC 2A	6,50	1 5/8			12	1 1/8 - 8 N 2A	7,50	1 13/16	12	1 3/8 - 8 N 2A	10,25	2 3/16
6	12	1 - 8 UNC 2A	6,75	1 5/8			12	1 3/8 - 8 N 2A	8,75	2 3/16	12	1 5/8 - 8 N 2A	11,50	2 9/16
8	12	1 1/8 - 8 N 2A	7,50	1 13/16			16	1 3/8 - 8 N 2A	9,25	2 3/16	16	1 7/8 - 8 N 2A	13,25	2 15/16
10	16	1 1/4 - 8 N 2A	8,50	2			20	1 1/2 - 8 N 2A	10,00	2 3/8	16	2 - 8 N 2A	14,75	3 1/8
12	20	1 1/4 - 8 N 2A	8,75	2			20	1 1/2 - 8 N 2A	10,75	2 3/8	16	2 1/4 - 8 N 2A	16,00	3 1/2
14	20	1 3/8 - 8 N 2A	9,25	2 3/16			20	1 5/8 - 8 N 2A	11,25	2 9/16	16	2 1/2 - 8 N 2A	17,50	3 7/8
16	20	1 1/2 - 8 N 2A	10,00	2 3/8			20	1 7/8 - 8 N 2A	12,75	2 15/16	16	2 3/4 - 8 N 2A	19,50	4 1/4
18	20	1 5/8 - 8 N 2A	10,75	2 9/16			20	2 - 8 N 2A	13,75	3 1/8	16	3 - 8 N 2A	21,25	4 5/8
20	24	1 5/8 - 8 N 2A	11,25	2 9/16			20	2 1/2 - 8 N 2A	17,25	3 7/8	16	3 1/2 - 8 N 2A	24,25	5 3/8
24	24	1 7/8 - 8 N 2A	13,00	2 15/16										

Usar dimensiones de la Clase 1500 en estos tamaños

¹ Ancho entre caras en pulgadas / Dimensión de la copa o llave

Tabla 2 – Espárragos para Bridas ANSI Class 600, 900 y 1500 – Sistema Unificado

Tabla 6. Número y tipo de espárragos a en bridas RF de 600#, 900# y 1500# (sistema unificado)



Brida RF	ANSI CLASS RATING											
	# 150				# 300				# 400			
Diámetro NPS (pulg)	Cant	Espárrago	L (mm)	Tuerca ²	Cant	Espárrago	L (mm)	Tuerca ²	Cant	Espárrago	L (mm)	Tuerca ²
1/2	4	M14 - 2.6g	55	24	4	M14 - 2.6g	65	24				
3/4	4	M14 - 2.6g	65	24	4	M16 - 2.6g	75	27				
1	4	M14 - 2.6g	65	24	4	M16 - 2.6g	75	27				
1 1/4	4	M14 - 2.6g	70	24	4	M16 - 2.6g	85	27				
1 1/2	4	M14 - 2.6g	70	24	4	M20 - 2.5.6g	90	34				
									Usar dimensiones de la Clase 600 en estos tamaños			
2	4	M16 - 2.6g	85	27	8	M16 - 2.6g	90	27				
2 1/2	4	M16 - 2.6g	90	27	8	M20 - 2.5.6g	100	34				
3	4	M16 - 2.6g	90	27	8	M20 - 2.5.6g	110	34				
3 1/2	8	M16 - 2.6g	90	27	8	M20 - 2.5.6g	110	34				
4	8	M16 - 2.6g	90	27	8	M20 - 2.5.6g	115	34	8	M24 - 3.6g	140	41
5	8	M20 - 2.5.6g	95	34	8	M20 - 2.5.6g	120	34	8	M24 - 3.6g	145	41
6	8	M20 - 2.5.6g	100	34	12	M20 - 2.5.6g	120	34	12	M24 - 3.6g	150	41
8	8	M20 - 2.5.6g	110	34	12	M24 - 3.6g	140	41	12	M27 - 3.6g	170	46
10	12	M24 - 3.6g	115	41	16	M27 - 3.6g	160	46	16	M30 - 3.6g	190	50
12	12	M24 - 3.6g	120	41	16	M30 - 3.6g	170	50	16	M33 - 3.6g	205	55
14	12	M27 - 3.6g	135	46	20	M30 - 3.6g	180	50	20	M33 - 3.6g	210	55
16	16	M27 - 3.6g	135	46	20	M33 - 3.6g	190	55	20	M36 - 3.6g	220	60
18	16	M30 - 3.6g	145	50	24	M33 - 3.6g	195	55	24	M36 - 3.6g	230	60
20	20	M30 - 3.6g	160	50	24	M33 - 3.6g	205	55	24	M39 - 3.6g	240	65
24	20	M33 - 3.6g	170	50	24	M39 - 3.6g	230	65	24	M45 - 3.6g	265	75

² Ancho entre caras en milímetros / Dimensión de la copa o llave

Tabla 3 – Espárragos para Bridas ANSI Class 150, 300 y 400 – Sistema Métrico

Tabla 7. Número y tipo de espárragos a en bridas RF de 150#, 300# y 400# (sistema métrico)



Brida RF	ANSI CLASS RATING											
	# 600				# 900				# 1500			
Diámetro NPS (pulg)	Cant	Espárrago	L (mm)	Tuerca ²	Cant	Espárrago	L (mm)	Tuerca ²	Cant	Espárrago	L (mm)	Tuerca ²
1/2	4	M14 - 2.6g	75	24					4	M20 - 2.5.6g	110	34
3/4	4	M16 - 2.6g	90	27					4	M20 - 2.5.6g	115	34
1	4	M16 - 2.6g	90	27					4	M24 - 3.6g	125	41
1 1/4	4	M16 - 2.6g	95	27	Usar dimensiones de la Clase 1500 en estos tamaños							
1 1/2	4	M20 - 2.5.6g	110	34					4	M27 - 3.6g	140	46
2	8	M16 - 2.6g	110	27					8	M24 - 3.6g	145	41
2 1/2	8	M20 - 2.5.6g	120	34					8	M27 - 3.6g	160	46
3	8	M20 - 2.5.6g	125	34	8	M24 - 3.6g	145	41	8	M30 - 3.6g	180	50
3 1/2	8	M24 - 3.6g	140	41								
4	8	M24 - 3.6g	145	41	8	M30 - 3.6g	170	50	8	M33 - 3.6g	195	55
5	8	M27 - 3.6g	165	46	8	M33 - 3.6g	190	55	8	M39 - 3.6g	250	65
6	12	M27 - 3.6g	170	46	12	M30 - 3.6g	190	50	12	M36 - 3.6g	260	60
8	12	M30 - 3.6g	190	50	12	M36 - 3.6g	220	60	12	M42 - 3.6g	290	70
10	16	M33 - 3.6g	215	55	16	M36 - 3.6g	235	60	12	M48 - 3.6g	335	80
12	20	M33 - 3.6g	220	55	20	M36 - 3.6g	255	60	16	M52 - 3.6g	375	85
14	20	M36 - 3.6g	235	60	20	M39 - 3.6g	275	65	16	M56 - 3.6g	405	90
16	20	M39 - 3.6g	255	65	20	M42 - 3.6g	285	70	16	M64 - 3.6g	445	100
18	20	M42 - 3.6g	275	70	20	M48 - 3.6g	325	80	16	M70 - 3.6g	495	105
20	24	M42 - 3.6g	285	70	20	M52 - 3.6g	350	85	16	M76 - 3.6g	540	115
24	24	M48 - 3.6g	330	80	20	M64 - 3.6g	440	100	16	M90 - 3.6g	615	135

² Ancho entre caras en milímetros / Dimensión de la copa o llave

Tabla 4 – Espárragos para Bridas ANSI Class 600, 900 y 1500 – Sistema Métrico

Tabla 8. Número y tipo de espárragos a en bridas RF de 150#, 300# y 400# (sistema métrico)



Tamaño nominal de la Brida NPS	Proyección radial máxima de imperfecciones que NO sean más profundas que el labrado de la superficie de contacto, mm	Proyección radial máxima de imperfecciones que sean más profundas que el labrado de la superficie de contacto, mm
½	3.0	1.5
¾	3.0	1.5
1	3.0	1.5
1 ¼	3.0	1.5
1 ½	3.0	1.5
2	3.0	1.5
2 ½	3.0	1.5
3	4.5	1.5
3 ½	6.0	3.0
4	6.0	3.0
5	6.0	3.0
6	6.0	3.0
8	8.0	4.5
10	8.0	4.5
12	8.0	4.5
14	8.0	4.5



16	10.0	4.5
18	12.0	6.0
20	12.0	6.0
24	12.0	6.0

Tabla 9 Criterio para la evaluación de defectos en las caras de las bridas.

FIGURAS

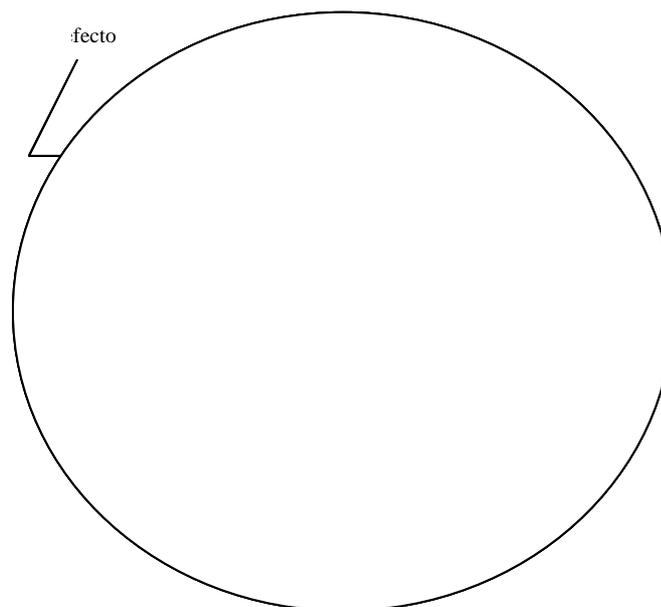


Figura 78. Proyección radial de defectos en la superficie de contacto de las bridas.

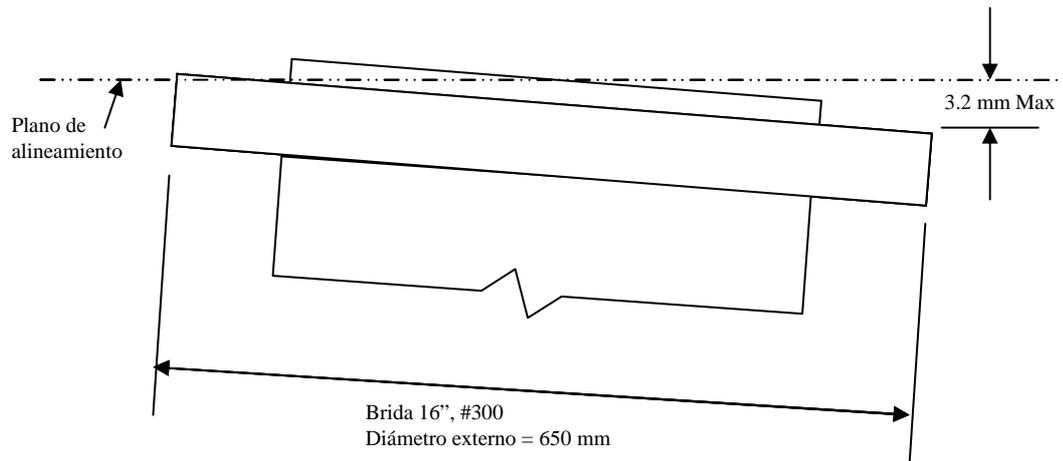


Figura 79. Ejemplo: Tolerancia con el plano de alineamiento de una brida 16” #300.

Para la medición de esta tolerancia deberá utilizarse una escuadra apoyada sobre el lado interno de la cara de sellado de la brida ubicando el lado complementario en sentido paralelo a la tubería de referencia. La longitud total que ocupa la cara de la brida, se identifica en la escala métrica de la escuadra y se traslada al lado opuesto de misma. Ver Figura 3.

La diferencia (a – b) tomada desde los puntos de inicio y final de la longitud trasladada hacia la tubería, corresponde al alineamiento real de la brida respecto a su eje de simetría. Lo anterior aplica para un plano vertical, horizontal o girado a cualquier inclinación.

Para la medición del el caso de tolerancias entre dos caras de bridas opuestas, la medición se hace directa entre las caras.

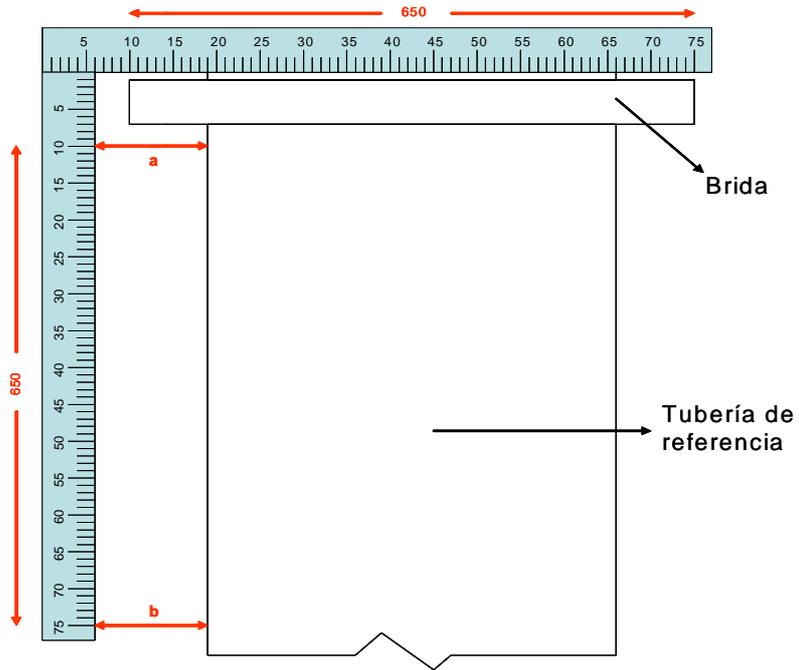


Figura 80. Ejemplo: Medición alineamiento.

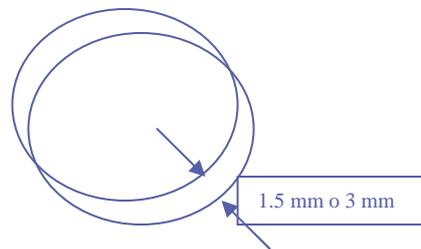
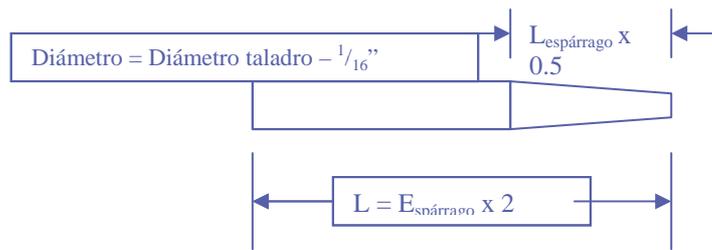


Figura 81. Alineamiento. Tolerancia entre taladros



Material: SAE 1144 Stress Prof o SAE 4140



Junta

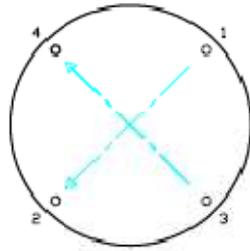
Punteros instalados

Figura 82. Punteros de alineación.

