



**DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ**

PROYECTO:

**ARRANQUE DE BANCO DE PRUEBAS
DE COMPRESOR CENTRÍFUGO**

ASESOR INTERNO:

ING. LORENZO MARCIANO VÁZQUEZ

ASESOR EXTERNO:

DR. OSCAR DE SANTIAGO DURÁN.

RESIDENTE:

LAIR SANTOS GONZÁLEZ

JUNIO, 2014

ARRANQUE DE BANCO DE PRUEBA DE COMPRESORES CENTRÍFUGOS.....	4
JUSTIFICACIÓN.....	5
SELLADO EN TURBOMAQUINARIA.....	6
TIPO DE SELLOS.....	6
SELLO LABERINTO.....	6
SELLO DE ANILLO DE CARBONO.....	7
SELLO MECÁNICO.....	7
SELLOS SECOS.....	8
OBJETIVOS.....	10
OBJETIVO GENERAL:.....	10
OBJETIVO ESPECÍFICO:.....	10
ARMADO DE SELLO HÚMEDO.....	11
PRUEBAS DE LUBRICACIÓN.....	12
CONEXIÓN DE INSTRUMENTACIÓN.....	13
SENSORES DE DESPLAZAMIENTO.....	13
SENSOR DE VELOCIDAD.....	14
RTD (RESISTANCE TEMPERATURE DETECTOR).....	15
TERMOPARES.....	16
VFD.....	17
SISTEMA DE MONITOREO.....	17
GABINETE DE DISPLAYS DE TEMPERATURA.....	18
GABINETE DE DESCARGA Y RETORNO.....	18
PRUEBAS GIRATORIAS DEL BANCO.....	19
PRUEBA CON SUCCIÓN Y DESCARGA A PRESIÓN ATMOSFÉRICA, CON SELLOS HÚMEDOS.....	19
PRUEBA HASTA 8,300 RPM.....	19
CONFIGURACIÓN DEL VFD.....	22
CRITERIO DE ACEPTACIÓN DEL MOTOR + TRANSMISIÓN + COMPRESOR BASADO EN TEMPERATURA.....	24

POS-PROCESAMIENTO DE DATOS.	25
RESULTADOS DE TEMPERATURAS.....	25
GRAFICAS DE TEMPERATURA.	27
GRAFICAS DE DESPLAZAMIENTO	29
RESULTADOS EN VELOCIDADES Y VIBRACIONES.	31
CONCLUSIONES.....	33
RECOMENDACIONES.....	33
REFERENCIAS.	34
BIBLIOGRAFÍAS.	34
COMPETENCIAS DESARROLLADAS.	35
ANEXO I. DTI SISTEMA DE LUBRICACIÓN.....	36
ANEXO II. ISOMÉTRICO DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN.	38
ANEXO III. ISOMÉTRICO DEL SISTEMA ELÉCTRICO.	43
ANEXO IV. COMPLEMENTO DE ACTIVIDADES (BANCO DE PRUEBAS DE SELLOS PARA TURBOMAQUINARIA).	48

Arranque de banco de prueba de compresores centrífugos.

Este reporte tiene por objetivo documentar las tareas que son necesarias para demostrar las capacidades del sello en un ambiente real de operación, controlando variables básicas como presión y temperatura del gas de sellado, así como la velocidad de giro del eje del compresor.

La TABLA 1. Muestra el cronograma de actividades para el proyecto.

No	Actividad principal	Semana															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Lecturas y familiarización	■	■														
2	Armado de sello húmedo		■	■													
3	Pruebas a sistema lubricación			■	■	■											
4	Conexión de instrumentación					■	■	■									
5	Pruebas giratorias del banco						■	■	■	■							
6	Post- procesamiento de datos										■	■	■	■			
7	Elaboración de reportes													■	■	■	■

Las actividades establecidas tienen por objetivo:

Lecturas y familiarización: Leer el marco del proyecto de desarrollo de sellos y entender los alcances del mismo, los retos técnicos y los objetivos a conseguir.

Armado de sello húmedo: Colocar los sellos de prueba en el compresor del banco, lo cual conlleva verificaciones dimensionales muy precisas.

Pruebas a sistema de lubricación: Este sistema es parte esencial del sellado; ya fue armado pero requirió de una re-configuración, la cual debe probarse extensamente para cubrir todos los modos de operación del sello.

Conexión de instrumentación: Las pruebas deben grabarse en sus variables principales: velocidad, presión, temperatura y adicionalmente vibraciones mecánicas del compresor al girar con los sellos instalados. Esto se logra con sensores apropiados e instrumentos electrónicos de adquisición de datos.

Pruebas giratorias del banco: Una vez instrumentado, se deben seguir protocolos de prueba previamente desarrollados específicamente para validar el diseño del sello.

Post-procesamiento de datos: Consiste en presentar los datos obtenidos durante los experimentos de manera adecuada para realizar conclusiones y conocer el desempeño del sello desarrollado.

Elaboración de reportes: Es necesaria la condensación, compilación y presentación de los métodos seguidos y de los resultados obtenidos para dejar evidencia aceptable del programa de desarrollo.

Como complemento se tiene contemplado el desarrollo de un banco de prueba para sellos de turbomaquinaria para producción; Este banco a diferencia del banco de pruebas de compresor centrífugo tendrá como recipiente un barril especialmente diseñado por CIATEQ y no un compresor.

Justificación.

En la actualidad en la industria en general se busca que los procesos industriales que se realizan sean lo más amigables posible con el medio ambiente, tratando de hacer adecuaciones a estos procesos para minimizar las emisiones contaminantes a la atmósfera. Los compresores centrífugos en la actualidad son muy utilizados en la industria petrolera, principalmente para el procesamiento del gas natural; El compresor centrífugo cuando está en operación comprime el gas natural, aumentando la presión interior del compresor, generando fuga al exterior por lo cual se ha buscado la tecnología adecuada para reducir emisiones.

Los sellos en los compresores centrífugos son los encargados de evitar estas fugas, existen una gran gama de tipos de sellos. De estos uno de los más usados en la industria son los sellos mecánicos o húmedos, pero en la actualidad se está optando por los sellos de gas secos ya que permiten que las fugas sean minimizadas y aumentan la eficiencia de la energía.

CIATEQ junto con una empresa externa han incursionado en el desarrollo, diseño y fabricación de sellos secos para turbinas de vapor, y en la actualidad se plantea innovar en el campo de los compresores centrífugos, esto conlleva nuevos retos como la reconfiguración de los sellos para adaptarlos al compresor. Para esto se planteo tres bancos de pruebas, cada uno con un enfoque diferente a desarrollar.

Los bancos son los siguientes:

1. Banco de pruebas para desarrollo de sellos de turbomaquinaria, enfocado principalmente para hacer análisis exhaustivos en los sellos.
2. Banco de pruebas de compresores centrífugos a escala real, enfocado para demostrar el funcionamiento del sello, en un compresor centrífugo real.
3. Banco de pruebas de sellos de turbomaquinaria para producción, enfocada para la aprobación de sello.

El presente trabajo tiene como objetivo el arranque de banco de pruebas de compresor centrífugo a escala real. Este lleva un proceso de 3 años en desarrollo; en la actualidad está en fase final y se tiene contemplado arrancar el compresor centrífugo a 8300 rpm.

Sellado en Turbomaquinaria.

La selección del sistema de sellado en turbomaquinaria es crítico para satisfacer el funcionamiento y la rentabilidad del proceso. El proceso determinará que tipo de lubricación para el sello debe utilizarse; las opciones son lubricación por aceite y lubricación por gas.

La evolución en los sistemas de sellado, ha contribuido en gran medida al desarrollo de nuevas tecnologías, como en las mejoras en los materiales y nuevos conceptos de diseño.

Tipo de sellos.

Sello laberinto.

El sello laberinto es un método de sellado muy simple para el eje rotatorio. Este contiene una serie de ranuras internas con forma de dientes que están cerca del alojamiento del eje. La distancia entre estos dientes y la superficie eje está estrechamente controlada para limitar la salida del fluido del compresor. La presión que maneja este tipo de sellos es baja y está limitada a 5 psi por cada diente; el escape de fluido de este sello es alto por eso suele usarse como complemento de otros sistemas de sellado. Cuando el fluido de trabajo no es peligroso puede ser liberado al medio ambiente, pero cuando el gas es contaminante o peligroso, se ingresa un gas neutro a mayor presión que el del gas de proceso denominado gas búfer.



Fig. 1 Sello laberinto bipartido [1]

El sello de anillo de carbono es muy semejante al sello laberinto. Este tipo de sello se utilizaba para procesos de baja presión y baja temperatura. Para prevenir fugas del gas de proceso a la atmosfera se inyecta gas búfer o vapor entre el arreglo de sellos de anillos de carbono. Este tipo de sello también puede ser usado como un dispositivo de interrupción de presión, además de que no está limitado a la velocidad del eje.

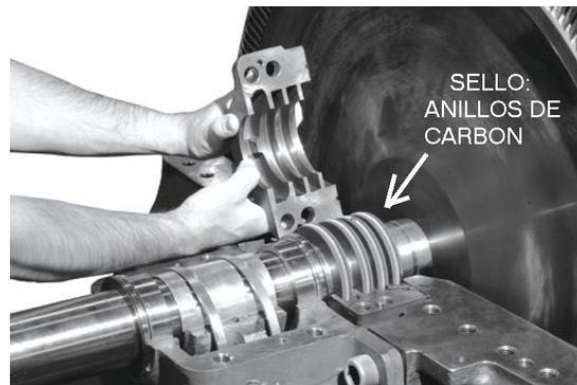


Fig. 2 Anillo de carbono. [2]

Sello mecánico

Un sello mecánico es una de las principales parte de una turbomaquinaria que permite conectar los mecanismos giratorios para detener las pérdidas gas en la estructura de la maquina que se encuentra sometida a presión.

La Turbomaquinaria requiere sellos alrededor del eje rotativo para evitar que los gases se fuguen al exterior. La turbomaquinaria puede tener dos sellos, uno en cada extremo del la maquina, o sólo un sello en el lado motor. Estos sellos utilizan aceite con presiones altas entre el anillo de carbono y el anillo giratorio alrededor del eje del compresor, formando una barrera contra las fugas de gas comprimido además de que sirve como lubricación y refrigerante.



Fig. 3 Sello mecánico DEPAC tipo cartucho. [3]

El anillo giratorio se encuentra sujeto al eje rotativo, mientras que el anillo estacionario se encuentra en contacto con el eje, la manga precargada por un resorte y el anillo giratorio; En la superficie de contacto el aceite tiene dos funciones que son, la lubricación intermitente no controlada y enfriar las caras de contacto.

Parte del aceite de alta presión pasa a la cámara donde se encuentra el gas, y este aceite se contamina. El aceite del sello se purga del gas absorbido (usando calentadores, tanques de evaporación y técnicas de desgasificación) y se recircula.



Fig. 4 Sello mecánico EAGLE BRUGMANN tipo cartucho. [4]

Sellos secos

Una alternativa al sistema tradicional de sellos húmedos (aceite) es el sistema de sellos de gas secos. Este sistema de sello no usa ningún aceite circulante de sellado. Los sellos secos operan mecánicamente bajo la fuerza opuesta creada por las ranuras hidrodinámicas y la presión estática. Las ranuras hidrodinámicas están grabadas en la superficie del anillo giratorio sujeto al eje del compresor, estos pueden variar en aspecto pero siguen teniendo el mismo efecto. Cuando el compresor no está girando, el anillo estacionario en la envoltura del sello está presionado contra el anillo rotatorio por medio de resortes. Cuando el eje del compresor gira a alta velocidad, el gas comprimido tiende a fugarse por el eje, y eso es entre los anillos giratorios y los estacionarios. Este gas se bombea entre los anillos mediante ranuras en el anillo giratorio.

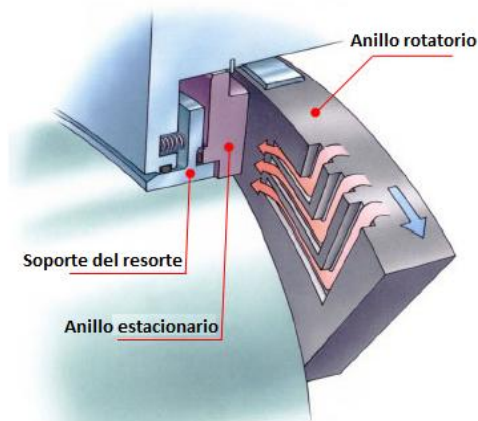


Fig. 5 Interacción del anillo giratorio y anillo estacionario.

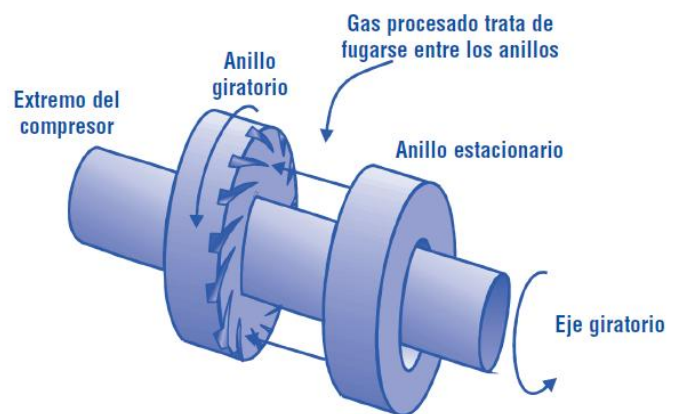


Fig. 6 Sellado de gas seco. [5]

La fuerza opuesta de gas a alta presión que se bombea entre los anillos y los resortes tratando de empujar los anillos entre sí, crea un espacio demasiado delgado entre los anillos a través del cual puede fugarse un poco de gas. Mientras el compresor está funcionando, los anillos no están en contacto entre sí, y por lo tanto, no se desgastan ni necesitan lubricación. Los o-rings sellan los anillos estacionarios en la caja del sello.



Fig. 7 Sello cartucho, unidireccional o bidireccional, arreglo doble o sencillo. [6]

Colocar uno o más de estos sellos secos juntos en series, se llama, “sellos secos en tándem”, y es muy eficaz para reducir las fugas de gas. Este tipo de sello tiene menos de uno por ciento de las fugas de un sistema de sello húmedo ventilado a la atmósfera y mucho menor costo de operación. Los sellos secos de gas reducen significativamente las emisiones del gas de trabajo. A la vez, reducen significativamente el costo de operación y mejoran la eficacia del compresor.



Fig. 8 Sello para vapor, tipo cartucho, unidireccional. [7]

Objetivos.

Objetivo General:

El alcance de estas actividades es cumplir con los estándares establecidos para validar el funcionamiento del banco con los componentes originales de diseño, para poder proseguir con las pruebas de sellos.



Fig. 9 Banco de pruebas de compresores centrífugos a escala real.

Objetivo Específico:

Completar los circuitos mecánicos e instrumentación necesarios para arrancar un banco de pruebas de compresores centrífugos de escala real.



Fig. 10 Banco de pruebas para desarrollo de sellos



Fig. 11 Banco de pruebas de sellos de turbomaquinaria para producción.

Armado de sello húmedo.

En este apartado se explicara el funcionamiento específico del sello. El tipo de sello utilizado para las pruebas es un sello mecánico de contacto tipo iso-carbon de elliott turbomachinery. []

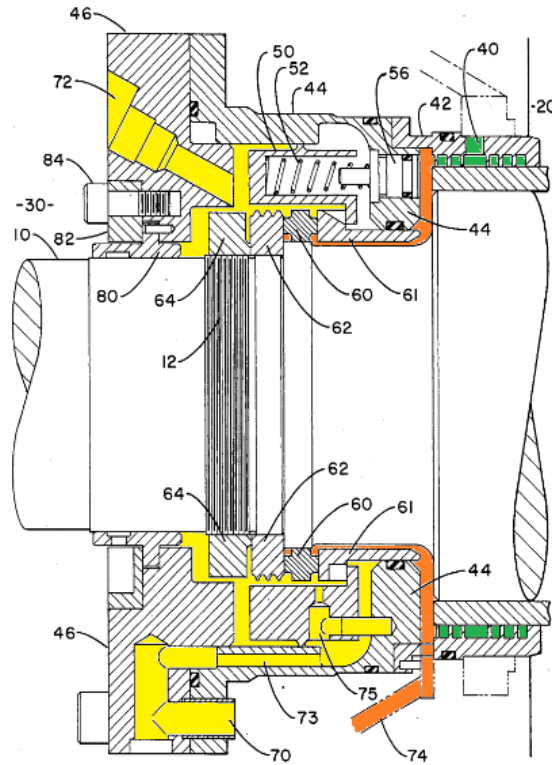


Fig. 12 Sello mecánico tipo iso-carbon. [8]

Cuando el compresor se pone en marcha la presión interna (20), del gas empieza a crecer tratando de escapar por el eje (10), este es retenido en primera instancia por el sello laberinto (42) ya que este lo que hace es reducir el efecto de penetración del gas, el sello laberinto cuenta con un sistema búfer (40), que permite pasar solamente el gas comprimido ya que por las altas presiones este tiende a condensarse, así la mayor parte del gas se mantienen dentro del compresor.

El gas de comprimido que llega a pasar por el laberinto entra a la cámara donde se encuentra la parte interior del anillo de carbón (60), el gas de trabajo condensado no puede pasar entre las paredes del anillo de carbón y la manga (61), ya que en la parte exterior del anillo de carbono se encuentra a mayor presión.

El anillo giratorio (62) se encuentra girando junto con el eje y se encuentra en medio de la tuerca de retención (64) y el anillo de carbono (60); El aceite ingresado en la parte exterior de los anillos contiene una mayor presión que el gas de proceso entonces por la diferencia de presiones parte del aceite de lubricación pasa a la cámara interior del anillo de carbono, haciendo que el aceite limpio se combine con el gas de comprimido.

El sello tiene dos descargas de aceite que son la descarga de aceite limpio (72), y la descarga de aceite contaminado (74), el cual pasa por un proceso de separación para poder ingresarlo con el aceite limpio.

Pruebas de lubricación.

En las pruebas de sistema de lubricación se está verificando el correcto funcionamiento de las bombas de descarga de los sellos y de los cojinetes, además de que el retorno de este sea el correcto y que la presión de las bombas se mantenga en un estándar de 15 a 18 psi que viene preestablecido en las actividades de prueba de succión y descarga a presión atmosférica, con sellos húmedos.



Fig. 13 Sistema de lubricación.



Fig. 14 Sistema de Retorno.

Durante las pruebas se encontró deficiencias en el retorno, por lo cual se optó por utilizar el retorno por gravedad, ya que la tubería tiene la suficiente capacidad para satisfacer este proceso.



Fig. 15 Retorno por gravedad.

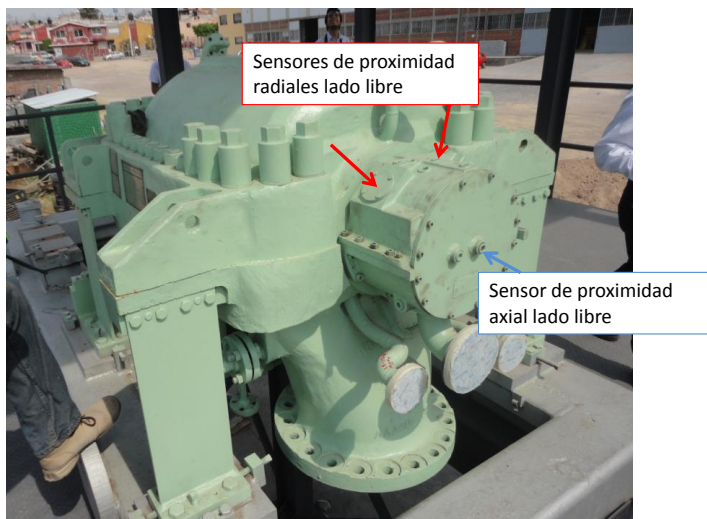
Como una actividad complementaria se realizó el isométrico y el DTI del sistema de lubricación ya que, durante la instalación de la tubería este sufrió ciertas adecuaciones, por lo cual se necesitó los planos de campo. Estos planos se encuentran en los anexos I y II; Los datos como las medidas y las marcas de los accesorios utilizados no se mostraron ya que existe confidencialidad con el cliente.

Conexión de instrumentación.

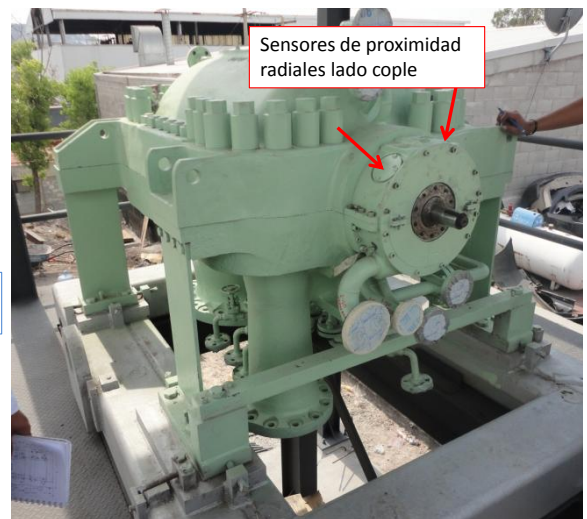
Sensores de desplazamiento

Los sensores de desplazamiento empleados consisten en sensores de proximidad de corriente de Eddy. Los sensores de proximidad se fijan en bayonetas que se atornillan a las tapas de los cojinetes y tienen como objetivo el rotor del compresor, por lo que registran el desplazamiento del rotor relativo a la carcasa del compresor. Se monta un sensor de proximidad radialmente a 45° de la vertical en la dirección de giro del rotor y otro a 45° de la vertical en la dirección contraria al giro del rotor para cada extremo del rotor, siendo un total de 4 sensores radiales.

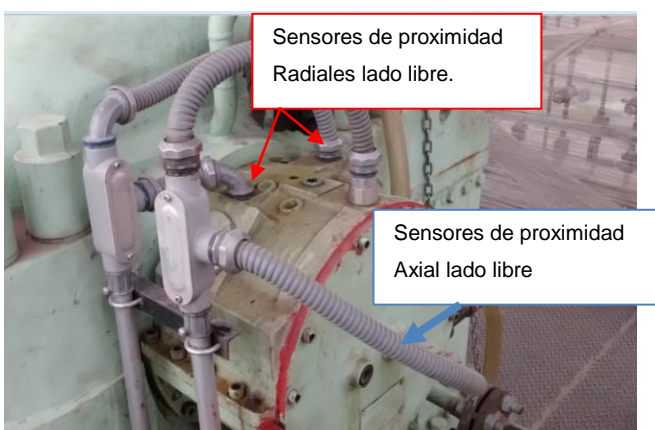
Adicionalmente se monta un sensor de proximidad axial en una bayoneta en el extremo libre del rotor. El funcionamiento correcto de los sensores de proximidad debe ser verificado antes de la instalación. Para la operación del compresor solo se busca una confirmación de que el sensor se encuentra conectado correctamente al sistema de monitoreo y adquisición de datos. La operación de verificación requiere de dos personas, una persona desconectará sucesivamente cada uno de los sensores de proximidad mientras la otra confirma el cambio en el sistema de monitoreo a un estado de error (por el sensor desconectado).



a) Compresor lado libre.



b) Compresor lado cople.



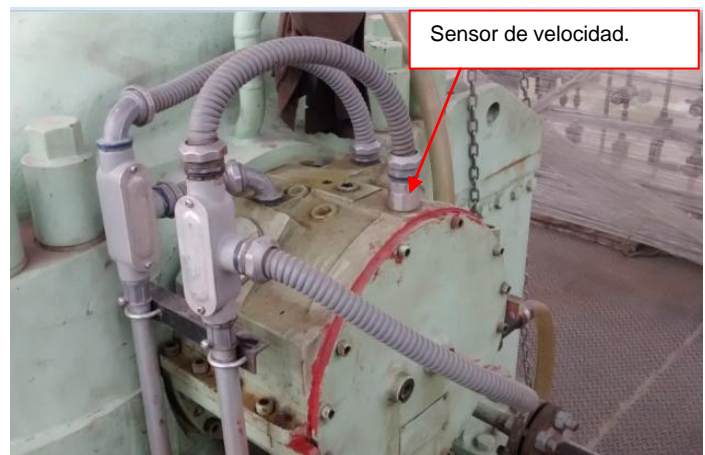
Sensor de velocidad

El sensor de velocidad consiste en un sensor de proximidad de corriente de Eddy orientado a una muesca en el rotor, motor o transmisión dependiendo de la prueba a realizar. El sensor se orienta al rotor para una prueba del sistema completo, mientras que se orienta al motor o a la transmisión para validar el funcionamiento y cuantificar la influencia de cada uno en el sistema completo.