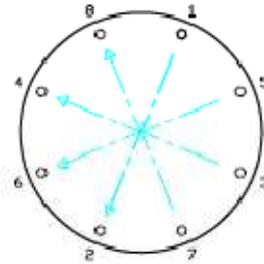


NUMERACION Y SECUENCIA DEL PAR DE APRIETE

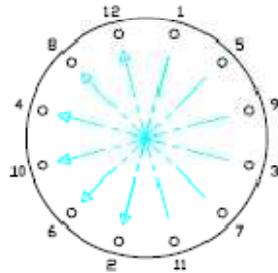
4 TORNILLOS



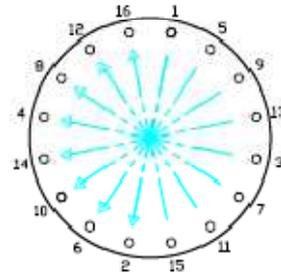
8 TORNILLOS



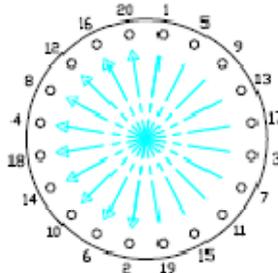
12 TORNILLOS



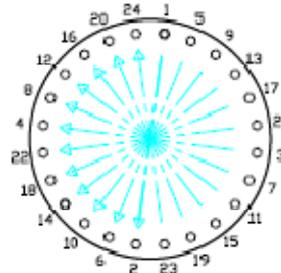
16 TORNILLOS



20 TORNILLOS



24 TORNILLOS



METODO 324 (ASME)

Figura 83 Secuencia de apriete de tornillos



Sistema Unificado (US)		Par de Apriete							
		Lubricante Molibdeno ¹		Lubricante Grafito ²		Lubricante Cobre ³		Sin Lubricante ⁴	
f =		0,07		0,09		0,11		0,16	
Tamaño del espárrago, designación básica de la rosca	Diámetro espárrago pulgadas	Par		Par		Par		Par	
		pie-lb	Kg·m	pie-lb	Kg·m	pie-lb	Kg·m	pie-lb	Kg·m
1/2-13 UNC 2A	1/2	30	4	40	6	50	7	60	8
5/8-11 UNC 2A	5/8	60	8	80	11	90	12	120	17
3/4-10 UNC 2A	3/4	110	15	130	18	150	21	210	29
7/8-9 UNC 2A	7/8	170	24	200	28	240	33	340	47
1 - 8 UNC 2A	1	250	35	300	41	360	50	500	69
1 1/8 - 8 N 2A	1 1/8	360	50	440	61	520	72	730	101
1 1/4 - 8 N 2A	1 1/4	490	68	610	84	730	101	1.050	145
1 3/8 - 8 N 2A	1 3/8	660	91	820	113	1.000	138	1.400	194
1 1/2 - 8 N 2A	1 1/2	870	120	1.100	152	1.300	180	1.850	256
1 5/8 - 8 N 2A	1 5/8	1.150	159	1.400	194	1.700	235	2.350	325
1 3/4 - 8 N 2A	1 3/4	1.400	194	1.750	242	2.100	290	3.000	415
1 7/8 - 8 N 2A	1 7/8	1.750	242	2.200	304	2.600	359	3.700	512
2 - 8 N 2A	2	2.100	290	2.650	366	3.200	442	4.500	622
2 1/4 - 8 N 2A	2 1/4	3.000	415	3.800	525	4.600	636	6.500	899
2 1/2 - 8 N 2A	2 1/2	4.150	574	5.250	726	6.300	871	9.000	1.244
2 3/4 - 8 N 2A	2 3/4	5.550	767	7.000	968	8.450	1.168	12.100	1.673
3 - 8 N 2A	3	7.250	1.002	9.200	1.272	11.100	1.535	15.800	2.184
3 1/2 - 8 N 2A	3 1/2	11.600	1.604	14.600	2.019	17.700	2.447	25.400	3.512
¹ LOCTITE Moly Paste, nut Factor K =			0,11						
² LOCTITE Graphite 50, nut Factor K =			0,13						
³ LOCTITE C5-A Cooper, nut Factor K =			0,16						
⁴ Se incluye como referencia únicamente. Se deberá utilizar un tipo de lubricante de los indicados en la tabla.									
Valores obtenidos en tornillos de 1/2"									
1 pie·lb = 1,355818 N·m									
1 N · m = 0,101972 kg·m									

Tabla 10. Par de Apriete. Sistema unificado.



Sistema Internacional de Unidades SI		Par de Apriete							
		Lubricante Molibdeno ¹		Lubricante Grafito ²		Lubricante Cobre ³		Sin Lubricante ⁴	
f =		0,07		0,09		0,11		0,16	
Tamaño del espárrago, designación básica de la rosca	Diámetro espárrago mm	Par		Par		Par		Par	
		N·m	Kg·m	N·m	Kg·m	N·m	Kg·m	N·m	Kg·m
M14-2 6g	14	60	6	70	7	80	8	110	11
M16-2 6g	16	90	9	110	11	130	13	180	18
M20-2.5 6g	20	170	17	200	20	240	24	340	35
M24-3 6g	24	280	29	350	36	410	42	570	58
M27-3 6g	27	410	42	500	51	600	61	840	86
M30-3 6g	30	570	58	700	71	840	86	1.200	122
M33-3 6g	33	760	77	950	97	1.150	117	1.600	163
M36-3 6g	36	1.000	102	1.250	127	1.500	153	2.150	219
M39-3 6g	39	1.300	133	1.650	168	1.950	199	2.750	280
M42-3 6g	42	1.650	168	2.050	209	2.450	250	3.450	352
M45-3 6g	45	2.000	204	2.550	260	3.050	311	4.300	438
M48-3 6g	48	2.450	250	3.100	316	3.700	377	5.250	535
M52-3 6g	52	3.100	316	3.900	398	4.700	479	6.700	683
M56-3 6g	56	3.900	398	4.950	505	5.950	607	8.450	862
M64-3 6g	64	5.800	591	7.300	744	8.850	902	12.600	1.285
M70-3 6g	70	7.550	770	9.500	969	11.500	1.173	16.500	1.683
M76-3 6g	76	9.700	989	12.300	1.254	14.900	1.519	21.300	2.172
M90-3 6g	90	16.100	1.642	20.400	2.080	24.800	2.529	35.600	3.630
¹ LOCTITE Moly Paste, nut Factor K =			0,11						
² LOCTITE Graphite 50, nut Factor K =			0,13						
³ LOCTITE C5-A Cooper, nut Factor K =			0,16						
⁴ Se incluye como referencia únicamente. Se deberá utilizar un tipo de lubricante de los indicados en la tabla.									
Valores obtenidos en tornillos de 1/2"									
1 pie·lb = 1,355818 N·m									
1 N·m = 0,101972 kg·m									

Tabla 11. Par de Apriete. Sistema Métrico.



3.4 PROCESO, INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

3.4.1 Proceso

A continuación se expone el PID original del proyecto y el plano de montaje mecánico (Figuras 83 y 84 respectivamente):

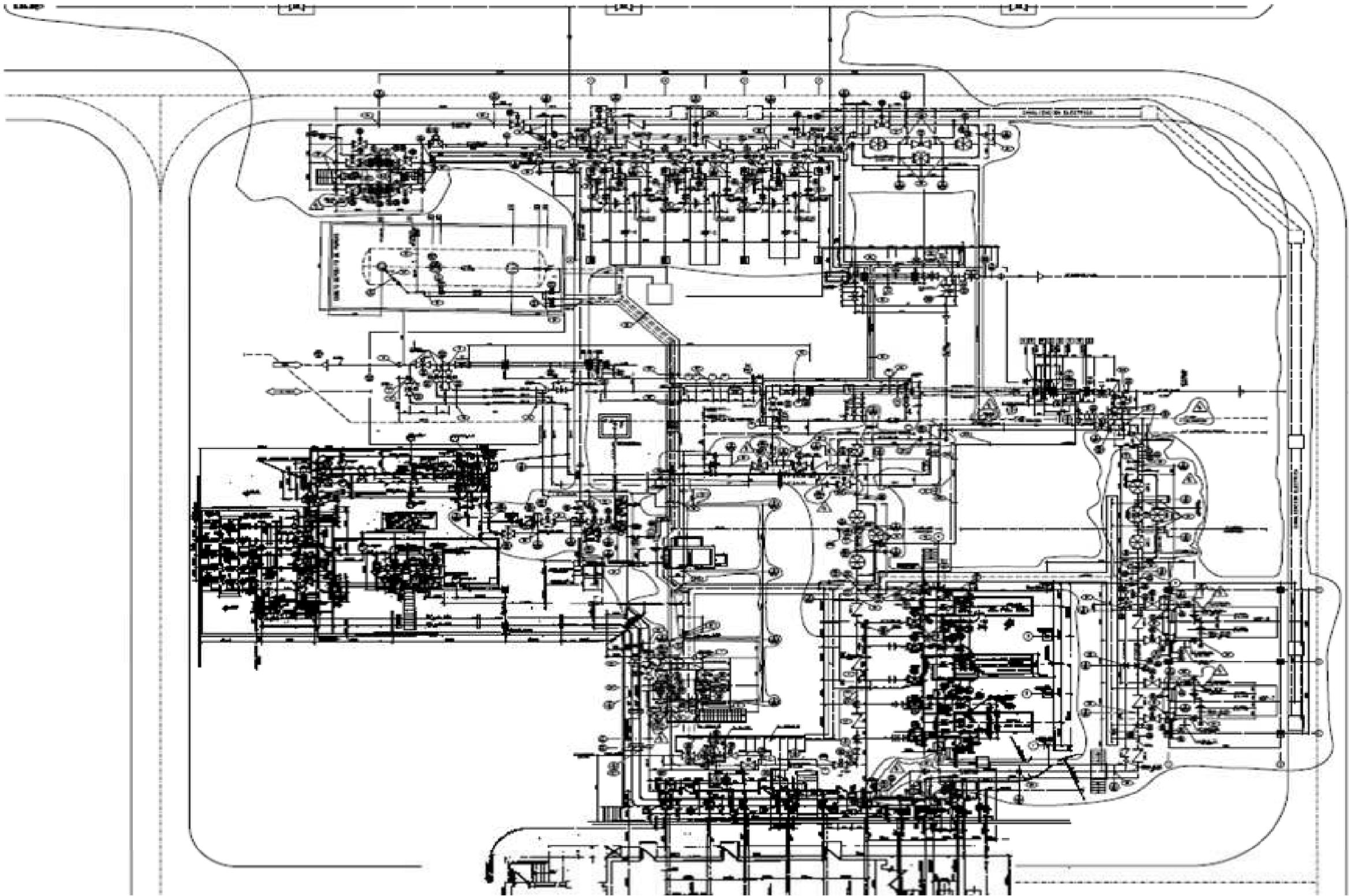


Fig. Figura 84. Plano de montaje mecánico sin reformas



A continuación se describirá el proceso de funcionamiento de la planta en la zona en la que se ha intervenido. Para ello voy a distinguir entre 3 zonas o impulsiones llamadas oleoducto A (OL_A), oleoducto B (OL_B) y Oleoducto C (OL_C).

Como introducción solo hay que decir que se está trabajando con una E.B de oleoducto en la que hay una presión de entrada más o menos constante y una presión de salida, mucho más variable que la presión de entrada en función de las necesidades del servicio y caudales que se quieran obtener aguas arriba de la E.B.

Todas las E.B pueden bombear a dos instalaciones distintas. A otra E.B donde el producto, tras varios kilómetros de recorrido y la consiguiente pérdida de carga, será “reimpulsado” aguas arriba. O bien, a una “Estación terminal de oleoducto”. Hay decenas de estas plantas a lo largo de toda España y su única finalidad es almacenar combustible y distribuirlo a camiones cisterna una vez aditivado.

A continuación se exponen dos diagramas anteriores a la reforma de planta antigua (Figuras 85 y 86):

En los dos primeros diagramas se representa el oleoducto A. En el primero se representan todas las válvulas de seguridad y en el segundo la instrumentación.

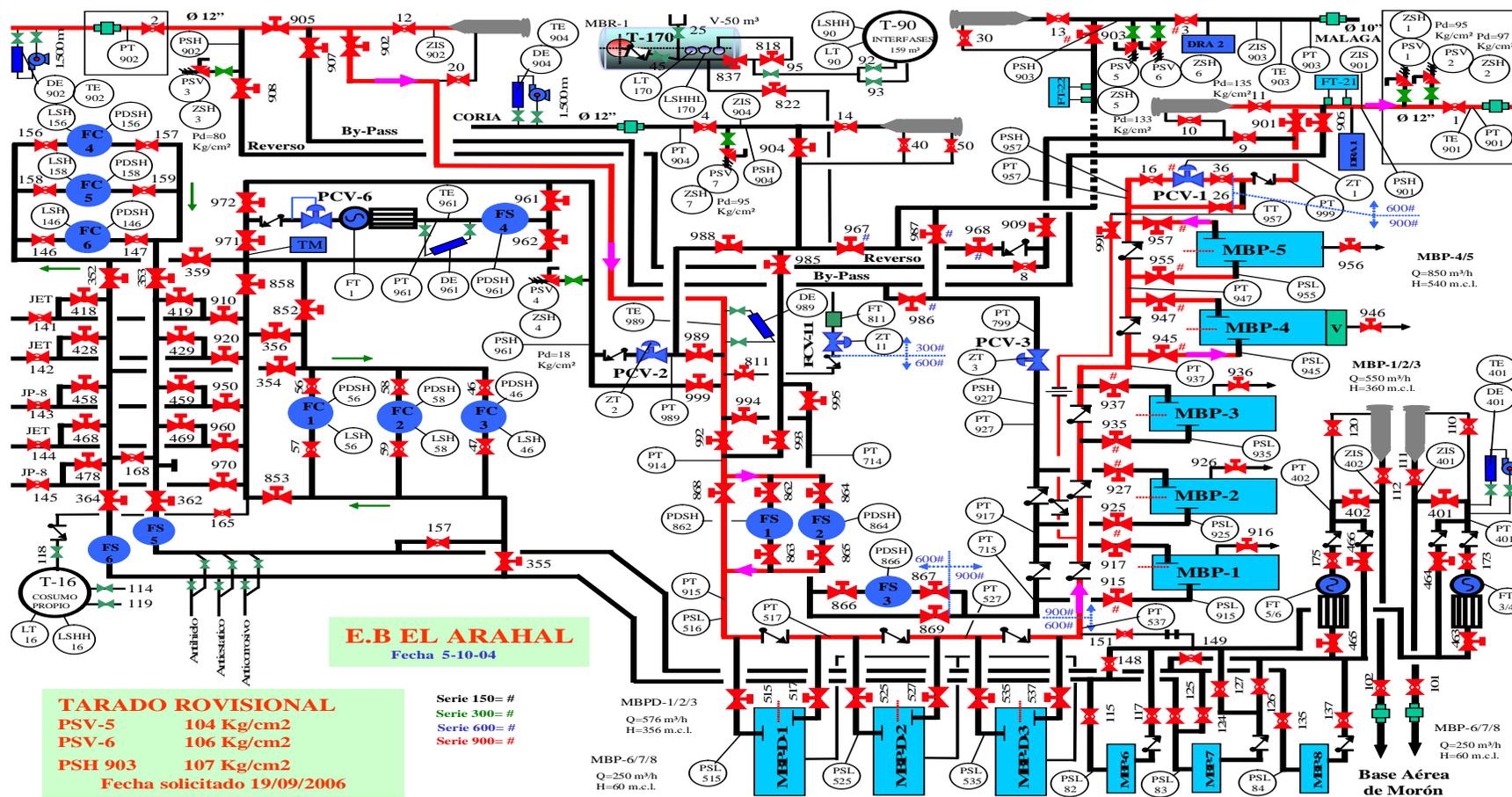
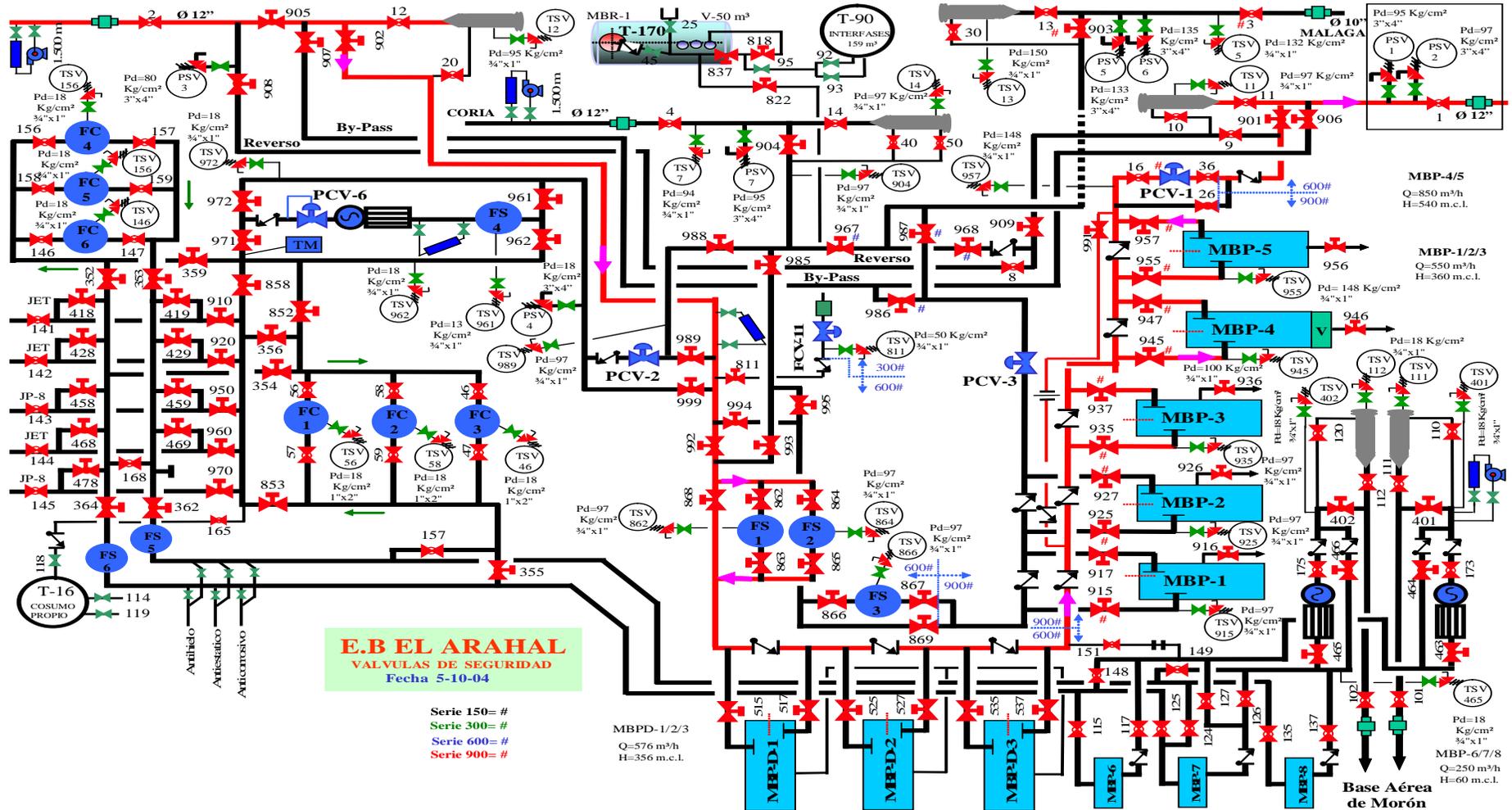