El funcionamiento correcto del sensor de velocidad debe ser verificado antes de la instalación. Para la operación del compresor solo se busca una confirmación de que el sensor se encuentra conectado correctamente al sistema de monitoreo y adquisición de datos. La operación de verificación requiere de dos personas, una persona desconectará el sensor de proximidad mientras la otra confirma el cambio en el sistema de monitoreo a un estado de error (por el sensor desconectado). La verificación debe registrarse en la tabla al final de este protocolo con la fecha y firma del verificador en el sistema de monitoreo.



a)



b)

Fig. 17 Sensor de velocidad

El funcionamiento correcto de los RTD's debe ser verificado antes de la instalación. Para la operación del compresor solo se busca una confirmación de que el sensor se encuentra conectado correctamente al sistema de monitoreo. Los RTD's se encuentran conectados a indicadores de temperatura.

La operación de verificación requiere de una persona que debe confirmar la indicación correcta de la temperatura en el indicador.

En caso de que el sensor se encuentre desconectado el indicador mostrará la palabra OPEN, la palabra SENS en el indicador puede implicar una conexión incorrecta y la palabra SHRT significa que el sensor se encuentra en corto. Cualquier mensaje en el indicador diferente a la temperatura requiere de la revisión del manual del indicador y las conexiones del sensor.



a) Compresor lado libre

b) Compresor lado cope



Fig. 18 RTD's

El funcionamiento correcto de los Termopares debe ser verificado antes de la instalación. Para la operación del compresor solo se busca una confirmación de que el sensor se encuentra conectado correctamente al sistema de monitoreo. Los Termopares se encuentran conectados a indicadores de temperatura.

La operación de verificación requiere de una persona que debe confirmar la indicación correcta de la temperatura en el indicador.

En caso de que el sensor se encuentre desconectado el indicador mostrará la palabra OPEN. La leyenda HHHH indica que la temperatura es más alta que el rango especificado y LLLL indica que la temperatura es más baja que el rango especificado, en estos dos casos es necesario verificar la configuración del indicador de acuerdo a su manual. Cualquier otro mensaje en el indicador diferente a la temperatura requiere de la revisión del manual del indicador y las conexiones del sensor.

La verificación debe registrarse en la tabla al final de este protocolo con la fecha y firma del verificador.

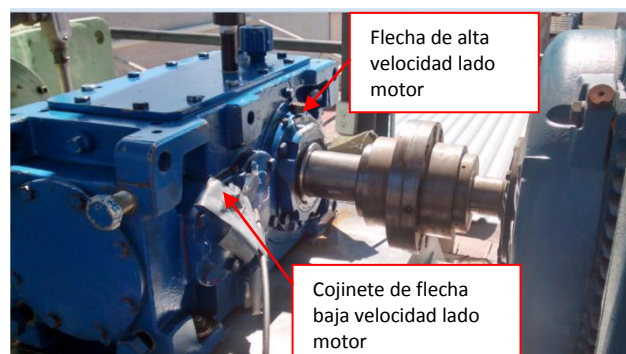
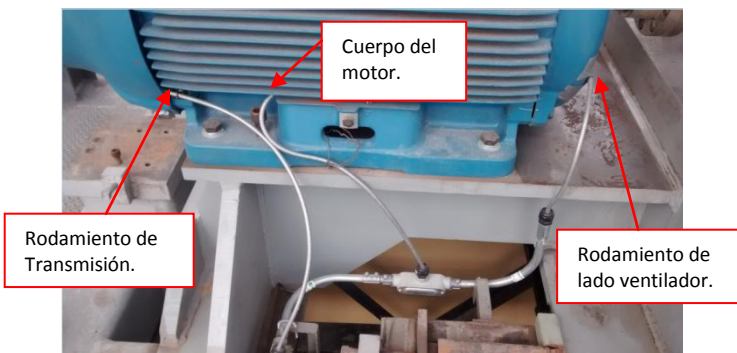
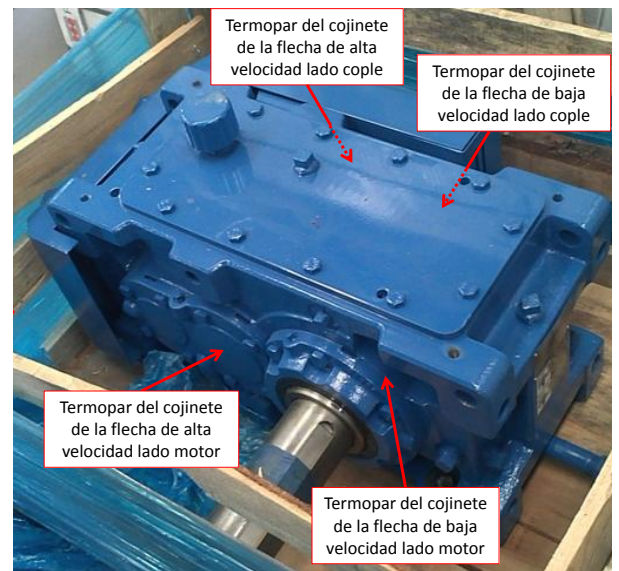
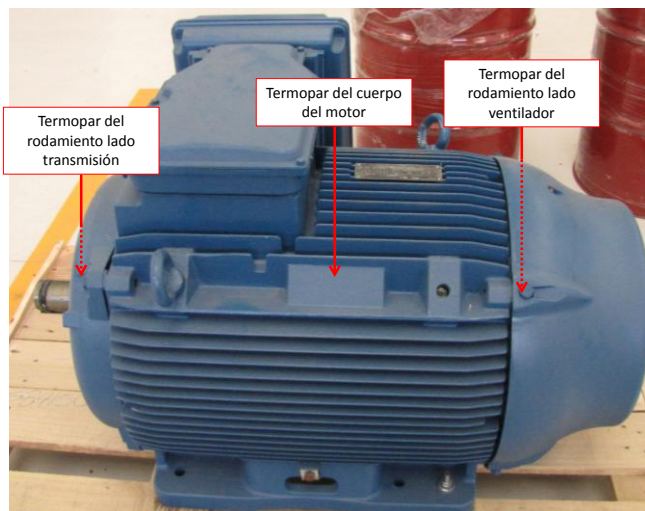


Fig. 19 Termopares.

VFD

El VFD (variable frequency drive) permitirá el control de voltaje y la corriente del motor de inducción, permitiendo regular las revoluciones requeridas para la prueba. Durante las pruebas este deberá ser monitoreado para las alteraciones de la corriente para verificar que no sobrepase la establecida para el motor.

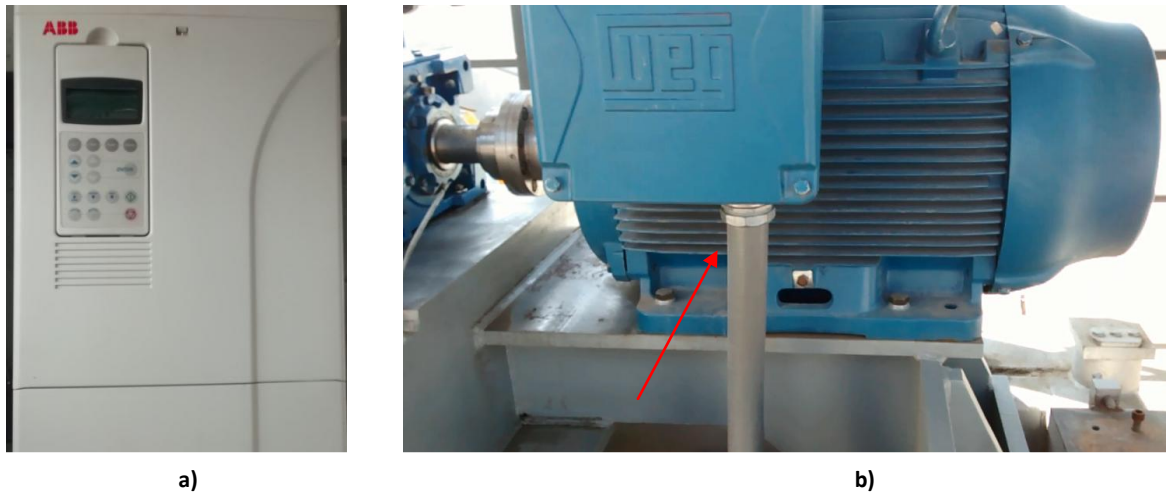


Fig. 20 Instalación VFD y motor.

Sistema de monitoreo.

El sistema de monitoreo NI PXIe cuenta con la conexión PCI Express, para cumplir con una gran variedad de necesidades de aplicación de pruebas y medidas. Acepta módulos PXIe Express en cada ranura. Que permiten la transmisión de datos de alta frecuencia.

Los sensores que serán instalados en el sistema de monitoreo, son los sensores de desplazamiento y de velocidad.

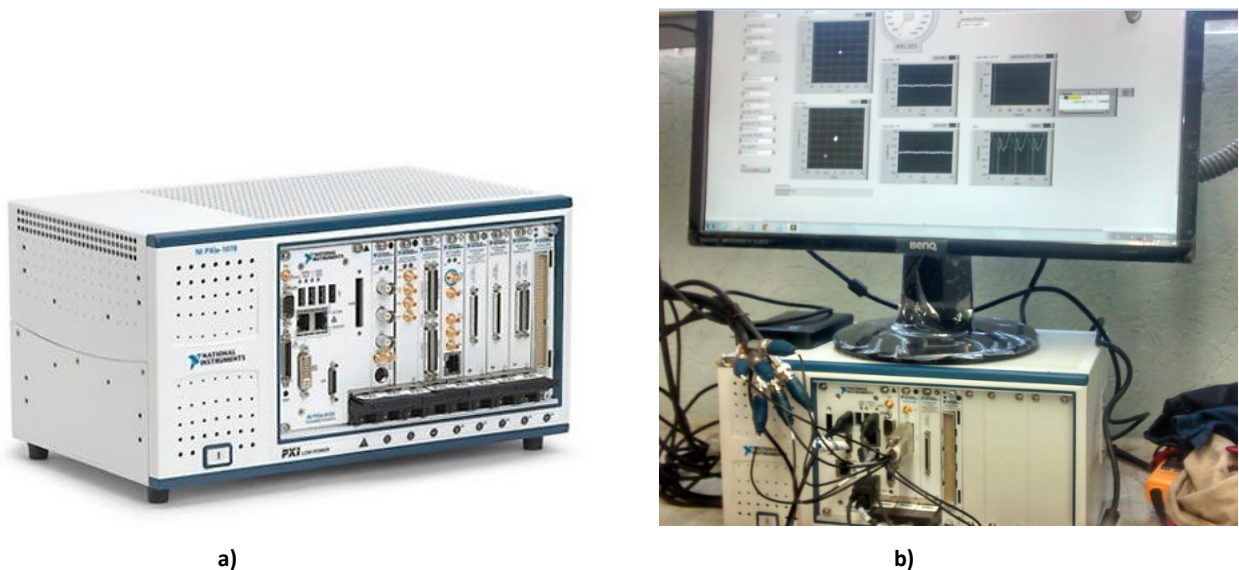


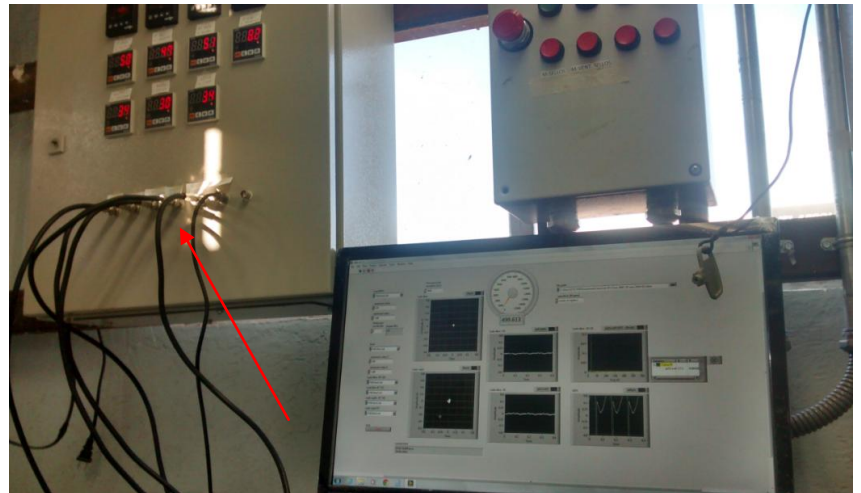
Fig. 21 a) Sistema de monitoreo NI PXIe.
b) Aplicación de LabVIEW.