Figura 85. Sinóptico de proceso con instrumentación. Las flechas rosas indican la trayectoria del fluido







La secuencia del proceso es la siguiente:

a) **Llegada por el oleoducto.**

b) **Junta aislante:** Es una junta que secciona el tubo en dos partes, físicamente separadas, por un aislante. Estas juntas se encuentran en toda entrada y salida de las estaciones y pretenden aislar los tramos eléctricamente.

c) **Densímetro:** A la entrada de cualquier E.B de un oleoducto habrá presente un densímetro. En realidad hay 2, uno a 1500m aguas arriba de la instalación y otro a la llegada de la propia instalación. El fin es puramente contable. En un oleoducto son transportados envíos de carburante a distintas direcciones o estaciones de almacenamiento donde serán almacenados y distribuidos posteriormente en camiones cisterna a los distintos clientes. La cuestión es que solo existe una tubería y distintos productos que van a circular por ella GO A, B, C, GNA 95, GNA 98 y JET A1 básicamente. Como bien se sabe, la composición de estos productos es bien distinta. La forma de distribución es mediante paquetes de “X” m³, cuando el paquete finaliza viene a continuación otro pero entre ellos un paquete llamado “interfase” que no es más que una mezcla de los dos paquetes anteriores. Este interfase será recirculado a un tanque de contaminados (T-170) durante la fase de interfase, y será reinyectado en la línea (MOV-811) del propio tanque de purgas durante el envío del producto supuestamente limpio. La forma de detectar el cambio entre este u otro producto es mediante el densímetro e 1500 y el de estación. Por ejemplo, las bombas MBP-4 y 5 se encuentran bombeando GO-A y han de bombear 3000 m³ de este gasóleo, a continuación de este “paquete” se van a bombear 1500 m³ de GNA-95. Cuando se lleva bombeado 2900 m³ de GO-A aproximadamente, se detectará a 1500 metros de la instalación un cambio de densidad del primer densímetro. A esta distancia hay tiempo suficiente para que se abra la válvula motorizada que inyecta al tanque de purgas, justo en ese momento estaremos recirculando al tanque T-170 una mezcla de GO y GNA. Unos metros cúbicos después, se vuelve a detectar una densidad que identifica a la GNA a 1500 metros de la instalación, por lo que se da orden de reinyectar unos m³ de interfase desde el tanque de contaminados al paquete de gasolina puro restante disminuyendo sensiblemente su pureza con trazas de hidrocarburos más pesados. Esta reinyección se hace mediante un lazo cerrado con la válvula de control ZT-11 y un contador. Según esto cuanto más lejos



esté el destino del hidrocarburo de peor calidad será al pasar por un número mayor de estaciones. Podría decirse que cuanto más lejos se tenga la refinería más próxima, el hidrocarburo será de peor calidad.



Figura 87. Foto de densímetro de 1500

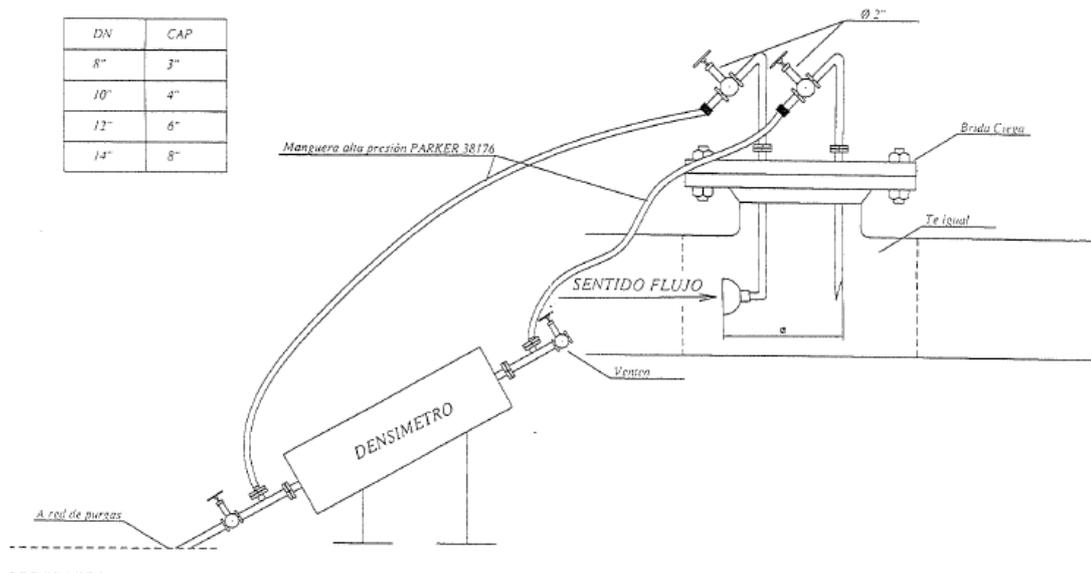


Figura 88. Esquema de montaje de densímetro de estación

d) Válvulas 2, 905 y 902: Si se mantuvieran en posición de apertura las válvulas 907 o 908 en vez de la 902 se pasaría a bypass del OL_A, sin pasar por bombas, o al circuito de reverso para dirigir el fluido en contraflujo. La válvula 20 da acceso a la “Trampa de rascadores” esta trampa sirve para sacar elementos rascadores de tubería y su mecanismo se explicará más adelante.

e) Válvulas motorizadas 862/863/864/865: Estas válvulas, cuyo estado es de normalmente abiertas, sirven para empaquetar los “Filtros cesta”. Estos filtros son de eje vertical y funcionan en paralelo. Los filtros cesta constan de unos manómetros diferenciales que comparan las presiones entre la entrada y la salida del filtro. Si la presión diferencial es suficientemente alta se dispara un contacto por “Alta presión diferencial (PDSH)”. Esta señal va dirigida a un armario de interfase, en sala de control, que distribuye la señal en varias partes, por un lado dispara la señal de alarma en el “sistema de monitoreo remoto” que controla la estación. Esto se refleja en los ordenadores de sala de control de planta y de la sala de control general dispuesta en el edificio central. Por otro lado se manda una señal al PLC que controla la planta y según que señal y por que canal le llegue provocará distintos enclavamientos. En el caso de recibir una señal de contacto del PDSH. El PLC mandará una señal de paro de bombas del oleoducto OL_A. Este enclavamiento lo llamamos “enclavamiento de tipo 2”.



Posteriormente explicaré más detalladamente el funcionamiento de este sistema Morbos mediante RTU.

f) Filtros cesta: Siguiendo el sentido de flujo y tras pasar los filtros cesta, pasamos por tres bombas diesel que no explicaré su funcionamiento al estar fuera de servicio en casi la totalidad de su vida útil. Entre las tres bombas se puede levantar 10 mca insuficientes para vencer la pérdida de carga y, lo que es más importante, la altura hidráulica que hay entre esta E.B y la siguiente.

g) Bombas: A continuación llegamos a la aspiración de la bomba MBP-3 (36 mca) MBP-4 (54 mca) con variador de frecuencia y la MBP-5 (54 mca). Tras las tres bombas se encuentra la válvula de control PCV-1. Las disposiciones típicas de una sala de bombas pueden ser: en paralelo, lo que supondrá una maximización del caudal que pueda circular y en serie, como en nuestro caso, lo que supondrá una maximización de la presión de salida. En este tipo de factorías la distancia entre estaciones, que provocará una pérdida de carga, junto a las diferencias de altura (desde el nivel del mar hasta la cima de la meseta central) implica una necesidad de minimizar la pérdida de carga todo lo que se pueda recurriendo a tuberías de grandes diámetros. En este caso, entre las tres bombas y suponiendo una presión de aspiración es de 10 kg/cm² en la aspiración de la bomba MBP-3, la presión de salida de la impulsión de la bomba MBP-5 podría ascender a 154 kg/cm², sin embargo, esto no es posible ya que la tubería, que se encuentra aguas abajo de estas bombas, es de 900# y de acero tipo X60 lo que permite una presión máxima de trabajo de 95 kg/cm². Entonces ¿Cómo se consigue una presión de salida tan baja? Hay dos formas, mediante el lazo de control de la válvula PCV o mediante el lazo de control que regula el variador de frecuencia y por tanto el régimen de giro de la bomba MBP-4.

h) Lazo de control PCV-1: Usando el lazo que regula la válvula de control PCV-1. Con las moto bombas MBP-4 y 5 en marcha, obtenemos una presión de salida de 108 kg/cm². Antes de poner en servicio estas bombas, es decir, con un caudal 0 m³/s, se da un punto de consigna desde el panel de control de 90 kg/cm². Esta señal es enviada a una tarjeta de marca Fisher, la cual toma el dato de la consigna, lee la señal que le llega del PT-937 y el dato de la presión del transmisor PT-999. En función de esta diferencia de presiones el procesador Fisher mandará una señal dando el rango de apertura de la válvula PCV-1. Por ejemplo, en el momento del arranque, la presión de aspiración en la



MBP-3 es de 10 kg/cm² y la presión en el PT-999 es de 0 kg/cm² por lo que la diferencia de presiones será de -10 kg/cm². El procesador Fisher mandará una señal de apertura a la Válvula PCV-1 en su posición de apertura total. Cabe destacar que esta posición de apertura de las válvulas de control, e igual que pasa con la posición de cierre, nunca será al 100%, si así fuera, en el momento de arrancar las dos bombas la válvula de control no tendría tiempo de reacción y podrían dispararse las válvulas de seguridad por lo que su apertura total ronda el 80% de su recorrido útil.

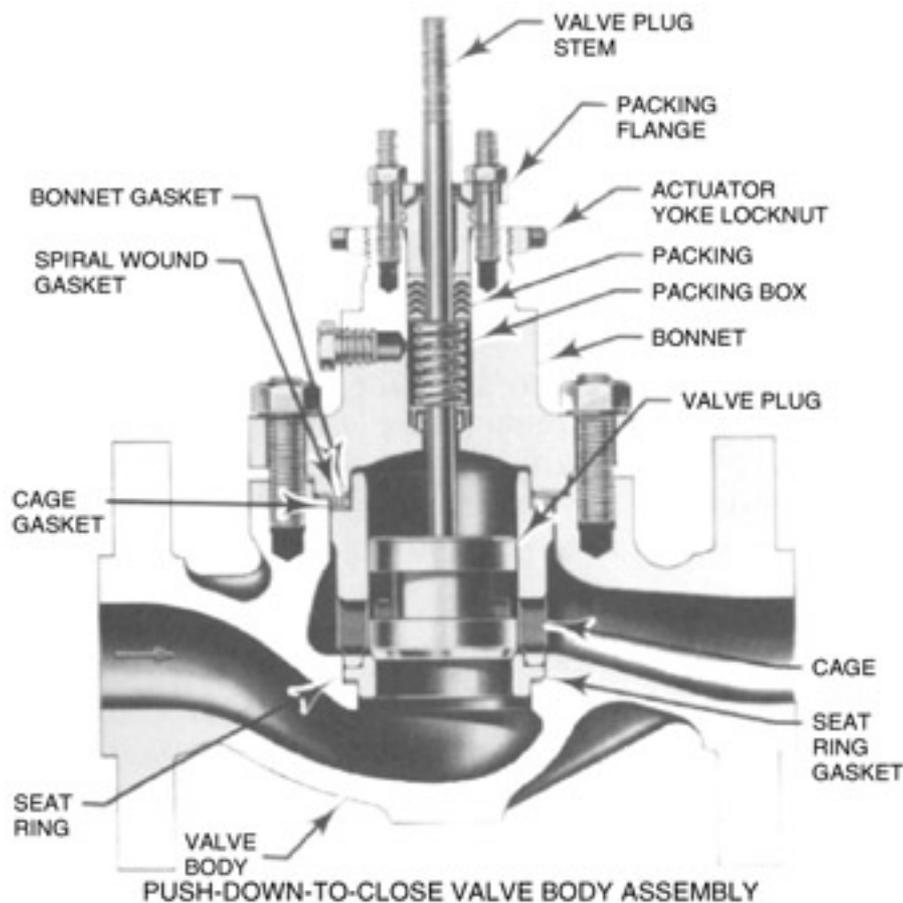


Figura 89. Internos de una válvula de control

Este método de regulación del caudal no es muy eficiente ya que las bombas que se encuentren en servicio consumirán siempre la máxima potencia que puedan dar, impulsando el fluido con una posterior pérdida de carga. El resultado es un proceso que consume una energía eléctrica en exceso y un encarecimiento final del producto.



Para el segundo método hay que explicar el concepto de motores de arranque directo o con variador de frecuencia. Un motor de arranque directo será alimentado directamente por una cabina de motores o centro de control de motores que, a través de su embarrado, energizará y magnetizará las bobinas del motor de la bomba, se resume como el funcionamiento normal de un motor síncrono. Un motor con variador de frecuencia tiene un funcionamiento distinto. La cabina del motor inyecta a un transformador que alimenta a un variador de frecuencia. Este variador energizará de forma regulada el motor de la bomba siendo capaz de excitar de forma variable el motor y obtener así distintos regímenes de giro del rotor.

Por lo anteriormente explicado, es lógico pensar que el consumo de la instalación será menor usando el sistema de regulación del caudal mediante un variador de frecuencia antes que a través de una válvula de control ya que se consumirá la potencia eléctrica estrictamente necesaria para impulsar el fluido a la presión y caudal deseados.

En esta instalación o E.B se utilizan ambos métodos. El de pérdida de carga se usa en el oleoducto de Huelva-Málaga y el de variador de frecuencia/pérdida de carga, es decir que es redundante, se utiliza en el antiguo Rotaza.

h) FT-21: Es un caudalímetro ultrasónico con valor puramente indicativo con el fin de contabilizar el volumen de producto del paquete enviado y poder establecer el número de horas restantes hasta el siguiente paquete de producto.

j) TE y PT-901: A la salida o entrada de cada estación es muy normal instalar dos indicaciones, una de presión y otra de temperatura. Son útiles durante el tiempo en el que está parado el oleoducto. Dan una comparación entre la presión y la temperatura para detectar así posibles pérdidas, robos o fugas. Este sistema fue instalado cuando se empezaron a detectar distintos robos en los oleoductos de toda España.



k) Trampas de rascadores: Por último explicaré el funcionamiento del “ZIS” de los rascadores y de las trampas de rascadores.

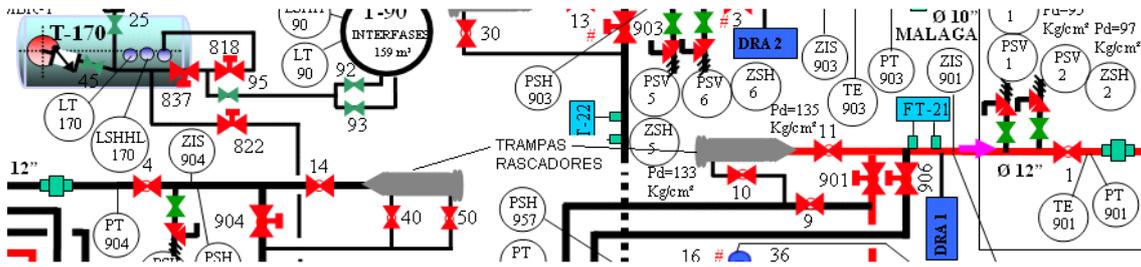


Figura 90. Sinóptico con trampa de rascadores

Las trampas de rascadores se encuentran ubicadas a la entrada y la salida de cualquier estación a la que llega un oleoducto y están diseñadas para poder sacar de la tubería los “rascadores” o erizos. Tal como su nombre indica, la finalidad de estos es erosionar las paredes de la tubería para limpiarla de cualquier resto de oxidación. Hay dos tipos de rascadores, los erizos que contienen unas púas que pulen la superficie perimetral del oleoducto y los de arrastre magnético que están formados por varias placas imantadas de un diámetro menor al de la tubería que recorren y que atraen las partículas que el erizo ha erosionado de la superficie interior de la tubería. Como es lógico, la secuencia será introducir en primer lugar uno o dos erizos y a continuación otros tantos de arrastre magnético.

A continuación explicaré gráficamente la secuencia de envío y recepción de un rascador:

1-Recepción del rascador:

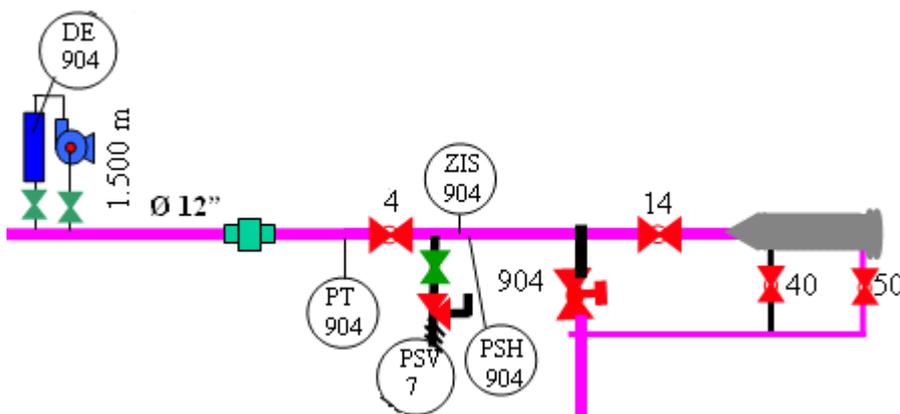


Figura 91. Recepción del rascador



Durante la recepción del rascador las válvulas 4,14 y 50 se encuentran abiertas y la 904 cerrada. Aguas arriba hay algún tipo de recepción abierta ya sea a un tanque o un bypass a la estación.

2-Llegada del rascador:

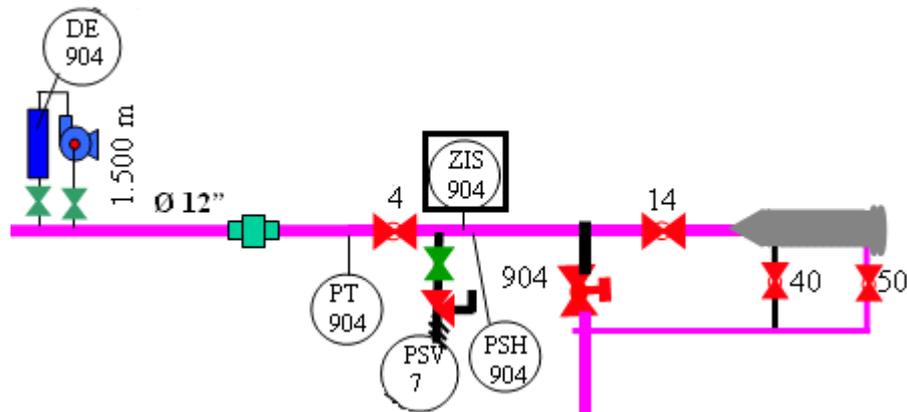


Figura 92. Recepción del rascador

A la llegada del rascador se activa el “ZIS” que no es más que una perforación en la tubería con un palpador de unos 8 cm de longitud. Cuando el rascador pasa a la altura del ZIS, el palpador levanta una banderola que indica a los operadores de planta que ha llegado un rascador.

3-Apertura de la trampa de rascadores:

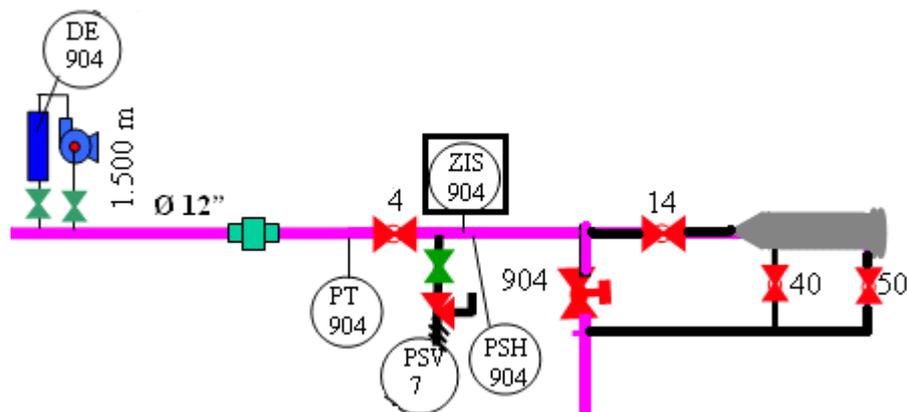


Figura 93. Drenaje y apertura de la trampa de rascadores



A continuación se cierra la válvula 14 y 50 y se abre la válvula 904. Se drena la trampa de rascadores, se abre y se extrae el rascador.



Figura 94. Foto de trampa de rascadores. Trampa de recepción del oleoducto Huelva-Málaga

3.4.2 Control:

La instrumentación lleva el control completo de cualquier planta industrial a través de una serie de instrumentos que mandan señales analógicas de 4-20 mA, señales digitales y señales de comunicación a través de un bus de datos. El esquema general de una planta es un instrumento conectado a una caja de derivación a partir de la cual se manda su señal por un multicable, normalmente apantallado para evitar inductancias así como armado para evitar posibles seccionamientos del cable, del multicable a un armario de interfase, dentro de la sala de control, y del armario de interfase al panel de control, a la unidad de PLC o a los sistemas de monitorización de proceso.



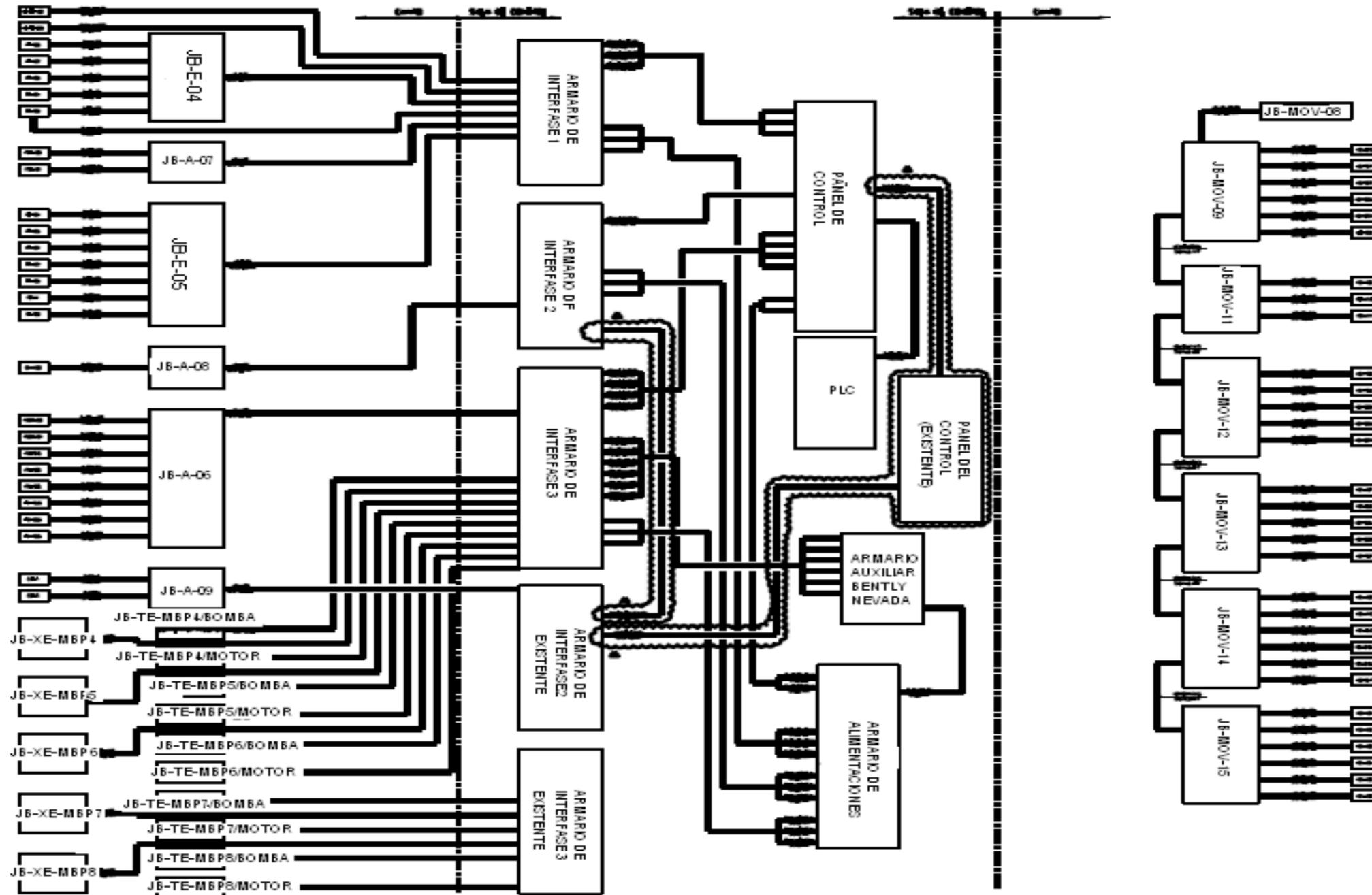


Figura 95 Esquema de interconexión general



En el esquema anteriormente expuesto se ven claramente diferenciados los distintos niveles de interconexión tanto en campo como en sala de control sobre los que se realizará a continuación una breve explicación de los mismos:

- Instrumentos: A continuación se expone el diagrama de la planta (Figura 95) donde vienen reflejados los instrumentos instalados a excepción de los instrumentos de control de vibraciones y temperatura de los motores y las bombas:

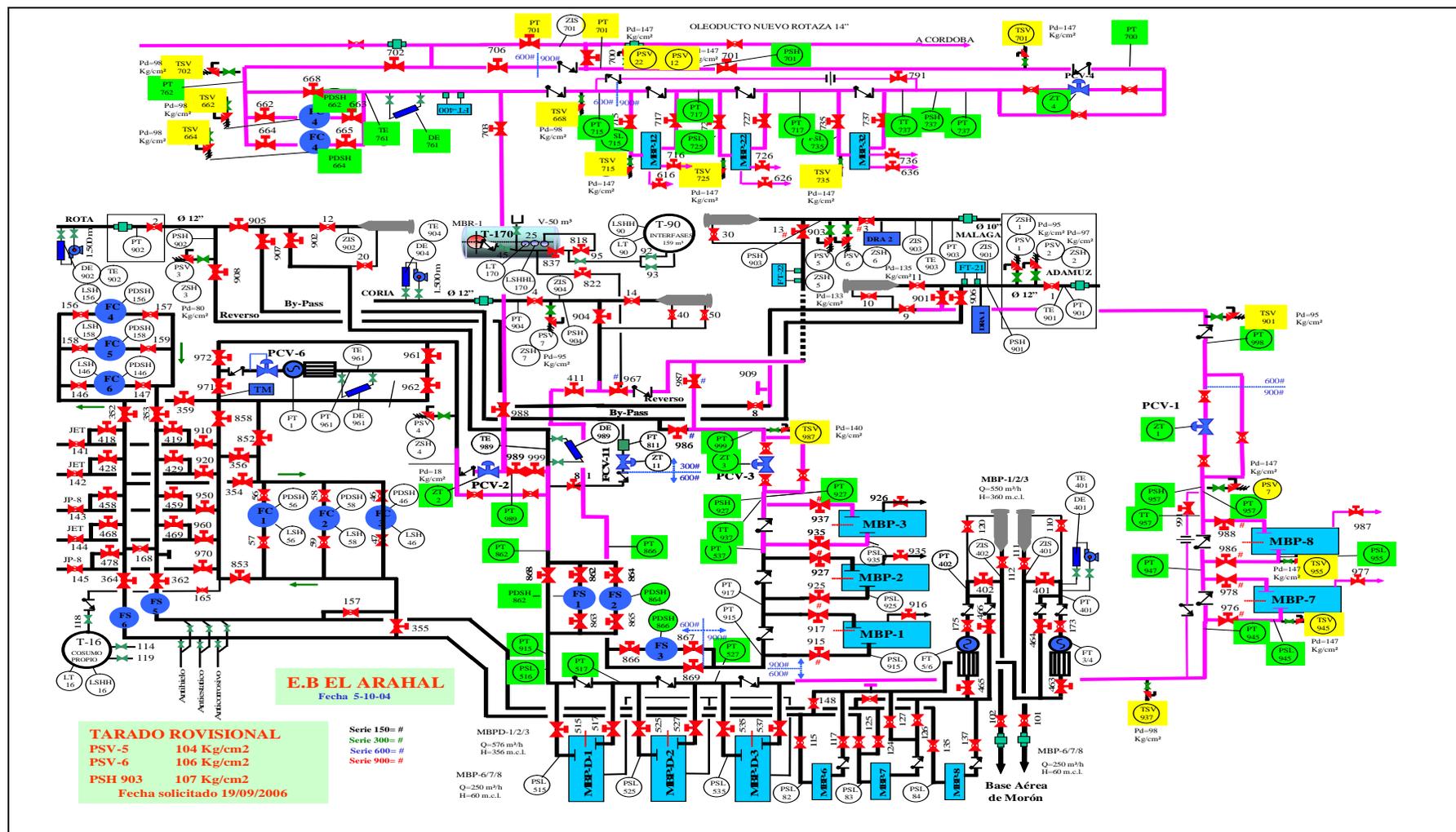


Figura 96. Esquema final de la E.B de Arahal



Como cabe observar, una planta industrial está comandada por una serie de señales que nos dan una visión pormenorizada del estado del fluido, maquinaria o sistemas eléctricos que actúan en todo su proceso. Antiguamente una instalación de este estilo debía de estar supervisada con multitud de operadores que cada cierto tiempo debían de pasarse por los distintos puntos de toma de datos en campo, recopilar la información y juzgar si el funcionamiento era el correcto. Hoy en día el grado de automatización de este tipo de instalaciones es muy elevado y basta con un equipo de 10 personas para realizar este trabajo.

El sistema de control de estas plantas es muy sencillo. Disponemos de pocos elementos o bloques interconectados entre si los cuales forman el sistema de control. Estos son:

a) Elemento sensor y transmisor:

Es el instrumento instalado en la tubería, los más comunes en este proyecto son los, transmisores de presión, temperatura, caudal, densidad, presostatos, presostatos diferenciales, detector de vibraciones...

b) Elemento agrupador o cajas de derivación:

Los elementos sensores envían una señal a través de un par de dos, tres o cuatro hilos hasta un “Armario de interfase”. Para ahorrar tendido de cable, se instalan cajas de agrupación o derivación en campo, estas cajas tienen una entrada de varios cables de cada instrumento y una única salida con un multicable que llega hasta el armario de interfase. Además contiene las tarjetas convertidoras Modbus-RTU para la integración del sistema de control distribuido que albergará un PLC y un armario de comunicaciones. La tarjeta RTU no es más que un convertidor de señales eléctricas a una comunicación de 32 bits según el llamado protocolo RTU. Cada unidad RTU servirá por tanto como convertidor de señales y como switch de comunicaciones. Habrá módulos RTU para pulsaciones, contactos, proporcionales...

En el ejemplo de la Figura 96 se observa como todo cableado de instrumentación se dirige, con cables de 2x1.5 mm² hasta la caja de agrupación, de esta caja saldrá posteriormente un multicable de 12x2x1.5 mm² con dirección al armario de interfase número 1 situado en sala de control

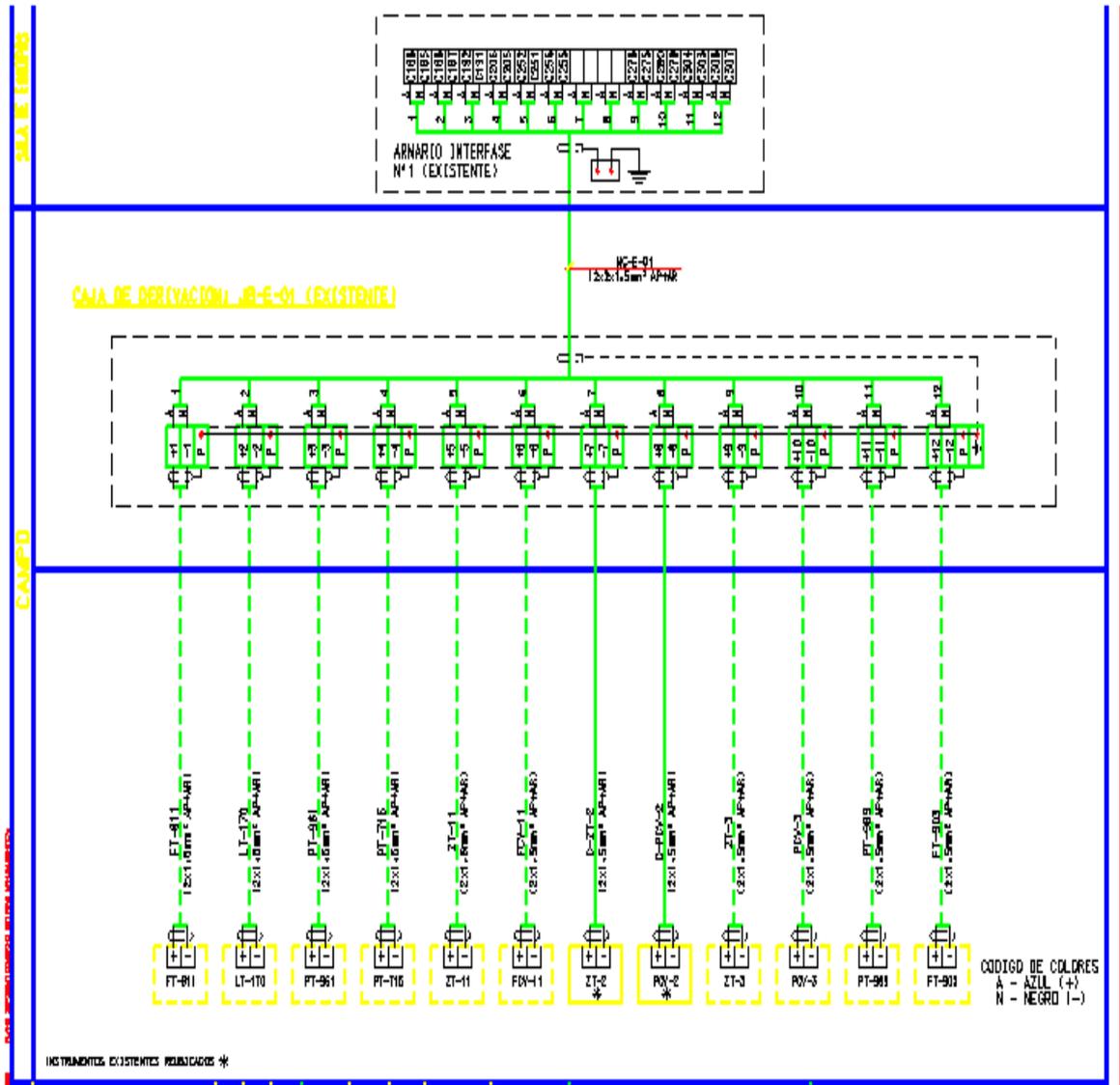


Figura 97. Ejemplo de caja de derivación JB-E-01 de señales analógicas

c) Armarios de interfase:

Son aquellos armarios que distribuyen todas las señales de la estación de bombeo. Contienen borneros de alimentación a 24 Vcc para la instrumentación analógica de campo y relés para la distribución de las señales digitales. Disponen de dos embarrados de alimentación, uno a 24 Vcc necesaria para la alimentación de los instrumentos tanto analógicos como los relés de los instrumentos digitales, y un embarrado de 220 V para la iluminación de los cuadros y alimentación de las unidades remotas RTU.