Gabinete de displays de temperatura

Los datos de los termopares y los RTD serán mostrados en displays, y los datos serán adquiridos de manera manual. Los RTD cada minuto y los termopares cada 5 minutos, ya que los rodamiento no deben sobrepasar la temperatura establecida por diseño pudiendo tener daños físicos. Después de haber obtenido los datos se deberán capturarlos a la computadora, para su posterior análisis.



a)



b)

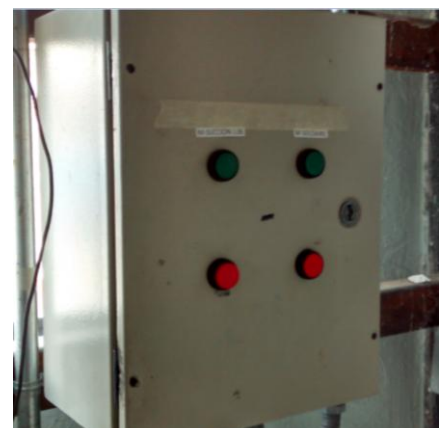
Fig. 22 a) displays de temperatura
b) Conexión del sistema de monitoreo con displays.

Gabinete de descarga y retorno.

Estos gabinetes permiten controlar el sistema de alimentación y retorno de aceite de los sellos y cojinetes.



a)



b)

Fig. 23 a) Control sistema de alimentación
b) Control del sistema de retorno.

Pruebas giratorias del banco.

Prueba con succión y descarga a presión atmosférica, con sellos húmedos.

Durante la prueba de validación “Motor + transmisión + compresor” con succión y descarga a presión atmosférica el sistema es operado con aire, la succión del aire es de la atmósfera y la descarga es nuevamente hacia la atmósfera. La prueba se hace inicialmente con sellos húmedos para validar el funcionamiento del banco con los componentes originales de diseño.

La prueba de validación con succión y descarga a presión atmosférica fue realizada parcialmente en múltiples ocasiones. Se describe una de las pruebas en la que se alcanza la velocidad de 8,300 rpm por ser la más relevante al capturar el comportamiento dinámico del compresor en su rango completo de velocidades. El resto de las pruebas se desarrollaron de manera análoga y por tanto solo se describen las modificaciones y parámetros más relevantes para alcanzar la velocidad máxima de operación del compresor.

Prueba hasta 8,300 rpm

El procedimiento de prueba fue el siguiente:

1. Se verifica que no exista nada que pueda dañarse en contacto con la flecha del motor, en contacto con las flechas de la transmisión o con el compresor.
2. Se verifica que el motor y la transmisión se encuentran correctamente atornillados a su soporte.
3. Se verifica la instalación correcta de los termopares del motor y de la transmisión, así como 4 RTD's y 5 sensores de desplazamiento del compresor (4 radiales y 1 axial). Uno de los RTD's de la chumacera axial se encuentra desconectado como resultado de pruebas anteriores, se decide continuar con la prueba actual dado que se tiene registro de que el otro RTD de la chumacera axial (el cual se encuentra correctamente instalado) ha presentado elevaciones de temperatura más grandes y por tanto es más crítico. En el protocolo de pruebas se consideran sensores de aceleración adicionales que no estaban disponibles al momento de hacer las pruebas.

4. Se fija el sensor de velocidad en la bayoneta correspondiente del lado libre y se verifica su correcta orientación a la muesca en la flecha del rotor del compresor.
5. Se verifica la conexión del sensor de velocidad al sistema de monitoreo y adquisición de datos.
6. Se abren las válvulas de succión y descarga del compresor a la atmósfera.
7. Se programa en el drive una rampa de aceleración constante para llevar el motor de 0 rpm a 3,570 en 80 segundos (aceleración de 44.6 rpm/s en el motor). Dado que la transmisión tiene una relación de 3.15, la rampa equivalente en el rotor del compresor es de 140.5 rpm/s (en un lazo abierto). La rampa de deceleración es idéntica a la de aceleración. La rampa utilizada es más lenta que la considerada en el protocolo (70 rpm/s en el rotor del compresor) con la finalidad de reducir la corriente durante la aceleración.
8. Se arranca la bomba de aceite de los cojinetes con la recirculación totalmente abierta y la válvula de alimentación cerrada.
9. Después de calentar el aceite a una temperatura por encima de 30°C, se abre la válvula de alimentación de aceite a los cojinetes (con la válvula de recirculación totalmente abierta).
10. Se enciende la bomba de retorno de aceite de sellos y cojinetes la cual es complementada con mangueras de retorno por gravedad.
11. Se ajusta la presión de alimentación de aceite de los cojinetes entre 17 y 18 PSIG mediante la válvula de recirculación del sistema de lubricación para cojinetes. Los cojinetes se encuentran aguas abajo de los sellos y por tanto se encuentran en una zona de baja presión (relativa a la presión interna de un compresor en operación normal).
12. Se arranca la bomba de aceite de los sellos con la válvula de alimentación cerrada y la recirculación totalmente abierta.
13. Se abre la válvula de alimentación de aceite a los sellos húmedos para proveer de aceite a los sellos.
14. Después de unos segundos se abre la válvula de recirculación de aceite de los sellos y se cierra la válvula de alimentación a los sellos.
15. Se apaga la bomba de alimentación de aceite para sellos. Durante la prueba se opera el sello húmedo sin gas buffer a diferencia de lo recomendado en el protocolo (operar con gas buffer a 5 PSIG). La prueba es realizada sin alimentación de aceite continua a los sellos. La prueba actual tiene la finalidad de validar el funcionamiento del compresor y caracterizar su comportamiento

- dinámico (no necesariamente el funcionamiento de los sellos) por tanto las limitaciones en la operación del sello son consideradas aceptables.
16. Se comienza a adquirir datos de los sensores de desplazamiento con el sistema de monitoreo.
 17. Se comienza el registro de temperaturas para los 3 RTD's de los cojinetes del compresor (no se tiene registro para esta prueba del RTD desconectado), los tres termopares del motor y los cuatro termopares de la transmisión. Las temperaturas de los RTD's son registradas cada minuto y las temperaturas de los termopares cada 5 minutos.
 18. Se arranca el motor y se espera hasta alcanzar la velocidad de 500 rpm en el compresor (158.7 rpm en el motor).
 19. Se eleva la velocidad del compresor hasta 2,000 rpm (634.9 rpm en el motor) y después de unos segundos se eleva la velocidad del compresor hasta 8,300 rpm (2,634.9 rpm en el motor). Durante la aceleración es necesario verificar que los criterios de paro basados en vibraciones y temperatura no sean superados. El protocolo considera una aceleración desde 0 hasta 8,322 rpm, por motivos de seguridad se mantienen las velocidades de 500 y 2,000 rpm y se verifica que el compresor se encuentra funcionando normalmente antes de elevar la velocidad.
 20. Después de unos segundos un rodamiento de la transmisión alcanza 120°C (rodamiento del eje de alta lado compresor) y el compresor es decelerado hasta las 500 rpm. El protocolo de pruebas considera permanecer en la velocidad máxima por 10 minutos, lo cual es imposible con las limitaciones actuales de la transmisión.
 21. Se detiene por completo el compresor una vez que las temperaturas registradas por los termopares de la transmisión son iguales. La rampa de deceleración es más lenta que la considerada en el protocolo.
 22. Una vez que el motor y compresor se encuentran totalmente detenidos se abre totalmente la válvula de recirculación de aceite para cojinetes y se cierra la válvula de alimentación.
 23. Se apaga la bomba de aceite de cojinetes.
 24. Se espera aproximadamente un minuto y se apaga la bomba de retorno de aceite.
 25. Se cierran las válvulas de succión y descarga del compresor.

La **Tabla 1** muestra un resumen de algunos parámetros relevantes para la prueba descrita. Otros parámetros del VFD se describen en la sección Configuración del VFD.

Tabla 1. Resumen de prueba 30-ene-2014 No. 4.

Rampa de aceleración (en el VFD)	0-3,570 rpm en 80s
Rampa de deceleración (en el VFD)	3,750-0 rpm en 80s
Corriente máxima (parámetro 20.03 del VFD)	320 A (ver detalles en la sección Configuración del VFD).
Presión de alimentación de aceite a cojinetes	18 PSIG
Velocidad máxima alcanzada	8,351 rpm

Configuración del VFD

La configuración del VFD está basada en el Macro de Aplicación de Fábrica (un macro consiste en una serie de parámetros pre-programados). A continuación se describen los parámetros adicionales configurados de manera específica. La **Tabla 2** muestra la configuración del grupo de parámetros 99 (el cual incluye los parámetros de la placa del motor):

Tabla 2. Grupo de parámetros 99 - Datos de partida.

Parámetro	Valor	Descripción
99.02	Fabrica	Macro de aplicación
99.04	DTC	
99.05	460 V	Tensión nominal del motor
99.06	219 A	Intensidad nominal del motor
99.07	60 Hz	Frecuencia nominal del motor
99.08	3570 rpm	Velocidad nominal del motor
99.09	149.2 KW	Potencia nominal del motor
99.10	Ident Magn	Marcha de identificación del motor

La **Tabla 3** la configuración del grupo de parámetros 11 para Selección de la Referencia, el resto de parámetros del grupo permanecen de acuerdo al Macro de Aplicación de Fábrica.

Tabla 3. Grupo de parámetros 11 – Selección de referencia.

Parámetro	Valor	Descripción
11.01	REF1	Referencia facilitada desde el panel en RPM
11.03	Panel/Keypad	Origen de señal para la referencia externa REF1

La **Tabla 4** muestra la configuración del grupo de parámetros 20 - Límites. El parámetro 20.03 es modificado en múltiples ocasiones para permitir que el motor trabaje por encima de su corriente nominal (no recomendable para operación continua).

Tabla 4. Grupo de parámetros 20 - Límites.

Parámetro	Valor	Descripción
20.01	25 rpm	Velocidad mínima del motor
20.02	3570 rpm	Velocidad máxima del motor
20.03	320 A	Intensidad máxima (este parámetro fue modificado en múltiples ocasiones)

La **Tabla 5** muestra los parámetros modificados del grupo 22 – Aceleración/Deceleración.

Tabla 5. Grupo de parámetros 22 – Aceleración, Deceleración.

Parámetro	Valor	Descripción
22.01	ACE/DEC 1	Par activo de tiempos de aceleración y deceleración.
22.02	80 s	Tiempo de aceleración 1.
22.03	80 s	Tiempo de deceleración 1.

Se registraron las mediciones de corriente tomadas con un amperímetro de gancho antes del switch del VFD (una fase a 60 Hz) contra la corriente desplegada por el VFD y existe una discrepancia de hasta 80 A. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra la posición del amperímetro de gancho. La **Tabla 6** muestra el registro de corrientes a diferentes velocidades del motor (el registro fue tomado en distintas pruebas del banco).

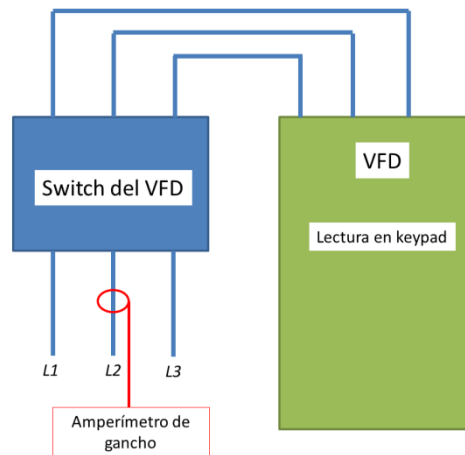


Fig. 24 Posición de lectura de corriente con amperímetro de gancho.

Tabla 6. Registro de corrientes en amperímetro y keypad del VFD.

Velocidad [rpm]	Corriente en Amperímetro de gancho [A]	Corriente desplegada por el VFD [A]
500	4.6	48
2000	20	71
6000	145	218
6500	132	209
7300	193	270
8300	247	315

Criterio de aceptación del motor + transmisión + compresor basado en temperatura

Para una operación confiable la temperatura del aceite a la salida del cojinete de empuje está limitada a 85°C (185°F de acuerdo al manual del fabricante). Se considera aceptable cualquier temperatura del aceite por debajo del límite para el cojinete de empuje y se utiliza como instrumento los RTD's instalados en los cojinetes del compresor.

Pos-procesamiento de datos.