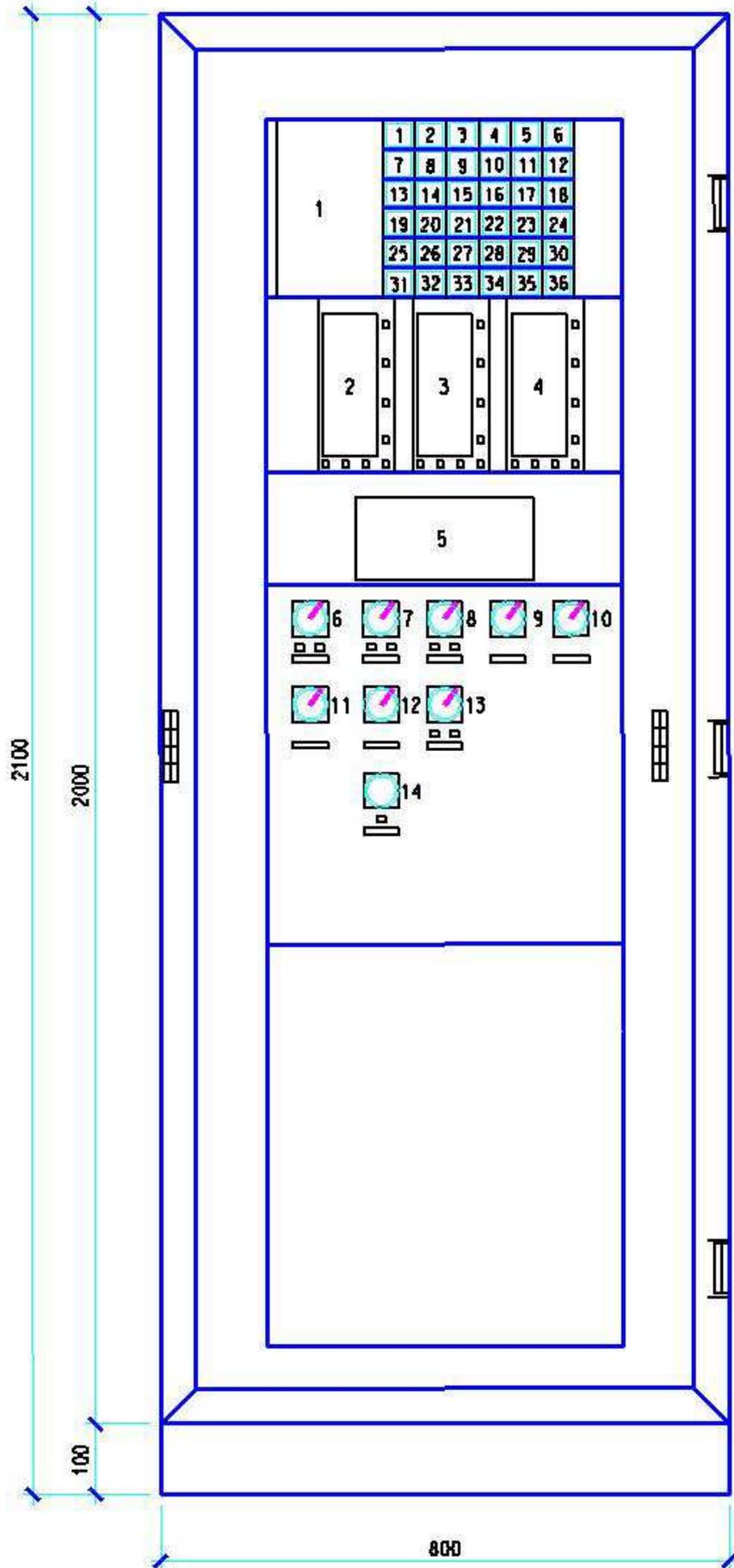
Las RTU “Remote Terminal Unit” son aquellas unidades, en este caso de marca ABB, capaces de leer una señal eléctrica y transformarla en formato digital de 32 bits. El protocolo de los paquetes de información enviados por las RTU será de tipo Modbus-RTU y se enviará a través de un cable 485. La finalidad de las RTU es, además de la conversión de la señal eléctrica, la de actuar como esclavo de las unidades máster del sistema Modbus, de tal forma que esta unidad RTU responderá con información a su unidad máster cuando este requiera dicha información. Los másters pueden ser un PLC un terminal de ordenador o cualquier otro que tenga configurado las direcciones correspondientes de cada señal.

Cualquier unidad RTU no es capaz de leer e interpretar cualquier señal eléctrica que se le presente, por lo que habrá que adquirir el módulo correspondiente para pulsos, señales proporcionales, integradas, diferenciales... Y configurar o tarar cada entrada para cada instrumento. Por ejemplo, un PT se conecta a la entrada de una RTU del armario de interfase 1. Este transmisor enviará una señal eléctrica lineal donde 4 mA equivaldrán a 0 kg/cm² y 20 mA a 130 kg/cm². Es obvio que habrá que configurar la entrada correspondiente a la RTU del armario de interfase 1 para que sea capaz de codificar esta señal.

Como se ha comentado anteriormente, las RTU actúan como esclavos en un sistema Modbus-RTU pudiendo tener diversos máster. Por tanto la unidad RTU será capaz de tener dos funciones primordiales, la ya explicada de interpretación y codificación de la señal eléctrica y la de interconexión entre los distintos equipos que comandan la instalación, es decir, el armario de comunicaciones (con el envío de datos por satélite y la tarjeta de Ethernet para los PC's de la sala de control), e panel de control y el PLC.

d) Panel de control de oleoducto:

Uno de los armarios más importantes con los que está interconexionado un armario de interfase es el Panel de control de oleoducto. Estos cuadros (hay uno por cada oleoducto de la planta, tres en total) no son imprescindibles en una instalación de este estilo, de hecho, las nuevas instalaciones que se están construyendo carecen de este armario. Sin embargo se monta por conservar la filosofía de esta E.B donde los operarios están habituados a trabajar de esta forma. El frontal de un panel de control de oleoducto dispone de varias partes diferenciadas:





LISTA DE EQUIPOS

- 1.- ANUNCIADOR DE ALARMAS
- 2.- CONTROLADOR HIC-MBP4
- 3.- CONTROLADOR HIC-SCV3
- 4.- CONTROLADOR MDF-3
- 5.- COMPUTADOR DE CAUDAL SOLARTRON 7951
- 6.- CONMUTADOR Y PULSADORES LUMINOSOS (VERDE Y ROJO) BOMBA MBP-4
- 7.- CONMUTADOR Y PULSADORES LUMINOSOS (VERDE Y ROJO) BOMBA MBP-5
- 8.- CONMUTADOR Y PULSADORES LUMINOSOS (VERDE Y ROJO) BOMBA MBP-6
- 9.- CONMUTADOR FILTRO DE SOLIDOS FS-7
- 10.- CONMUTADOR FILTRO DE SOLIDOS FS-8
- 11.- CONMUTADOR VALVULA DE CONTROL SCV-3
- 12.- CONMUTADOR VARIADOR DE VELOCIDAD MBP-4
- 13.- CONMUTADOR Y PULSADOR LUMINOSOS (VERDE Y ROJO) MDF-3
- 14.- PULSADOR TIPO SETA E INDICADOR LUMINOSO (ROJO) DE PARADA DE EMERGENCIA

Figura 98. Frontal de panel de control de oleoducto

- Alarmero: El Panel de Control dispone en su parte superior de una agrupación de alarmas que dan salida al PLC. Estas alarmas son propias de cada oleoducto. Por ejemplo “cambio de densidad en 1500”, “Cambio de densidad en estación” o “Avería MBP-04”. El alarmero consta de señal de alarma lumínica con el nombre de la alarma serigrafiado y de señal acústica, además de un botón “Reset de alarmas” que pulsará el operario para resetear las alarmas y así darse por enterado.

- Conmutadores de actuación de bombas: Cada bomba de impulsión de oleoducto podrá ser operada de 3 formas distintas: En modo remoto o RTU con la que la orden de arranque de la bomba se hará en remoto desde el terminal de PC correspondiente de sala de control o por vía satélite; en modo “Panel de control” por el que se puede arrancar una bomba desde el panel de control prescindiendo de la conexión en remoto y finalmente “Campo” que permitirá dar orden de marcha de cada bomba desde la estación de maniobra situada en campo al pie de cada motor.



- Solartron o computador de caudal: Es la unidad, en este caso de marca Emerson, capaz de leer la señal del densímetro, tanto de 1500 como de estación, aplicar las correcciones oportunas y mandar un señal de comunicaciones correspondiente. Este hardware no es completamente imprescindible al poder implementarse en el PLC de factoría la programación oportuna para cálculo de las correcciones de densidad tal como explica Emerson en su manual del densímetro Micromotion 7835.

- Tarjetas de lazo de realimentación: Son tarjetas de realimentación para los lazos de control del oleoducto. El “Nuevo Rotaza” dispondrá de 2 lazos distintos, el de realimentación de la válvula de control que leerá la presión de entrada de la estación, la presión de salida, el punto de consigna dado (en el panel de control en la tarjeta Fisher o desde el equipo PC correspondiente) y mandará una señal al PLC de factoría para apertura o cierre de la PCV. El otro lazo de realimentación se cierra con aquellas bombas con variador de frecuencia regulando el PLC el número de rpm necesarias para llegar al punto de consigna de la tarjeta Fisher o de lazo.

A continuación se muestran distintos ejemplos de cableado de los armarios de interfase tanto en un tratamiento normal de la señal como en ciertos casos excepcionales:

1-Instrumento común de proceso:

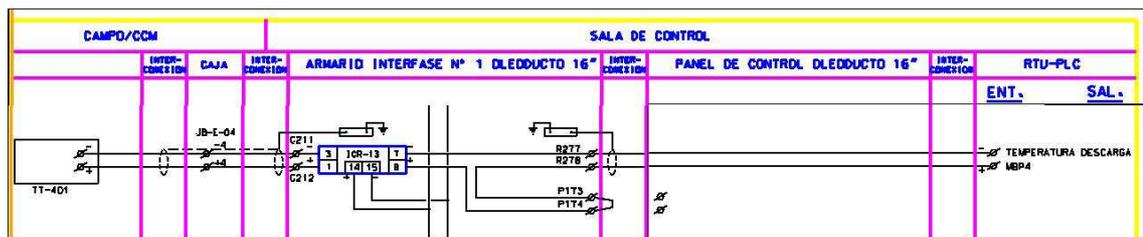


Figura 99. Conexión de un instrumento de proceso al armario de interfase

Se puede observar con claridad en el esquema anterior como se conecta un transmisor. Bornes de transmisor, caja de derivación en campo, bornero de armario de interfase (con su alimentación a 24 Vcc y su puesta a tierra del apantallamiento), conexión a RTU.



2-Bently Nevada.

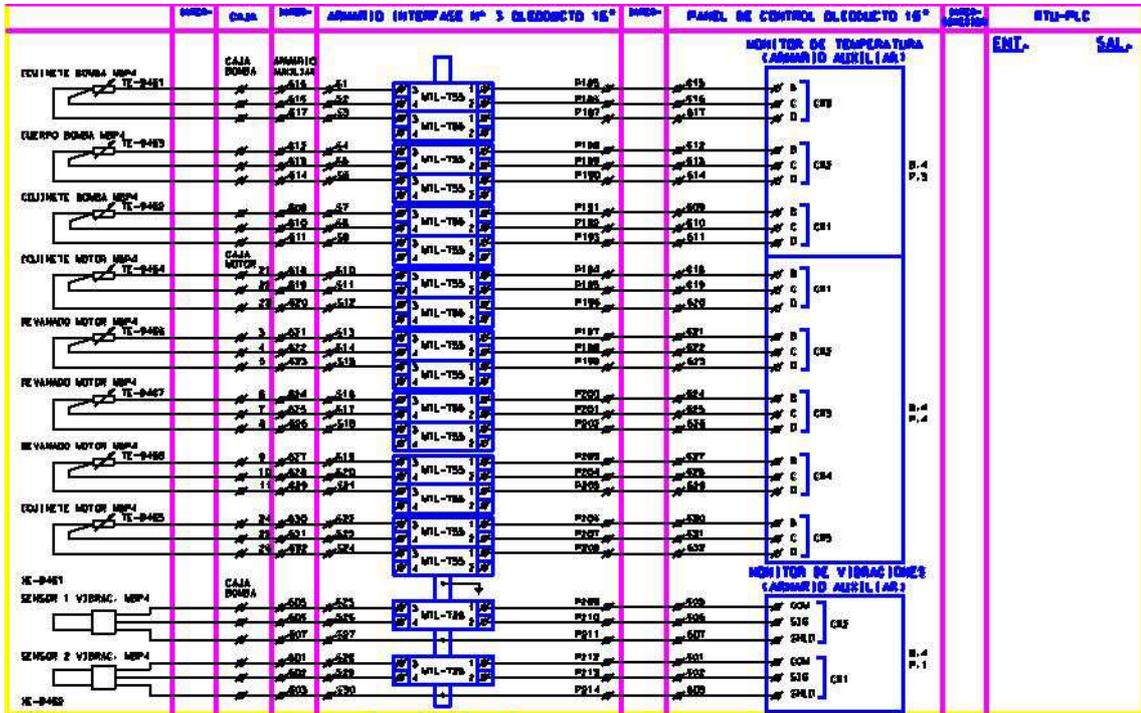


Figura 100. Conexiones de rack de Bently Nevada con elementos sensores

En el esquema de interconexiones del armario auxiliar o Bently Nevada se observa con claridad las distintas termorresistencias y sensores de vibración de las bombas, las cuales se conectarán al bornero del armario de interfase 3 y de allí a las entradas en el armario auxiliar.

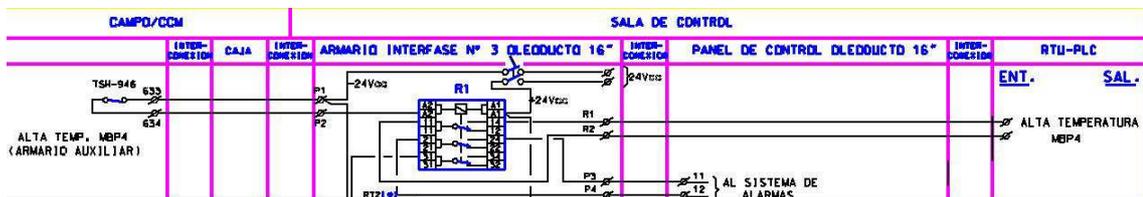


Figura 101. Esquema de conexión entre rack Bently Nevada y armario de interfases



La tarjeta de contactos del Bently Nevada cerrará el circuito, activará el relé del armario de interfase 3 que mandará una señal a la RTU y otra al alarmero del panel de control ante un valor demasiado alto de la temperatura o de las vibraciones de la bomba correspondiente. Este esquema es válido para señales digitales generadas en campo (PDSH, PSL, PSH ...) que generarán una entrada en las RTU's y una alarma a través de un relé del armario de interfase en el panel de control.

¿Por qué utilizar a BN como sistema de monitorización?

Actualmente el sistema de seguimiento BN es el más utilizado en el mundo lo que otorga a sus componentes a una larga experiencia en muy diversos ámbitos de aplicación. Actualmente un sistema BN mantenido y conservado en buenas condiciones, no produce falsos avisos de enclavamientos. BN dispone de dos millones de transductores en funcionamiento en el mercado y más de 10.000 sistemas de monitoreo remoto. Por lo que actualmente copa el mercado internacional en este tipo de sistemas.

Otras características que pueden hacer interesante los sistemas BN son la gran flexibilidad a la hora de la entrega de piezas en caso de emergencia o avería.

El procesador 3500 de BN, procesador al que se conectan los sensores directamente desde las bombas, está diseñado para satisfacer el "American Petroleum Institute's Standard" o API 670. Que es el estándar más utilizado alrededor del mundo para sistemas de protección de maquinaria. También puede ser utilizado para aplicaciones de ámbito marítimo, plataformas "offshore" o para propulsión de barcos. Tiene el certificado SIL 3 (Safety Integrity Level). Tal como se ha comentado anteriormente, este sistema no se utiliza únicamente como un método de seguimiento de las funciones básicas de una máquina, sino que también es útil para una parada de emergencia ante la presencia de parámetros peligrosos para la integridad de la maquinaria. Esta característica hace único al sistema BN y además es el sistema que mejor filtra y analiza las señales obtenidas lo que le hace simular con gran eficacia las condiciones reales de las mismas. Debido a esto, el sistema puede ser programado con diversos niveles de redundancia en términos de alimentación eléctrica del propio sistema utilizando el llamado "Modulo de Redundancia Triple" (TMR) que hace de este el sistema más fiable que hay actualmente en el mercado.



La conexión a un ordenador es muy sencilla, se realiza a través de una tarjeta Ethernet que por un puerto de comunicación a través de un cable RJ45 común y el software de BN instalado en el ordenador, se puede visionar en la pantalla los datos obtenidos por los sensores. A través de un switch de comunicación se puede hacer redundante mandando la señal a múltiples equipos o incluso por vía satélite, como es el caso de este proyecto. Habiendo previamente instalado el software suministrado con el sistema de monitoreo 3500. El rack 3500 dispone de un modelo con un display integrado aunque no es necesario visualizar las constantes a estudio para una protección adecuada de la maquina.

El equipo 3500 de BN es muy flexible y es capaz de procesar cualquier señal de los sensores ofertados por BN. Solamente habrá que proveerse de los Racks exclusivos del transductor en cuestión. En nuestro caso habremos instalado 2 racks del tipo 3500/42M “Proximity Probes” y una 3500/61 para temperaturas medias. A continuación se exponen la gran variedad de tarjetas que pueden componer este sistema:



3500 Series Measurement Capabilities		Monitor Modules														
		3500/25	3500/40M	3500/42M	3500/44M	3500/45	3500/46M	3500/50	3500/53	3500/60, 61, 65	3500/62	3500/63	3500/64M	3500/70M	3500/72M	3500/77M
Measurements	Phase reference	•														
	Radial vibration (proximity probes)		•	•												
	Radial position (proximity probes)		•	•												
	Axial position (proximity probes)		•	•		•										
	Eccentricity (proximity probes)		•	•												
	Seismic vibration (velocity transducers/ accelerometers)			•												
	Shaft absolute (proximity and seismic)			•												
	Aeroderivative gas turbine casing vibration				•											
	Differential expansion		•	•		•										
	Ramp differential expansion					•										
	Complementary differential expansion					•										
	Case expansion					•										
	Valve position					•										
	Hydro turbine/generator vibration						•									
	Hydro generator air gap						•									
	Machine operating state (discrete input) ¹						•									
	Rotor speed							•								
	Rotor speed rate-of-change (acceleration)							•								
	Rotor zero speed (turning gear engagement)							•								
	Reverse rotation							•								
	Overspeed								•							
	Temperature (direct/average/differential) ²									•						
	Process variable signals (4-20 mA, 1-5 vdc, etc.)										•					
	Hazardous gas detection											•				
	Gas turbine combustor instabilities												•			
	Reciprocating compressor impulse/velocity													•		
Reciprocating compressor rod position														•		
Reciprocating compressor cylinder pressure															•	

1. Available late 2005.

2. The 3500/60 and /61 are 6-channel monitors. The 3500/65 is a 16-channel monitor.

Figura 102 Medidas capaces de tomar cada modulo de Bently Nevada

3-Orden de marcha de motores:

En la Figura 102 se describe el circuito que genera la señal de marcha y de paro para los distintos motores, en concreto se está poniendo el ejemplo del motor MBP-4. Para explicar este esquema se partirá del panel de control. Se puede observar como este panel dispone de un conmutador que da opción una posición de RTU, de PANEL o de CAMPO, tal como se comento anteriormente al hablar del panel de control. Su posición



de funcionamiento común será la de marcha o paro desde RTU que permitirá arrancar o parar las bombas desde los ordenadores pertenecientes al sistema de control. Según este esquema la orden de marcha de la MBP4 será una salida del PLC al relé del armario de interfase que si no posee ninguna orden de paro de la bomba mandará una señal de marcha al CCM. En caso de conectar el conmutador en posición PANEL, el operario podrá arrancar la bomba desde el panel de control pulsando el botón de “MARCHA”.

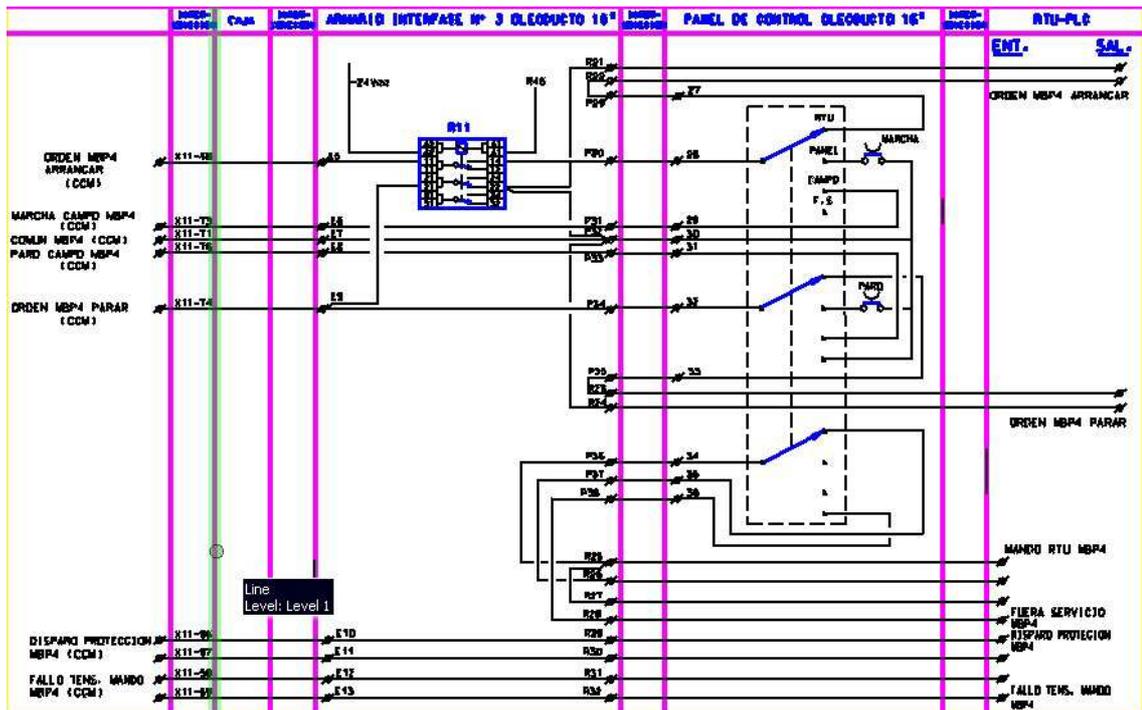


Figura 103. Orden de arranque de la bomba MBP-4

Se puede observar como el PLC, aún estando en modo PANEL, puede ejecutar una orden de paro de la bomba (por ejemplo en caso de una señal de altas temperaturas del BN). Por último está la posición de “CAMPO” la cual permitirá a la bomba ser arrancada desde el CCM.

4-Conexion Solartron

En el esquema expuesto (Figura 103) se describen las distintas interconexiones del Solartron. La temperatura y la densidad medidas por el densímetro serán alimentadas de forma pasiva desde el bornero del armario de interfase número 1 el cual mandará la señal al medidor de caudal Solartron en el panel de control del oleoducto. Este leerá los datos y los mandará a una remota del armario de interfase correspondiente.

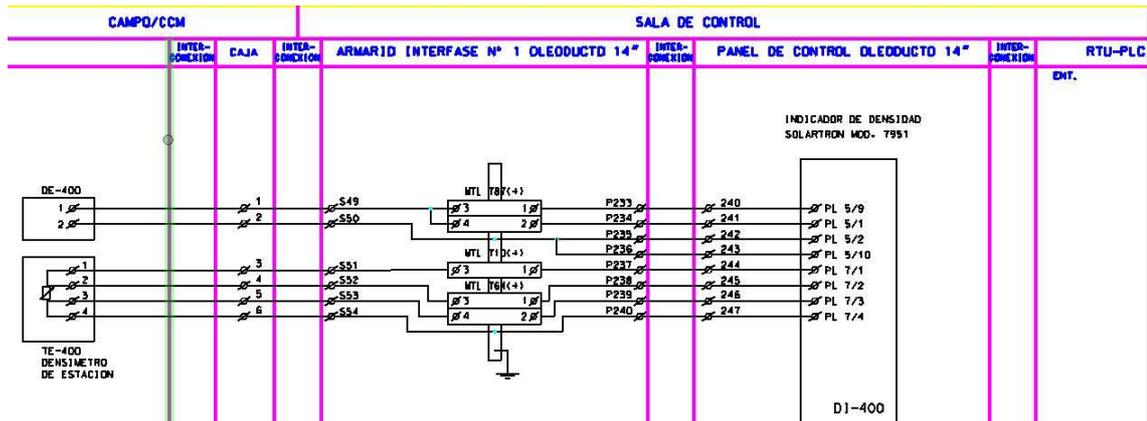


Figura 104. Diagrama de conexiones de un Solartron

5-Lazo de control PCV-4

Tal como se comentó en la parte de proceso, existen dos formas de controlar la presión de salida del oleoducto. En los esquemas de cableado de los armarios de interfase, panel de control y esquema simplificado de proceso PID se describe la forma de interconexión de este lazo. En la primera figura se puede observar como la presión de entrada a la estación va directamente a una remota mientras que la presión de salida es leída por 2 tarjetas Fisher, la HIC scv-3 que es la que regula el lazo de la PCV-4 y la HIC MBP-4 que es la que regulará la frecuencia de giro de la MBP-4 y se comentará con detalle en el siguiente apartado.

En el siguiente diagrama se puede observar que, al igual que pasaba con la presión de salida PT-407, la señal analógica de posición o apertura de la PCV-4 es leída tanto por la HIC-SCV 3, en el panel de control, como por una entrada de RTU. Debajo de esta señal disponemos de un conmutador que nos dará la opción de control manual (cerrando el lazo con la tarjeta controladora) o opción RTU (controlando la posición de apertura de la válvula de control a través del PLC). Como se observa claramente en estos diagramas, el control de la tarjeta controladora es completamente redundante al de la RTU por lo que la regulación mediante la tarjeta Fisher solo se realizaría en caso de fallo de red o durante fases de modificación del PLC.

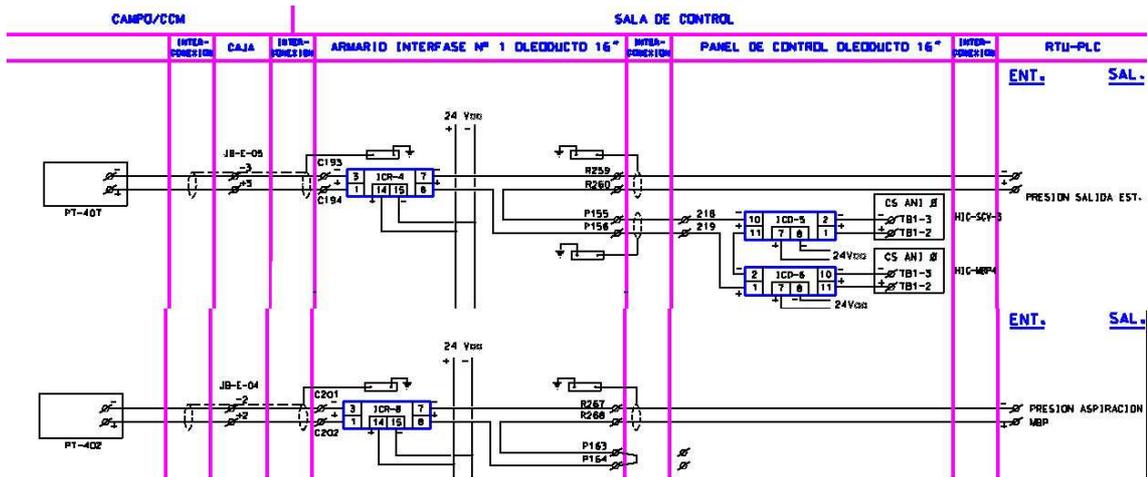


Figura 105. Entradas de PT-407 (Presión salida estación) y PT-402 (presión entrada estación)

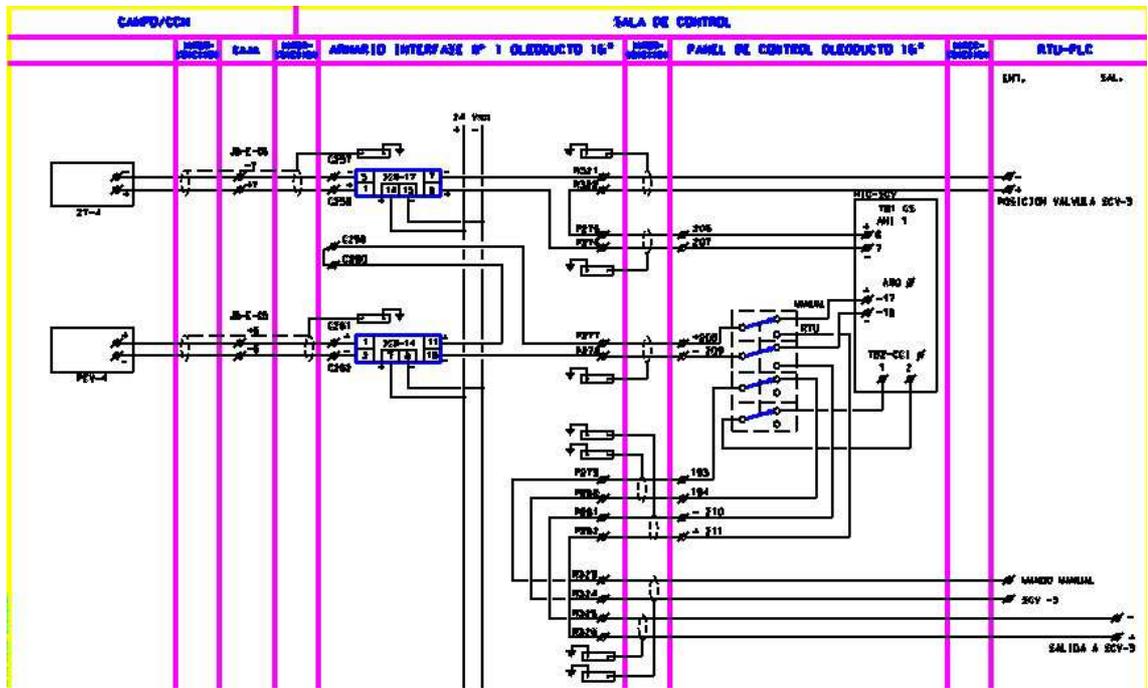


Figura 106. Esquema cableado de RTU y tarjeta controladora de lazo

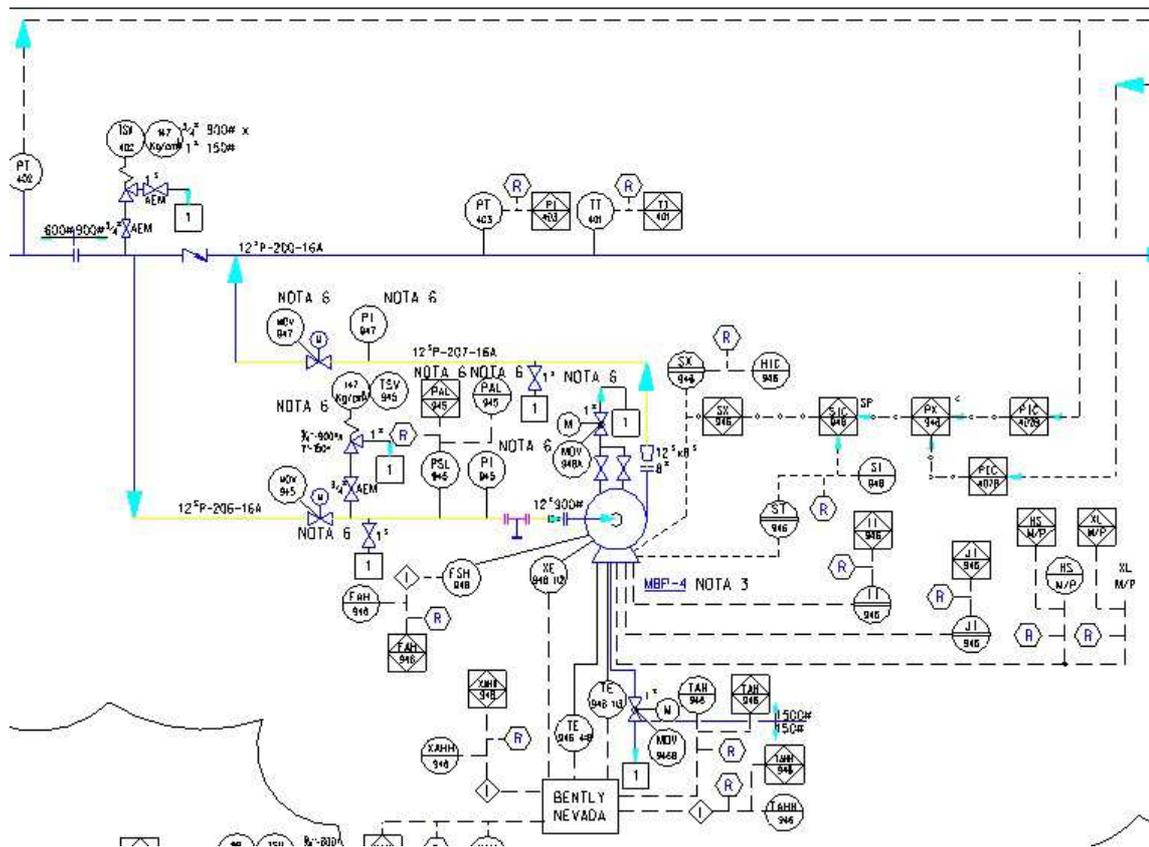


Figura 107. PID bomba MBP-4 con lazo al variador de frecuencia y posición de PT-402 (presión entrada de estación)

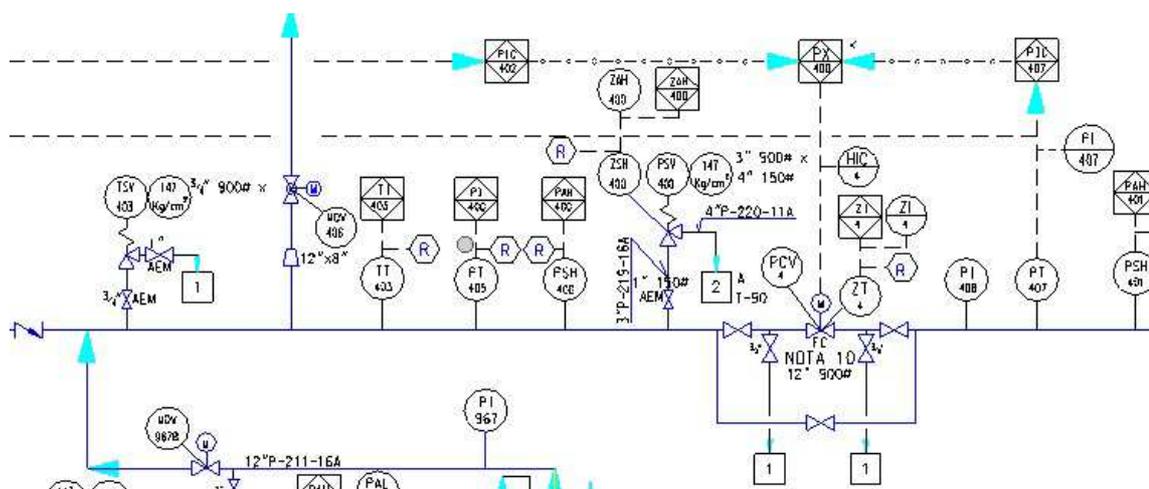


Figura 108. PID válvula de control PCV-4 con posicionador ZT-4 y descripción del sistema de control de la válvula.