Después de haber checado el correcto funcionamiento del sistema de lubricación y de instrumentación empezaron las pruebas establecidas en las actividades. La velocidad fue registrada por el sistema de monitoreo.

Los datos como la temperatura y la corriente fueron capturadas manualmente por determinados tiempos, luego los registros fueron ingresados a la computadora para realizar los siguientes análisis.

Resultados de temperaturas.

Durante el punto crítico de la prueba los sensores de temperatura, se encontraron estables dentro de lo establecido, excepto por el sensor ubicado en la flecha de alta, acoplado con el compresor ya que es donde existe mayor carga, llegando a una temperatura de 120 C, superando lo establecido por el fabricante que establece que la temperatura de trabajo a operación continua máxima es de 85 C, por lo cual se tomaran en cuenta estos datos para pruebas futuras.

Tabla 7 Medición de temperatura en los elementos del compresor.

Tiempo	Velocidad (rpm)	Radial L.C	Radial L.L	Axial Activo	Axial Inactivo	F. Baja L. Motor	F.Baja L.Comp	F. Alta L. Motor
s	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
55.1976	500	38.2	39.9		39.5	44	41	42
115.1976	2000	42.5	46.3		41			
175.1976	8300	49.1	74.5		51.4	44	44	45
235.1976	8300	50	73		50	46	47	50
355.1976	500	45.8	46		41.9	52	53	55
415.1976	500	43.9	44.8		42.2	51	53	55
475.1976	500	43.3	44.4		42.4			
535.1976	500	43	44.2		42.7			
595.1976	500	42.9	44.1		42.9			
655.1976	500	43	44.1		43			
715.1976	500	43	44.1		43.1	49	55	55
775.1976	500	43.1	44.1		43.2			
835.1976	500	43.1	44.2		43.2			

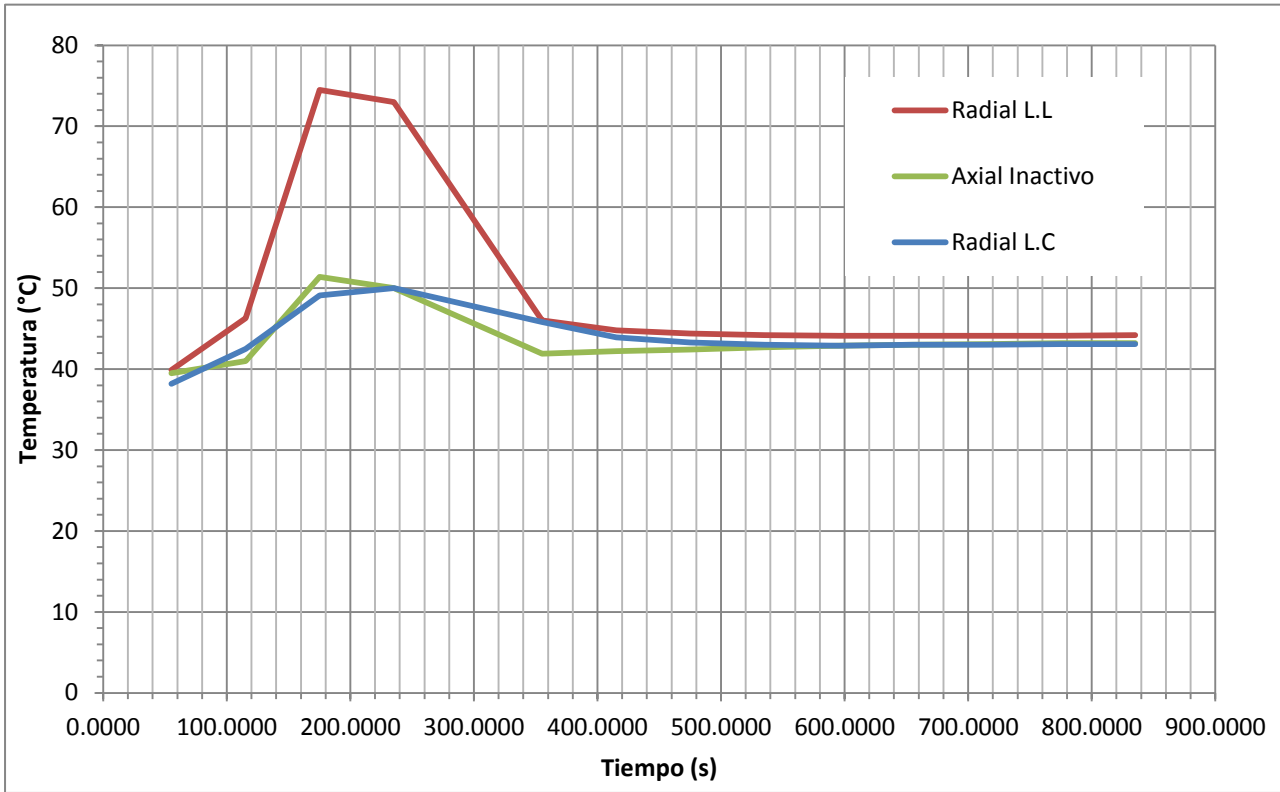
Tabla 8 Medición de temperatura en elementos del motor y transmisión.

Tiempo	Velocidad (rpm)	F. Baja L. Motor	F. Baja L.Comp	F. Alta L. Motor	F. Alta L.Comp	Motor L.Vent	Motor Cuerpo	Motor L.Cople
s	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
55.1976	500	44	41	42	38	29	31	28
115.1976	2000							
175.1976	8300	44	44	45	91	30	30	30
235.1976	8300	46	47	50	120	34	31	33
355.1976	500	52	53	55	88	34	31	34
415.1976	500	51	53	55	75	33	31	34
475.1976	500				72			
535.1976	500				65			
595.1976	500				61			
655.1976	500				58			
715.1976	500	49	55	55	58	33	31	32
775.1976	500							
835.1976	500				55			

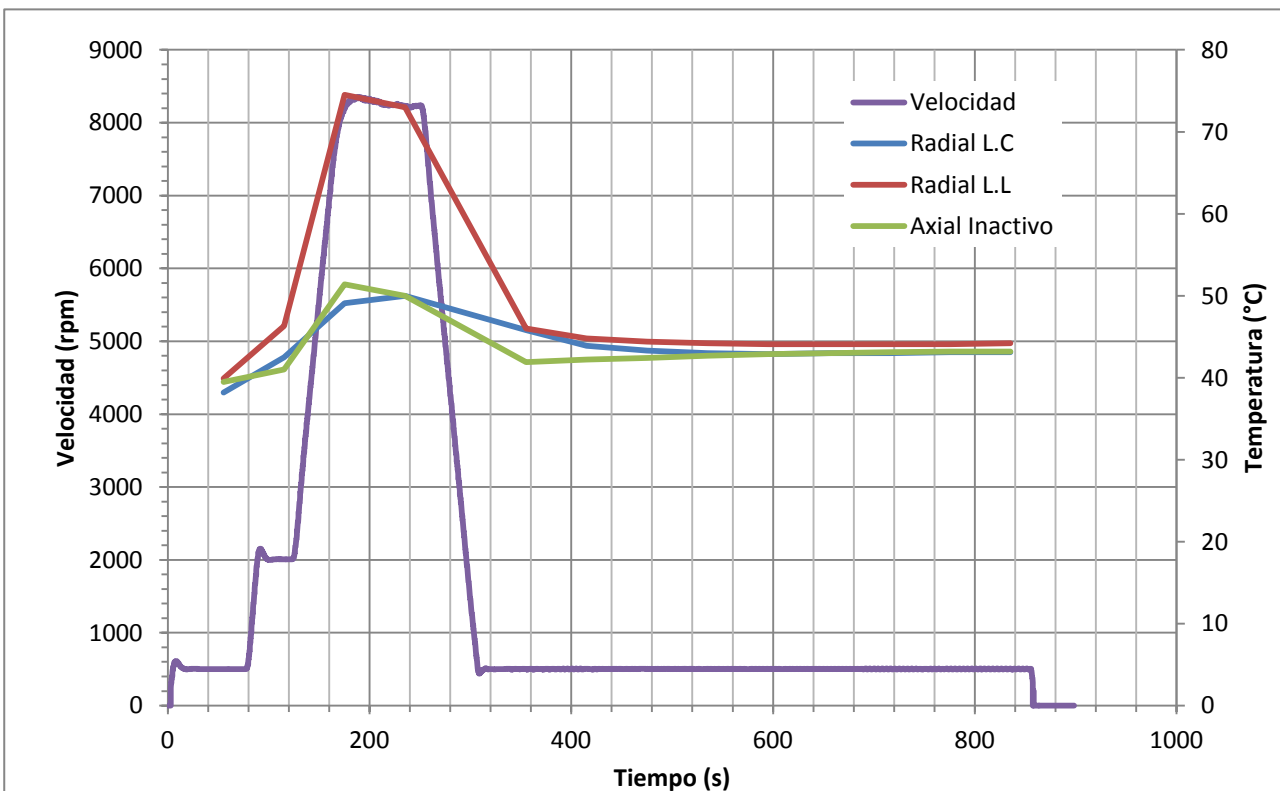
Tabla 9 Corriente eléctrica de switch y drive.

Tiempo	Velocidad (rpm)	Switch	Drive
s	°C		
55.1976	500	4.4	47
115.1976	2000		
175.1976	8300	247	315
235.1976	8300		
355.1976	500		
415.1976	500		
475.1976	500		
535.1976	500		
595.1976	500		
655.1976	500		
715.1976	500		
775.1976	500		
835.1976	500		

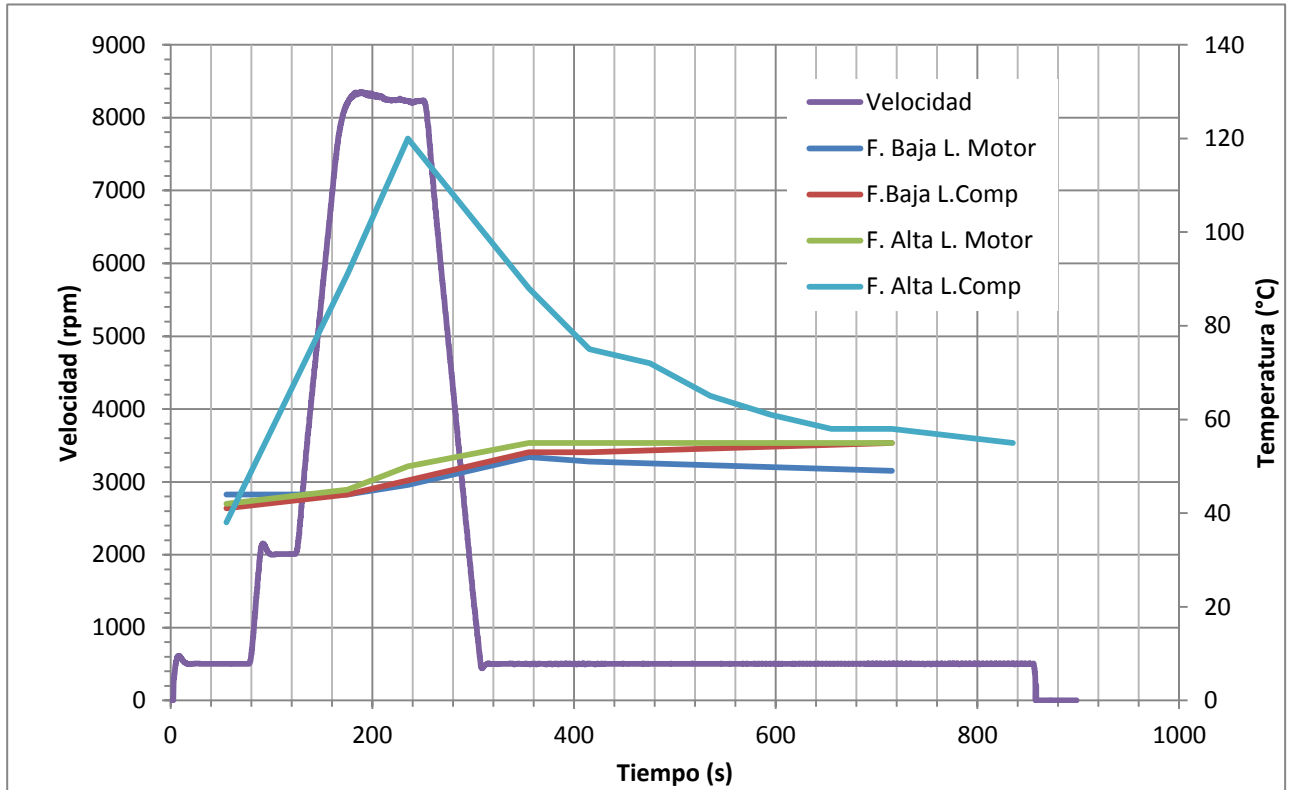
Graficas de temperatura.



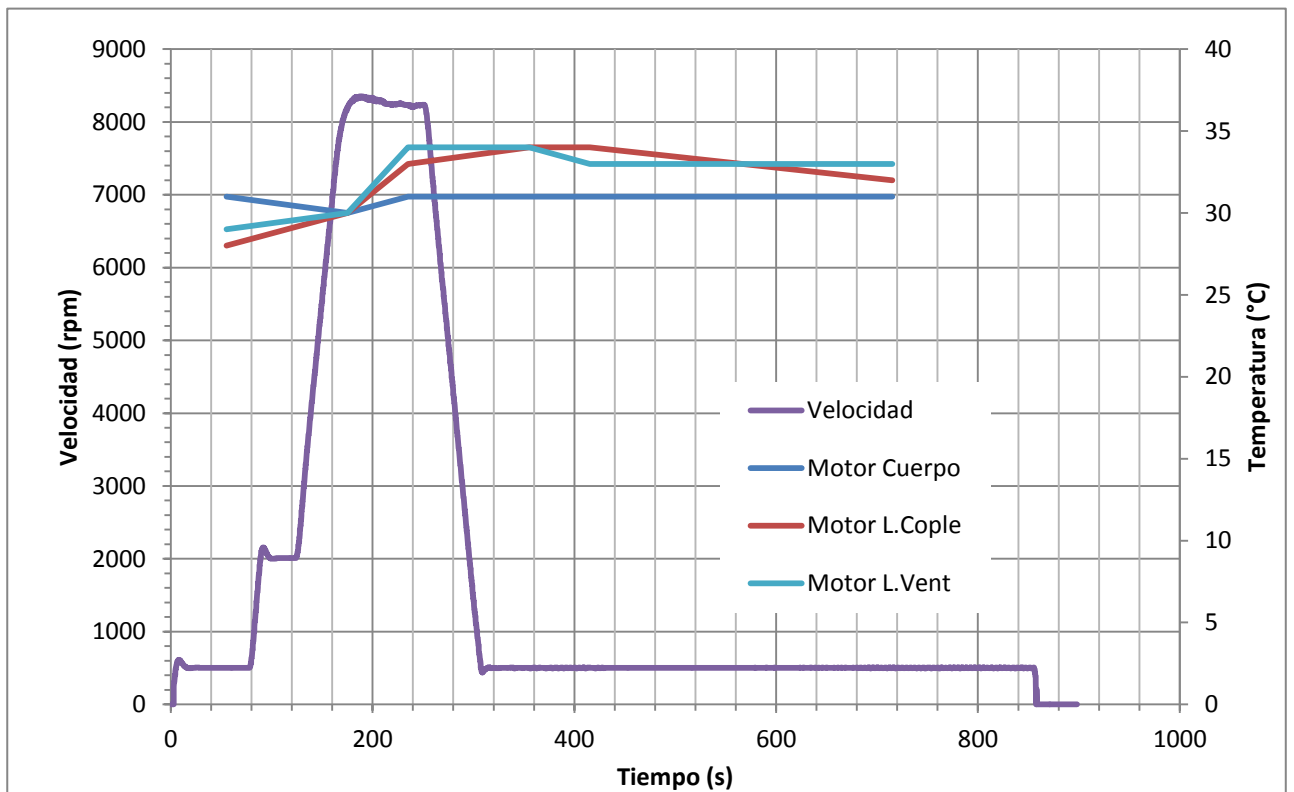
Gráfica. 1 Temperaturas de metales de chumaceras.



Gráfica. 2 Temperatura de metales de chumaceras con referencia de velocidad.

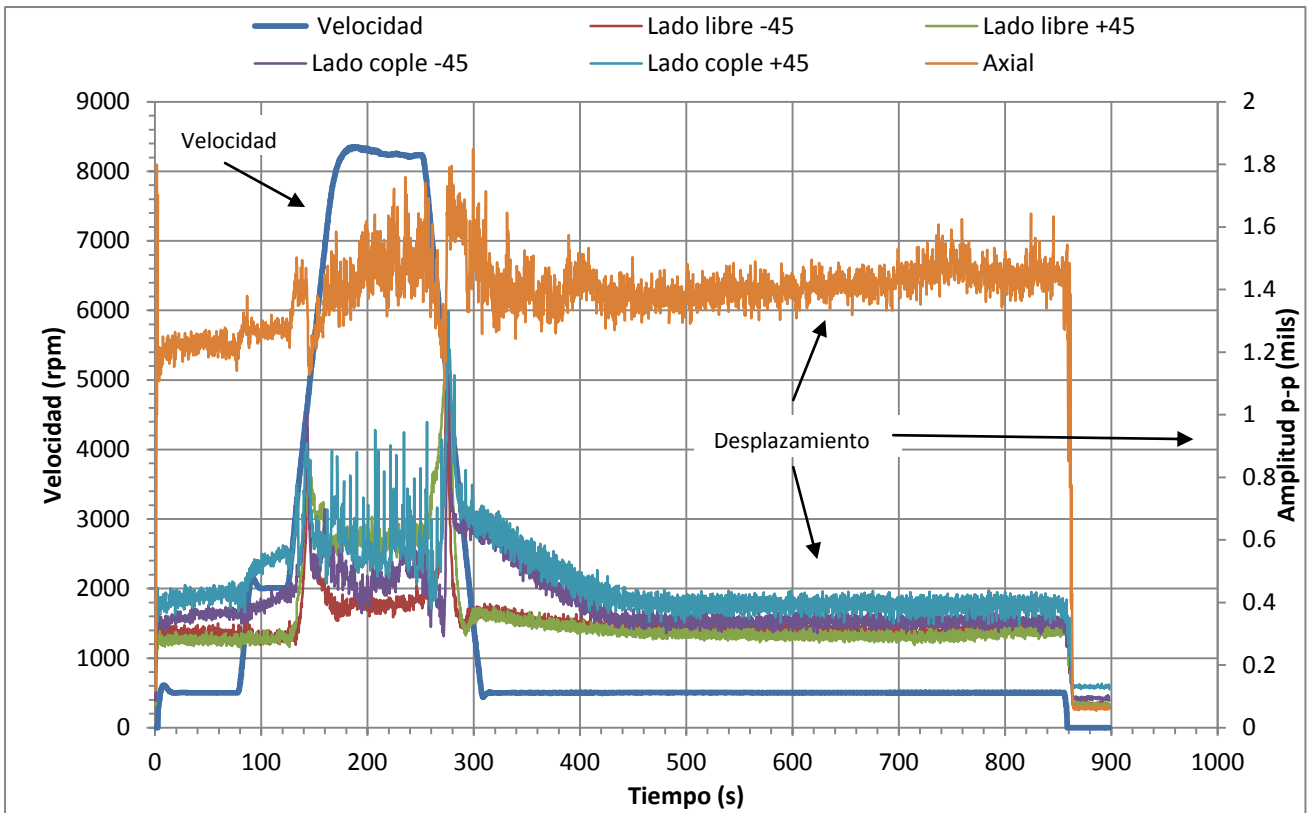


Gráfica. 3 Termopares transmisión.

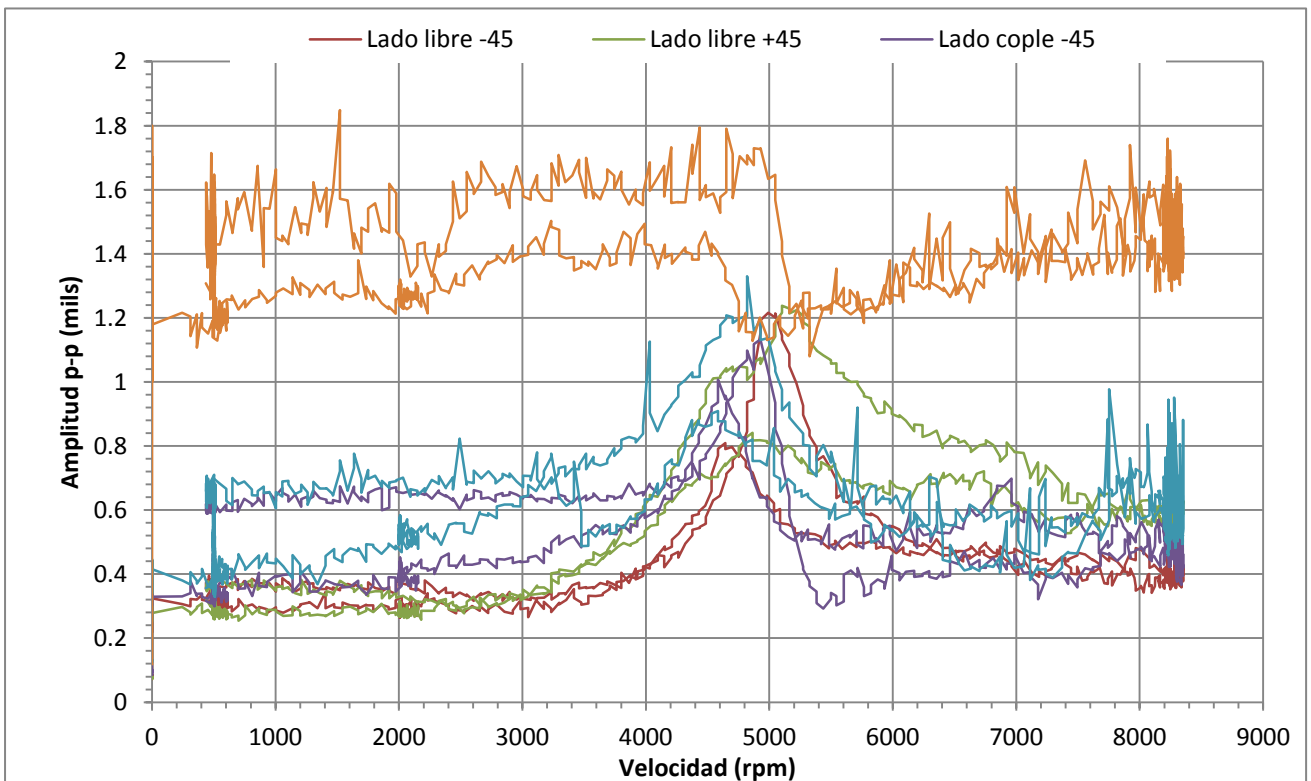


Gráfica. 4 Termopares motor.

Gráficas de desplazamiento



Gráfica. 5 Velocidad vs Tiempo.



Gráfica. 6 Amplitud vs Velocidad.

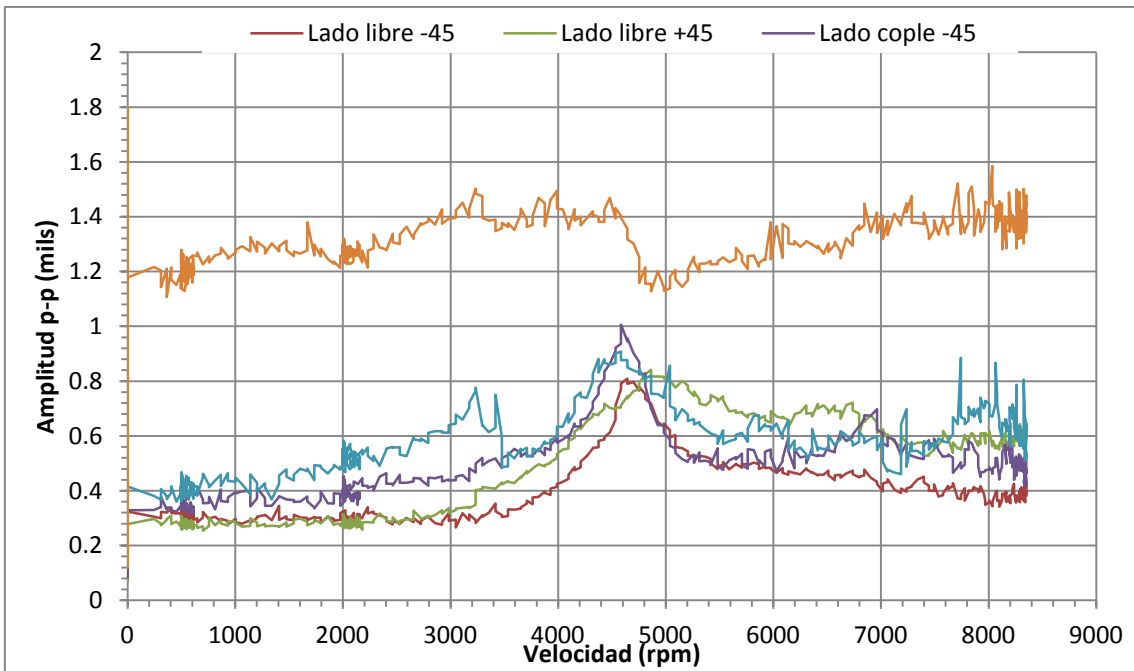


Tabla 10. Run up.