6-Lazo de control MBP-4

Este caso es homologo al anterior la única diferencia son los datos a tratar. Por un lado disponemos de unas RTU's con entradas de presión de salida de factoría y entrada de factoría y por el otro lado una tarjeta controladora con el dato de la presión de salida del oleoducto. En este caso la variable realimentada será la frecuencia de giro del motor MBP-4 por lo que tanto la tarjeta HIC como la remota leerán este dato de una señal analógica enviada desde el variador del motor situado en el CCM. A su vez, se dispone de dos posiciones de conmutables en el panel de control, tal como pasaba en el caso anterior, que dan la posibilidad de actuar utilizando la tarjeta controladora o desde l RTU. La salida será una señal analógica que entra en el PLC del variador con el cálculo de la velocidad de giro requerida por el oleoducto que irá de 0 a 3000 rpm.

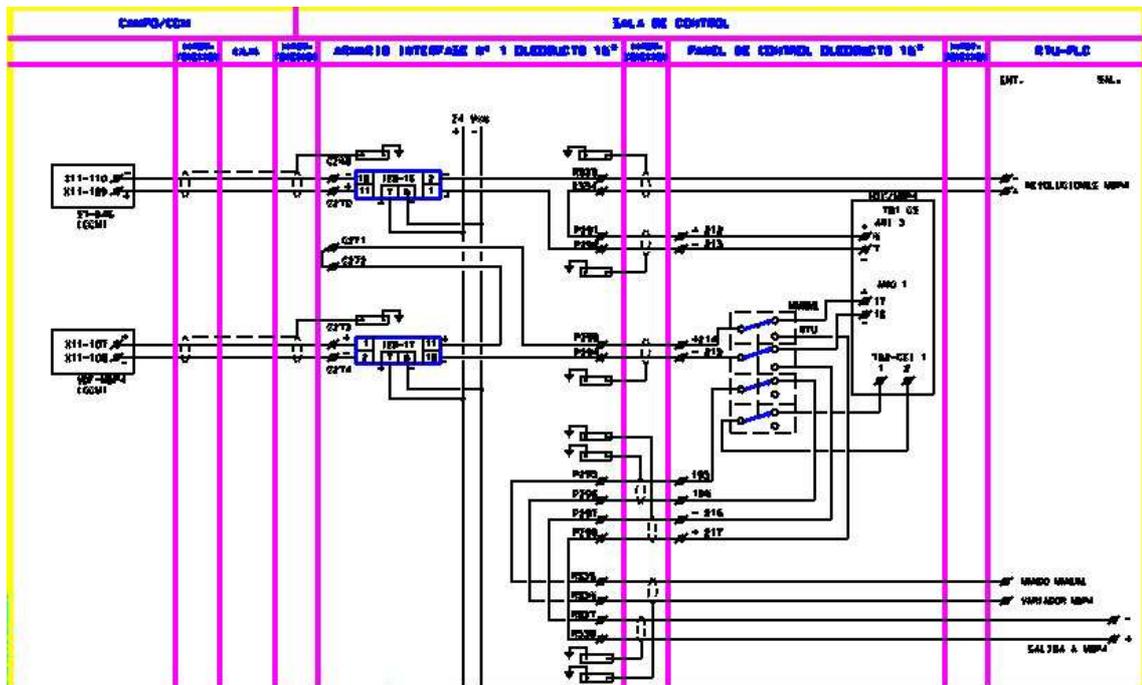


Figura 109. Diagrama de conexiones lazo de control MBP-4

e) Unidad máster para válvulas motorizadas:

Todas aquellas válvulas indicadas como MOV-? Son válvulas motorizadas. En esta instalación se dispone de una mayoría de válvulas motorizadas que hace que posea un alto nivel de automatización de la planta. Tal como se comentó en los párrafos anteriores, el sistema que controla la instalación es un Modbus-RTU. Para ello, las válvulas motorizadas estarán comandadas por una tarjeta máster de válvulas de marca



Rotork. Los actuadores de estas válvulas tendrán 2 conexiones, un de potencia que suministrará corriente al actuador y otra de lazo de control que por fibra óptica se comunicará con la tarjeta máster actuando todas las válvulas como esclavos de la máster. Por tanto, las cajas de derivación de estas válvulas estarán unidas entre si hasta llegar a la válvula máster y, por lo tanto, si se quiere integrar una nueva caja en el lazo existente, como es el caso, las válvulas se quedarían sin comunicación. Por eso este lazo de válvulas es cerrado y no abierto de tal forma que no hay ninguna parte del lazo que se quede sin visualizar por la tarjeta máster en ningún momento.

La unidad máster de válvulas se comunicará, independientemente del resto de factoría, con el cuadro de comunicaciones y será capaz de recibir señales de entrada desde las unidades o puestos de trabajo correspondientes.

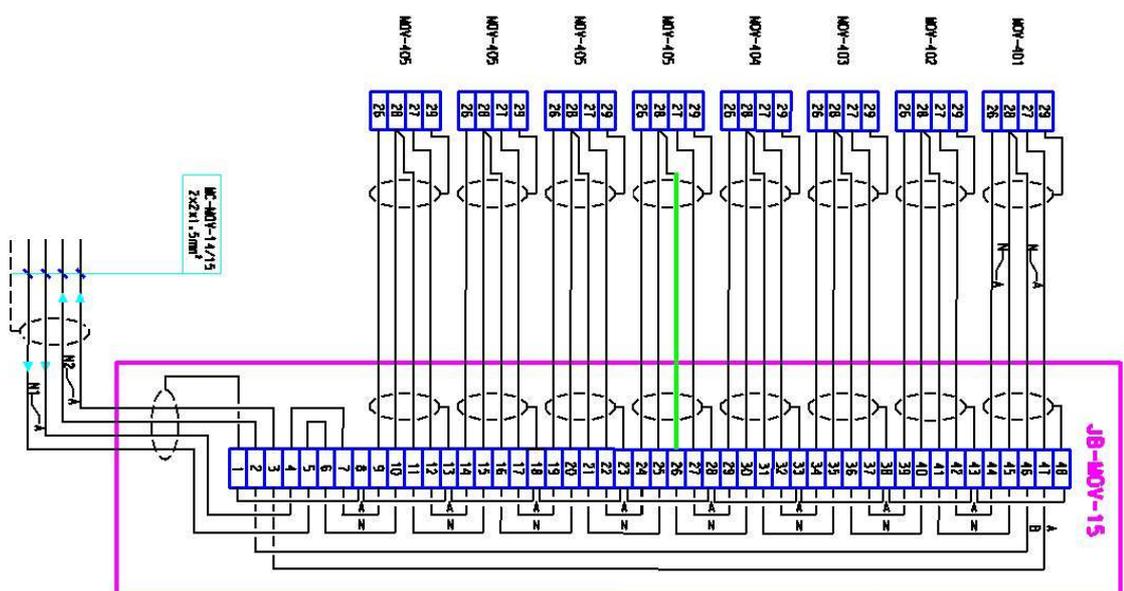


Figura 110. Caja de derivación de válvulas motorizadas JB-MOV-15

f) Válvulas de seguridad

Se distinguen dos tipos de válvulas de seguridad según su finalidad en el proceso. Válvulas TSV o de expansión térmica y válvulas PSV's.

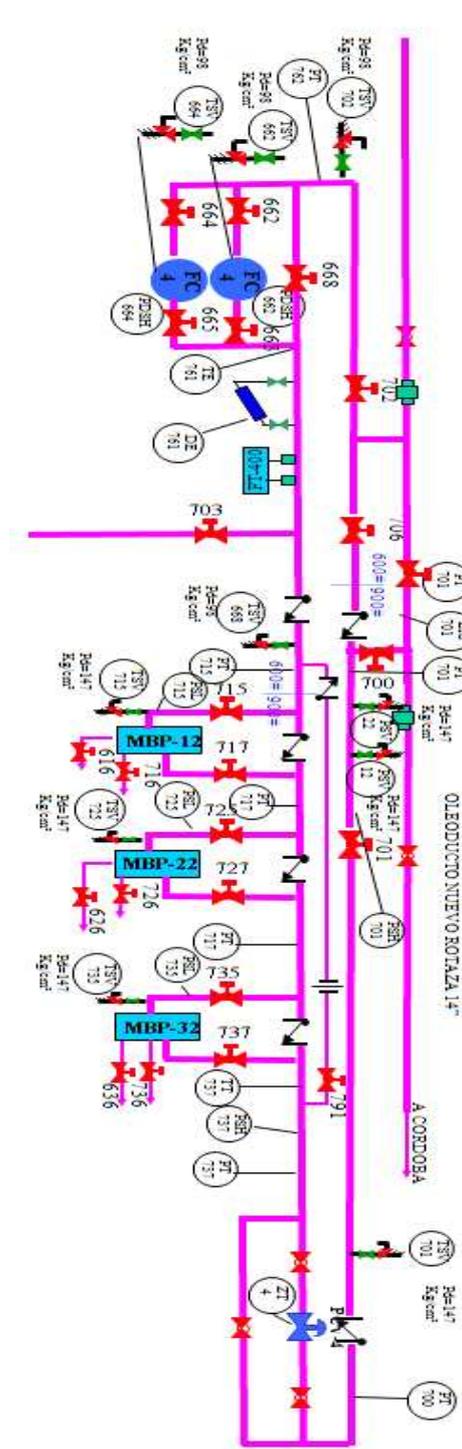


Figura 111. Sinóptico con instrumentación de la impulsión del Nuevo Rotaza

En la figura expuesta en la página anterior se distinguen 2 PSV's (PSV-12 y PSV-22), a la salida de la estación y multitud de TSV's. Las TSV's estarán colocadas en todos aquellos tramos de tubería que, ante una difusión de la corriente en caso de parada de línea y un aumento de la temperatura del fluido, puedan aumentar su presión y



vencer el límite elástico del material o por disminuir la presión máxima de trabajo lo suficiente como para que el material sufra la menor fatiga posible. Las TSV's son de $\frac{3}{4}$ " en su entrada y de 1" de salida por lo que no están diseñadas para evacuar grandes caudales.

Por otro lado disponemos de las PSV's. Estas válvulas se colocan a la entrada o salida de una estación y su misión es proteger de forma basta un pico de presión por cierre de alguna válvula de línea u obturación de cualquier tipo en el oleoducto. Estas válvulas tienen una entrada de 4" y una salida de 6" por lo que están diseñadas para evacuar grandes caudales. A su vez, el punto de tarado de estas válvulas es escalonado y superior al de las TSV (la PSV 12 descarga a 95 kg/cm² y la PSV-22 a 97 kg/cm²) la finalidad no es otra que no producir los dos golpes de ariete a la vez y disminuir la posibilidad de rotura de cualquier elemento cercano. Las PSV's llevan incorporado un contacto asociado a un relé con temporizador de tal forma que si disparasen provocarían una parada de primer grado del oleoducto al cabo de unos segundos.

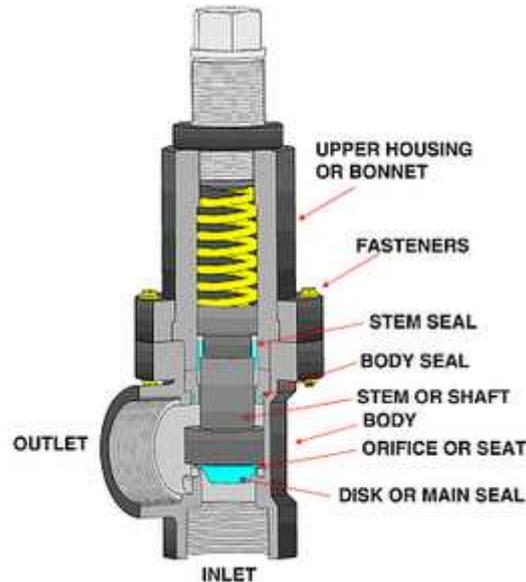


Figura 112. Foto internos PSV o



4 SEGUIMIENTO TEMPORAL Y RESUMEN ECONÓMICO DEL PROYECTO

4.1 SEGUIMIENTO TEMPORAL

A continuación se exponen dos seguimientos temporales de dos contratistas (Figuras 113 y 114). Estos seguimientos se realizan con el programa Project al ser muy accesible y útil para este tipo de trabajos. Se dispone de los datos de dos contratistas distintas, la Figura 113 es de la contratista que realiza la obra civil y mecánica mientras que la Figura 114 es el planning de los eléctrico-instrumentistas. Cabe destacar que ninguno de los dos plannings se cumplieron por retraso de la obra mecánica y por falta de suministro de materiales retrasándose 5 meses más de lo que estaba estipulado desde un principio.

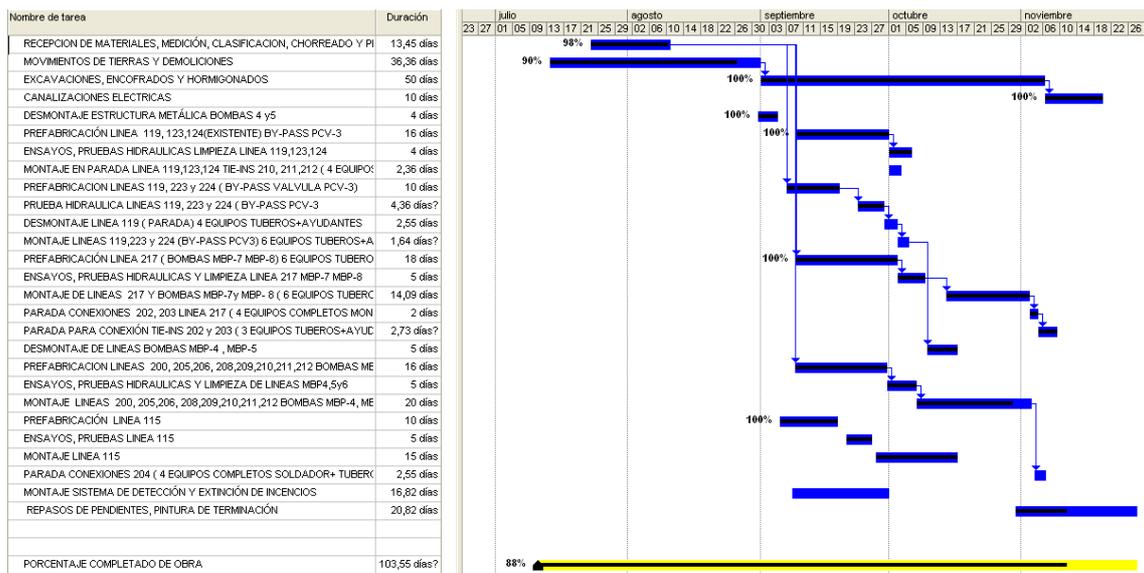


Figura 113 Planning de obra de contratista mecánico y de obra civil

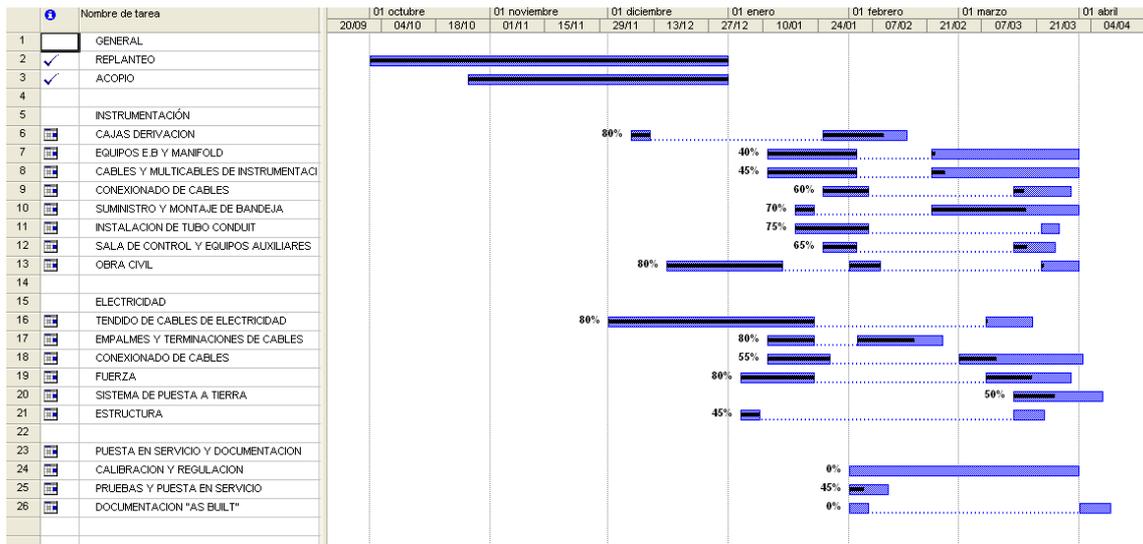


Figura 114 Planning de obra de contrata de electricidad e instrumentación.