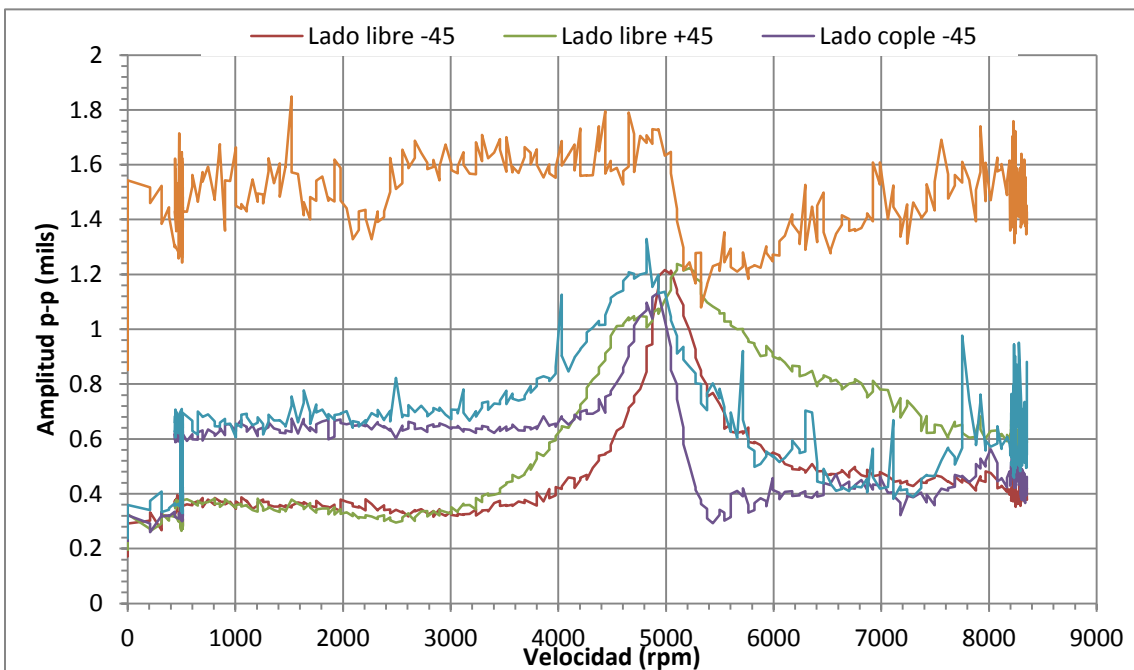


Tabla 11. Coast down.

En las graficas se puede apreciar que la velocidad es proporcional a las variaciones de amplitud estas se encuentran de forma estable cuando se encuentran a velocidad de operación, excepto al llegar a la velocidad crítica. En las graficas se puede observar que el sensor axial muestra variaciones de amplitud muy distantes al de los demás sensores esto puede ser provocado por falta de planicidad en la parte frontal del eje "run-out".

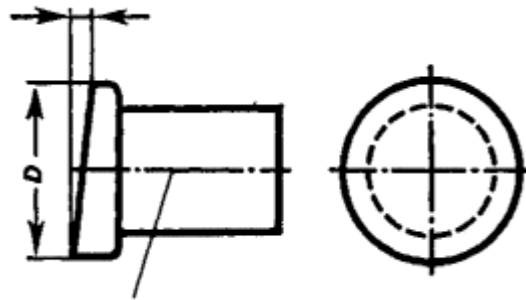
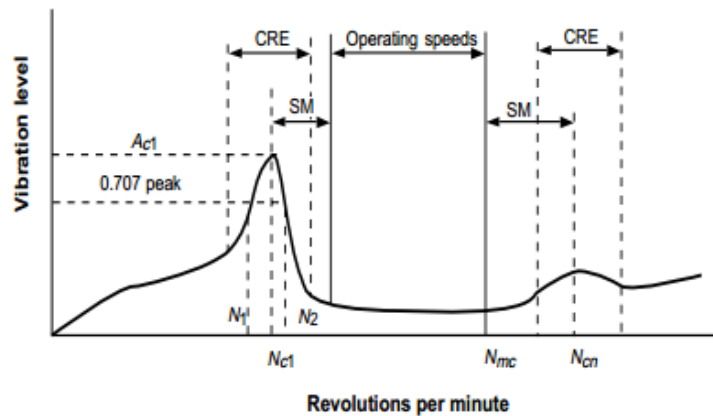


Fig. 25 Diagrama runout.[9]

Se utilizo la norma del instituto americano del petróleo, (API) para encontrar los principales puntos de riesgo en los cojinetes del compresor centrífugo, utilizando el apartado 617, enfocados a compresores axiales y centrífugos para el servicio industrial del gas, petróleo y químicos.

2.6.1.2. El objetivo de este estándar, es detectar velocidades críticas laterales que tengan un factor de amplificación igual o mayor a 2.5, ya que estas pueden alterar o perjudicar el funcionamiento del compresor centrífugo.



- N_{c1} = Rotor first critical, center frequency, cycles per minute.
- N_{cn} = Critical speed, nth.
- N_{mc} = Maximum continuous speed, 105%.
- N_1 = Initial (lesser) speed at $0.707 \times$ peak amplitude (critical).
- N_2 = Final (greater) speed at $0.707 \times$ peak amplitude (critical).
- $N_2 - N_1$ = Peak width at the half-power point.
- AF = Amplification factor.

$$= \frac{N_{c1}}{N_2 - N_1}$$
- SM = Separation margin.
- CRE = Critical response envelope.
- A_{c1} = Amplitude at N_{c1} .
- A_{cn} = Amplitude at N_{cn} .

Los factores de amplificación obtenidos en la prueba tanto en el arranque como en la desaceleración tienden a superar el factor de amplificación establecido, ya que el compresor centrífugo fue llevado aproximadamente a su velocidad máxima continua. El punto más confiable en las pruebas fue el lado cople libre +45, ya que este obtuvo valores 1.67 en el arranque y 2.87 en la desaceleración; En cambio el punto de mayor interés es el lado libre -45 ya que obtuvo valores de 6.41 en el arranque y 9.86 en la desaceleración por lo cual se tomara en cuenta, para reducir estos niveles.

$$AF = \frac{Nc1}{N2 - N1}$$

ECU. FACTOR DE AMPLIFICACIÓN.

$$\zeta = \frac{1}{2Q}$$

ECU. FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO

Factor de amplificación						
	NC1	A at NC1	0.707*A	N1	N2	AF
Lado libre -45	4584	0.7915	0.5595905	4373	5088	6.41118881
Lado libre +45	4864	0.8413	0.5947991	4153	7062	1.67205225
Lado cople -45	4584	1.006	0.711242	4320	4864	8.42647059
Lado cople +45	4532	0.9014	0.6372898	4041	5370	3.41008277

Tabla 12 Run-Up.

Factor de amplificación						
	NC1	A at NC1	0.707*A	N1	N2	AF
Lado libre -45	4990	1.215645	0.85946102	4819	5325	9.86166008
Lado libre +45	5162	1.228475	0.86853183	4376	6172	2.87416481
Lado cople -45	4929	1.1328	0.8008896	4544	5103	8.81753131
Lado cople +45	4651	1.20746	0.85367422	4092	5218	4.13055062

Tabla 13 Coast-Down.

Conclusiones

El objetivo inicial del presente trabajo se cumplió, ya que las actividades previstas, fueron realizadas con éxito, dando como objetivo principal el arranque del banco, que supero los 8300 rpm; Durante las pruebas se encontraron ciertos percances como la temperatura elevada en el rodamiento de la transmisión ubicada en el acoplamiento de transmisión + compresor y las variaciones en el sensor axial; Dentro de las recomendaciones se buscara solucionar estos problemas para no tener problemas en futuras pruebas. Este proyecto está conformado por muchas etapas como ya se había comentado lleva 3 años de elaboración por lo cual seguirá desarrollándose, para lograr su objetivo final que son las pruebas de sellos de gas seco.

Recomendaciones.

Entre las principales recomendaciones para la operación del Banco de Pruebas del Compresor Elliott se encuentran las siguientes:

1. Mejorar el sistema de retorno de aceite de cojinetes y sellos. Se recomienda el retorno por gravedad con tuberías individuales para cada dren y sin reducciones.
2. Modificar el sistema de protección eléctrica de manera que el interruptor termomagnético del motor se abra antes que el interruptor principal. Esto debe hacerse para evitar la posibilidad de que se abra el interruptor principal por un consumo excesivo de corriente, lo cual dejaría al compresor sin alimentación de aceite.
3. Agregar un sistema de enfriamiento a la transmisión, particularmente al rodamiento del eje de alta del lado compresor.
4. Sellar el laberinto externo del lado cople para evitar fugas de aceite en la unión con la tapa del alojamiento de la chumacera.
5. Mejorar la conexión y/o instalación de los RTD's de las chumaceras para evitar la interrupción de la señal de temperatura.

Referencias.

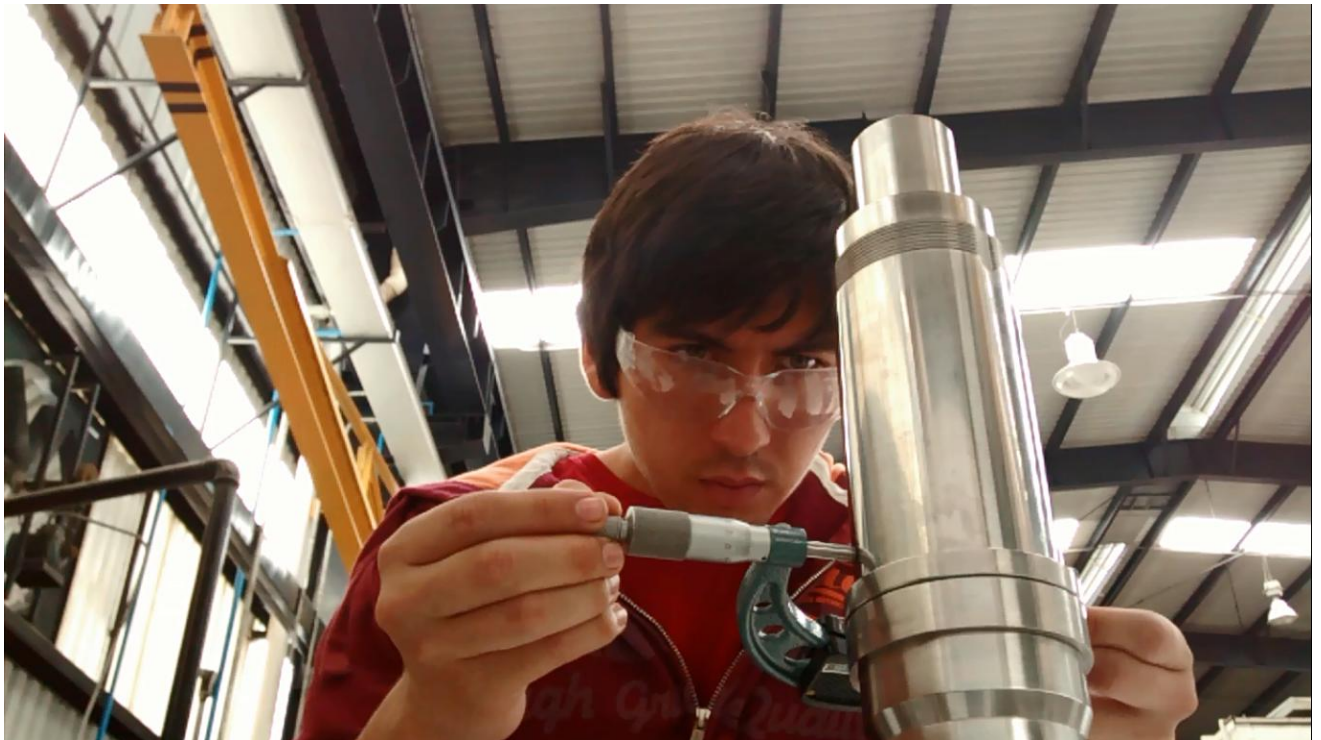
- [1] <http://www.bearingsplus.com/sealing-technologies/brush-seals/augmented-labyrinth-brush-seals/>
- [2] <http://www.mailxmail.com/curso-turbinas-vapor-sellos-carbon/sello-seco-turbina-vapor>
- [3] <http://www.directindustry.es/prod/depac-anstalt-establishment/cierres-mecanicos-cartuchos-industria-quimica-62001-399955.html>
- [4] http://www.directindustry.es/prod/burgmann-industries-13705.html#product-item_1048283
- [5] [http://epa.gov/gasstar/documents/spanish/ll_wetdryseals\(sp\).pdf](http://epa.gov/gasstar/documents/spanish/ll_wetdryseals(sp).pdf)
- [6] <http://www.directindustry.es/prod/john-crane/cierres-mecanicos-lubricados-por-gas-cartucho-turbocompresores-14142-559638.html>
- [7] <http://www.mailxmail.com/curso-turbinas-vapor-sellos-carbon/sello-seco-turbina-vapor>
- [8] <http://www.google.com.lb/patents/US4749199>
- [9] <http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/Runout>.
- [10] <http://www.shclpro.com/pdf/API%20STD%20617-2002.pdf>

Bibliografías.