El plazo de ejecución previsto en un principio era de 7 meses pero se retrasó realizando la tercera intervención en la planta al cabo de un año del comienzo de la obra.

En la figura 115, se muestra un resumen global de los tiempos de ejecución de obra. En la parte inferior del gráfico se indica la previsión antes de realizar la obra estimando unos 7 meses de trabajo y en la parte superior del gráfico viene reflejado el tiempo real. Se observa como la dilatación temporal se produce durante los meses de otoño-invierno mientras que el planning se cumple para las labores realizadas con posterioridad al invierno.

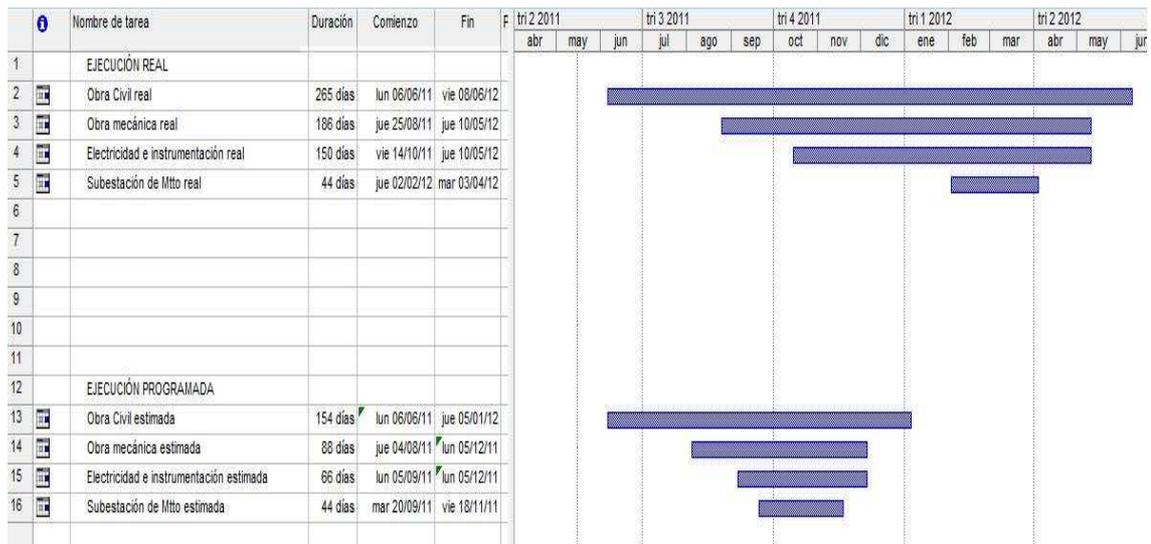


Figura 115 Comparación de proyecto real frente al proyecto estimado

En las Figuras 113 y 114 se describe el tipo de planificación utilizado para llevar los progresos con carácter mensual o incluso semanal pero no define los trabajos a realizar en una jornada completa. Normalmente no es necesario utilizar ese tipo de planificaciones exceptuando las paradas programadas de planta. En la Figura 116 se puede observar la lista de actuaciones a realizar en la parada número 2. Para la cual se estima a priori una duración de 13 horas. En las Figuras 117 y 118 está dibujado el isométrico a desmontar y el nuevo a montar respectivamente con la numeración de las actuaciones a realizar.



CTUACIÓ	DESCRIPCIÓN	ELEMENTO	DIAMETRO	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	0
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	DESEMBRIDADO	BRIDA	12		1	1															
2	DESEMBRIDADO	BRIDA	12			8	8														
3	DESEMBRIDADO	BRIDA	12		2																
4	DESEMBRIDADO	BRIDA	12		3	3															
5	DESEMBRIDADO	BRIDA CIEG.	12							7	7										
6	DESEMBRIDADO	BRIDA	12			3	3														
7	MP., CORTE, SOLD. Y F.	TUBO	12					3	3	3	3	3	3								
8	EMBRIDADO	BRIDA	12						5												
9	EMBRIDADO	BRIDA	12							5											
10	EMBRIDADO	BRIDA	12					4	4												
11	EMBRIDADO	BRIDA	12							4	4										
12	DESEMBRIDADO	BRIDA	12				2														
13	EMBRIDADO	BRIDA CIEG.	12					1	1												
14	DESEMBRIDADO	BRIDA	6		4																
15	DESEMBRIDADO	BRIDA	6		6																
16	EMBRIDADO	BRIDA CIEG.	6			4	4														
17	DESEMBRIDADO	BRIDA	6			6															
18	DESEMBRIDADO	BRIDA	6				6														
19	DESEMBRIDADO	BRIDA	6																		
20	EMBRIDADO	BRIDA CIEG.	6					6													
21	DESEMBRIDADO	BRIDA	12		5																
22	DESEMBRIDADO	BRIDA	12			5															
23	EMBRIDADO	BRIDA CIEG.	12					5	5												
24	DESEMBRIDADO	BRIDA	6				5														
25	MP., CORTE, SOLD. Y F.	TUBO	6		7	7	7	7													
26	EMBRIDADO	BRIDA CIEG.	6						7												
27	EMBRIDADO	BRIDA	12							1	1	1									
28	EMBRIDADO	BRIDA	12									1	1	1							
29	EMBRIDADO	BRIDA	6					2													
30	EMBRIDADO	BRIDA	6						2												
31	EMBRIDADO	BRIDA	6							2											
32	EMBRIDADO	BRIDA	6							3	3										
33	EMBRIDADO	BRIDA	6							3	3										
34	DESEMBRIDADO	BRIDA	12											2							
35	EMBRIDADO	BRIDA	12											3							
36	EMBRIDADO	BRIDA	12					8	8												
37	EMBRIDADO	BRIDA	12												4	4	4				
38	EMBRIDADO	BRIDA	12												5	5	5				
39	EMBRIDADO	BRIDA	12												6	6	6				
40																					

Figura 116 Planificación en horas, trabajos y personal a realizar en el isométrico 217 de la parada 2

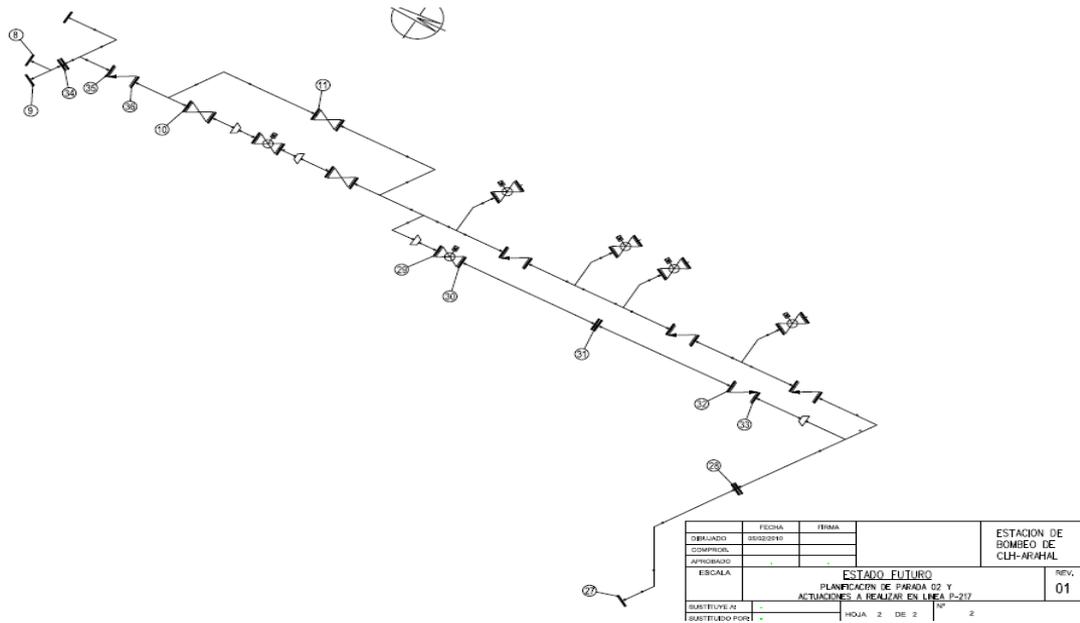


Figura 117 Isométrico de la línea 217-15A/16A, montaje realizado en la 2ª parada de planta.

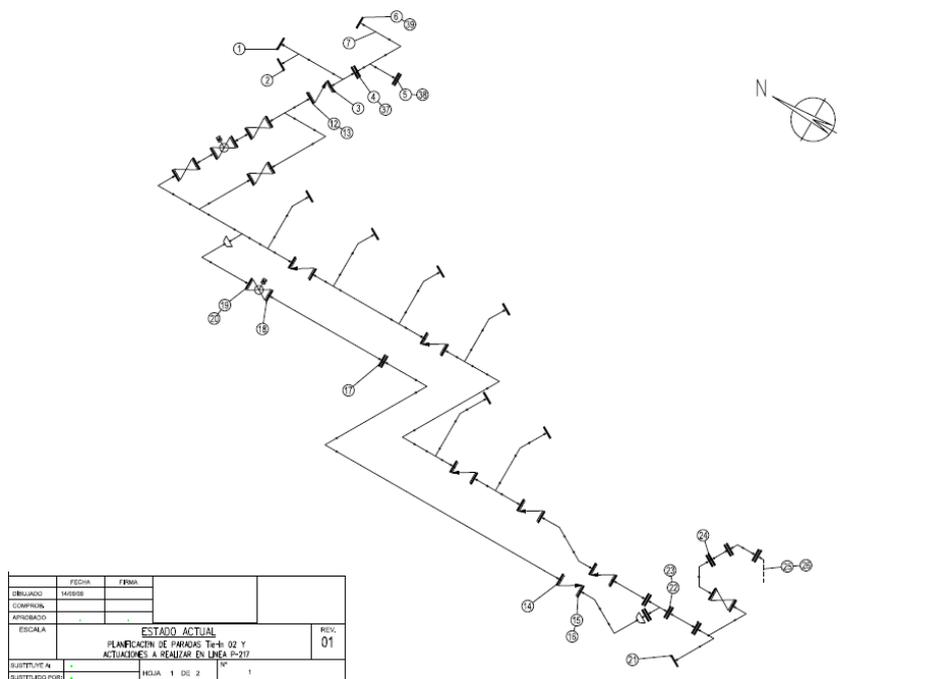


Figura 118 Isométrico a desmontar para parada número 2



A continuación se muestra un desglose económico del proyecto:

- Redacción del proyecto: 300.000 €
- Dirección de obra: 400.000 €
- Obra civil: 300.000 €
- Obra mecánica: 700.000 €
- Obra electricidad-instrumentación: 500.000 €
- Obra eléctrica de Mto: 200.000 €
- Materiales necesarios para obra mecánica: 1.500.000
- Grupos moto-bombas centrífugas: 700.000 €
- Material obra eléctrico-instrumentista: 600.000 €
- Materiales para obra eléctrica de Mto (80% de transformadores): 300.000 €
- Otros: 200.000 €





5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS DE TRABAJO FUTURO

El sector de Oil & Gas, en el que se encuentra este proyecto reflejado como parte de la industria a la que pertenece, es un sector en auge en nuestro país así como en el resto de los países desarrollados. Numerosos proyectos e inversiones se están llevando a cabo en estos momentos en España, cito por ejemplo la Reciente ampliación de la Refinería de Cartagena con una inversión próxima a los 3000 mill. de € o la posiblemente nueva refinería de Balboa que está aún por proyectar. Este sector es directamente proporcional a la demanda y crecimiento interno de nuestro país por lo que está casi asegurado su futuro. Puede concluirse que el sector en el que se ha desarrollado este Proyecto Fin de Carrera es un sector en expansión y que el trabajo realizado presenta un interés relevante para profesionales que vayan a desarrollar su actividad en este ámbito.

Respecto al proyecto de la “Ampliación de la Estación de Bombeo de Arahal”, al que este proyecto va dirigido, actualmente se encuentra en funcionamiento y trabajando adecuadamente. La instalación consta de un sistema completamente automatizado pudiéndose operar con solo una persona de guardia. A su vez, el oleoducto del Nuevo Rotaza se encuentra funcionando al 100% y con unos rendimientos muy buenos, siendo las pérdidas de carga reales inferiores a las calculadas teóricamente en un principio.

Todos aquellos problemas que surgieron durante la fase de obra y comentados a lo largo de este proyecto, fueron resueltos satisfactoriamente. El aspecto más negativo de este proyecto fueron las grandes demoras en el tiempo de ejecución del proyecto no habiéndose alcanzado los hitos establecidos en un principio, sobre todo en la parte de obra civil y mecánica. Posiblemente se pueda achacar a la falta de suministros de materiales, los cambios realizados en el proyecto, las condiciones meteorológicas adversas y la difícil coordinación que existía para realizar la puesta en marcha al ser dependiente la E.B de Arahal de las E.B anteriores y precedentes que también se ampliaron

Posiblemente en este proyecto no se han desarrollado y explicado la estructura y el funcionamiento de toda la parte de alimentación de Alta tensión de la instalación, la



cual fue ampliada de 4000 kVAs a 10000 kVAs sustituyendo los dos transformadores de la instalación por otros 2 nuevos realizando paradas de 1 min de duración de la instalación. Tampoco se ha hablado de otros términos de ingeniería eléctrica como son los correctores del factor de potencia de los motores, protecciones eléctricas o los sistemas de tensión normal, tensión segura y tensión de emergencia. Todo esto podría ser objeto de estudio como ampliación de este proyecto en un futuro.

A continuación se exponen una serie de fotos con la planta ya finalizada y en servicio:



Figura 120 Válvula de control del oleoducto del Antigua Rotaza



Figura 121. Bombas MBP-4 y 5 del oleoducto del Antiguo Rotaza en servicio.



Figura 122 Vista del bombeo del “Nuevo Rotaza” desde la válvula de control



6 BIBLIOGRAFÍA

- Proyecto “Ampliación de la Estación de Bombeo de Arahál”
- Memoria de cimentaciones de P.M. Laguna Duque
- Manual de diseño de ingeniería de Petróleos de Venezuela S.A
- F.Richart. Vibrations and Soils Foundations
- ASME B16.34
- ANSI-B-36-10.
- API 5L
- <http://www.sapiens.itgo.com>
- Manual computadora 3500 de Bently Nevada
- Manual Proximito de Bently Nevada
- Manual Velomitor Bently Nevada
- Manual de Solartron
- Manual del densímetro Micro Motion, de Emerson, modelo 7835

A continuación se nombra la normativa, planos y pliegos de CLH utilizados:

- PG-OC-001
- PG-TU-001 TUBERÍAS.- SISTEMA DE TUBERÍAS Y EQUIPOS EN INSTALACIONES CONCENTRADAS Rev 1
- PG-TU-006 TUBERIA.-ACERO SIN SOLDADURA SEGUN API 5L Rev 3
- PG-OC-001 GENERAL Rev 1
- OL-OC-016 CRUCE O PARALELISMO CON OLEODUCTO EXISTETE Rev 0



- IA-OC-104 ZANJA PRINCIPAL EN ZONA PAVIMENTADA. BAJA Y ALTA TENSIÓN. TAPAS DESMONTABLES Rev 0
- PG-EQ-004 SUMINISTRO Y FABRICACION DE VALVULAS DE BOLA < 2" Rev 0
- PG-EQ-015 SUMINISTRO Y FABRICACION DE VALVULAS DE BOLA > 2 " Rev 0
- OL-TU-001 DETALLES DE SOLDADURA Rev 0
- PG-OL-008 SISTEMAS DE TUBERIAS EN EEBB Rev 0
- OL-TU-004 RASCADOR CALIBRADOR Rev 0
- OL-TU-005 TRAMPAS DE LIMPIEZA Rev 0
- OL-TU-010 DIAGRAMA DE TUBERIAS E INSTRUMENTACION. BANCO DE MEDICIÓN. EEBB TERMINAL DE OLEODUCTO Rev 0
- OL-TU-011 DIAGRAMA DE TUBERIAS E INSTRUMENTACION. BANCO DE MEDICIÓN. EEBB CABECERA DE OLEODUCTO Rev 0
- INSTRUCCIÓN TÉCNICA DE CLH PARA MONTAJE DE BRIDAS IT-9279