- Paul C. Hanlon, 2001, "compressors Handbook", McGRAW-HILL
- John S. Stahley, 2005, "DRY GAS SEALS HANDBOOK", PennWell
- Myer Kutz, 2006, "Mechanical Engineers' Handbook", WILEY
- Maurice L. Adams, Jr, 2008, "Rotating Machinery vibration", MARCEL DEKKER
- Lannie L. Dietle, 2014 "Kalsi Seals Handbook", kalsi Engineering, inc.
- John Vance, Fouad Zeidan, 2010 "Machinery vibration and rotordynamics", WILEY
- Directorios Industriales, "Sellos mecánicos"
http://www.dirind.com/dim/monografia.php?cla_id=46
- Tremeal seals, "sellos mecanicos y de gas seco"
<http://www.tremseals.com>
- John crane products Non-contacting
<http://www.johncrane.com/en/Products/Mechanical-Seals/Non-Contacting.aspx>
- API standar 617, séptima edición, 2002, " Axial and centrifugal compressors and expander-compressors for petroleum, chemical and gas industry services", American Petroleum Institute









Competencias desarrolladas.

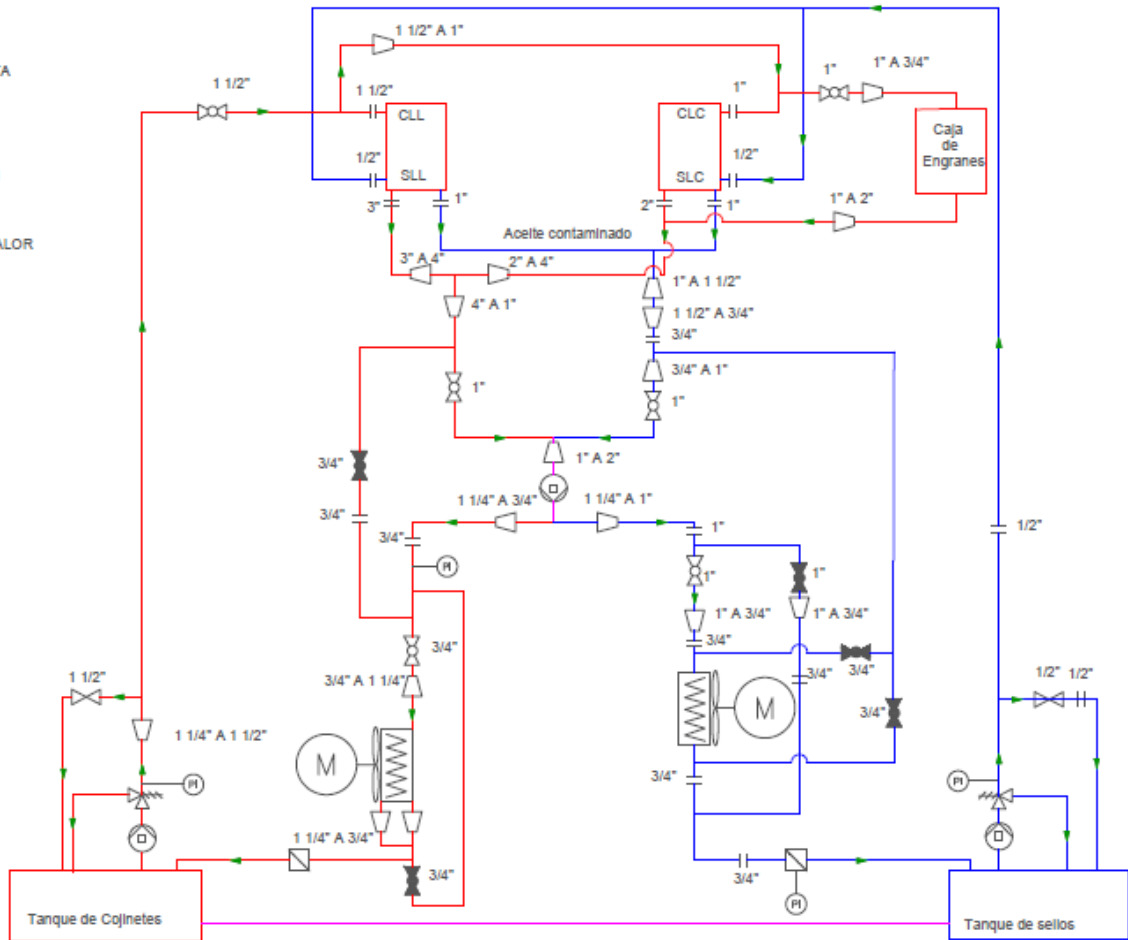
1. Análisis de datos.
2. Uso de software cad.
3. Ensamblaje.
4. Lubricación.
5. Metrología.
6. Mantenimiento.





Anexo I. DTI sistema de lubricación.

-  REDUCTOR
-  VÁLVULA DE COMPUERTA
-  VÁLVULA DE BOLA
-  VÁLVULA DE ALIVIO
-  UNIÓN
-  INDICADOR DE PRESIÓN
-  BOMBA
-  INTERCAMBIADOR DE CALOR

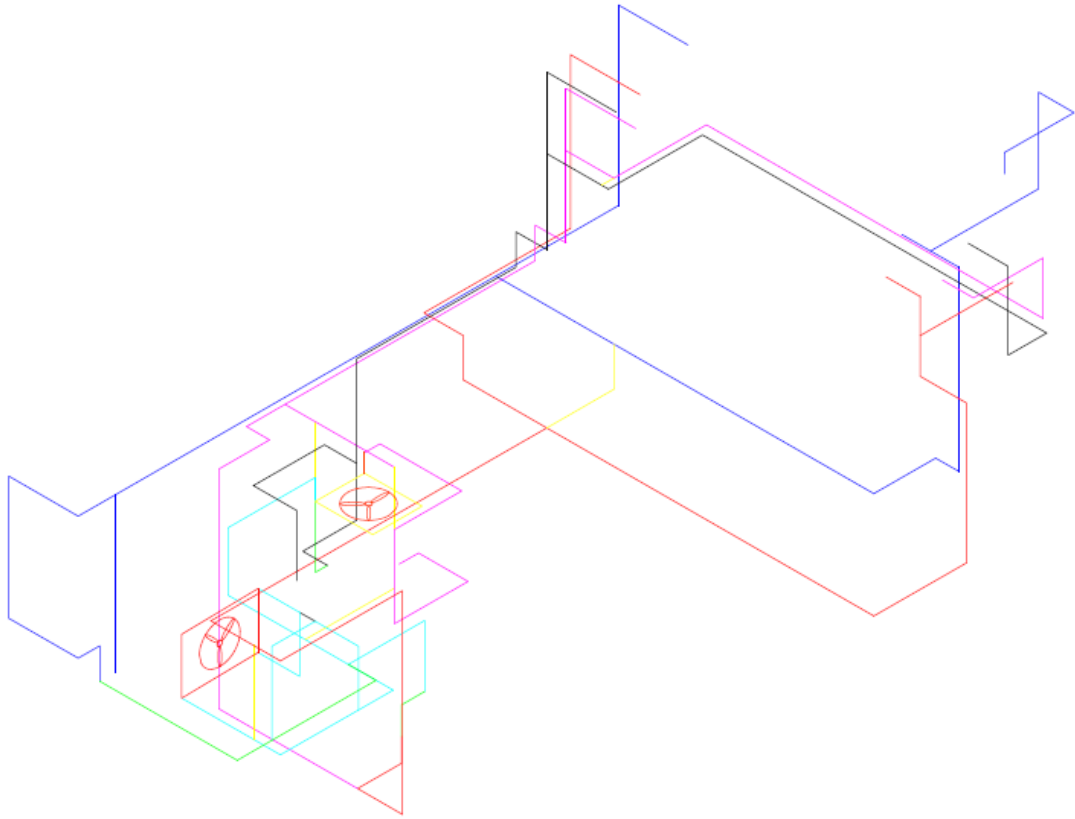


AS BUILT

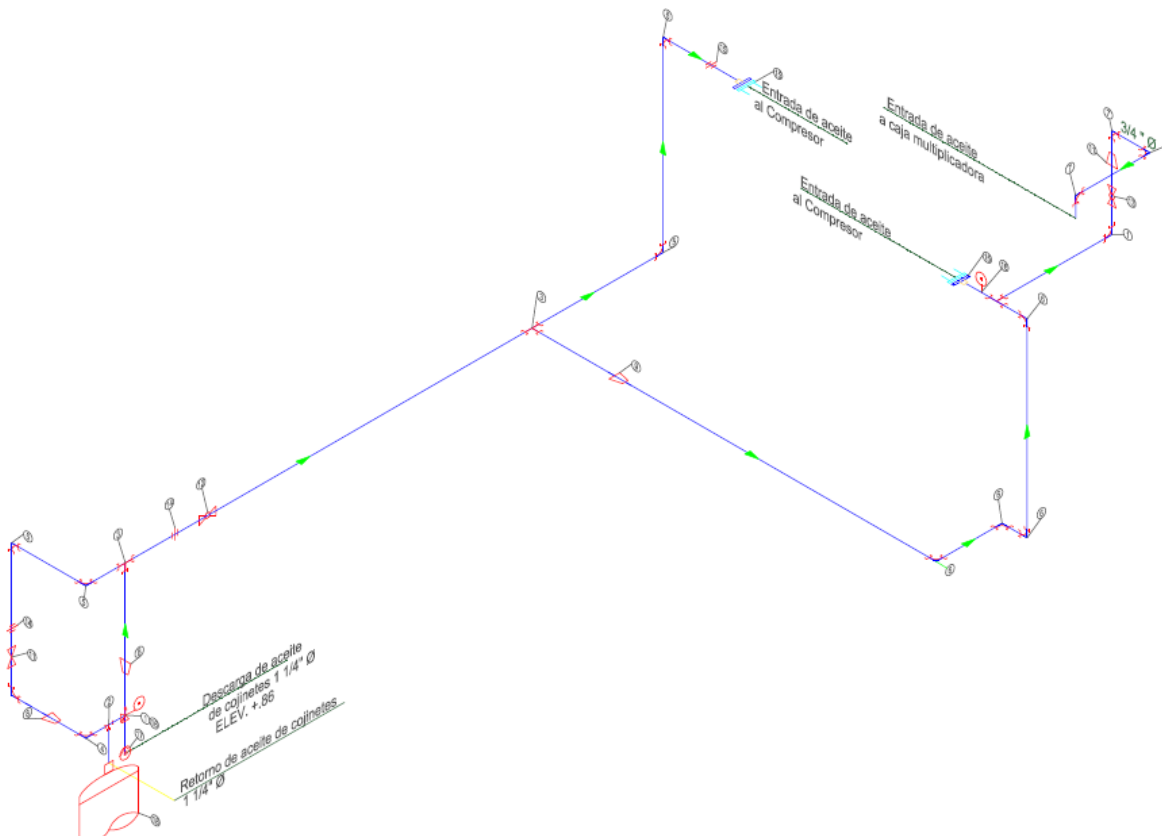


Anexo II. Isométrico del sistema de lubricación.

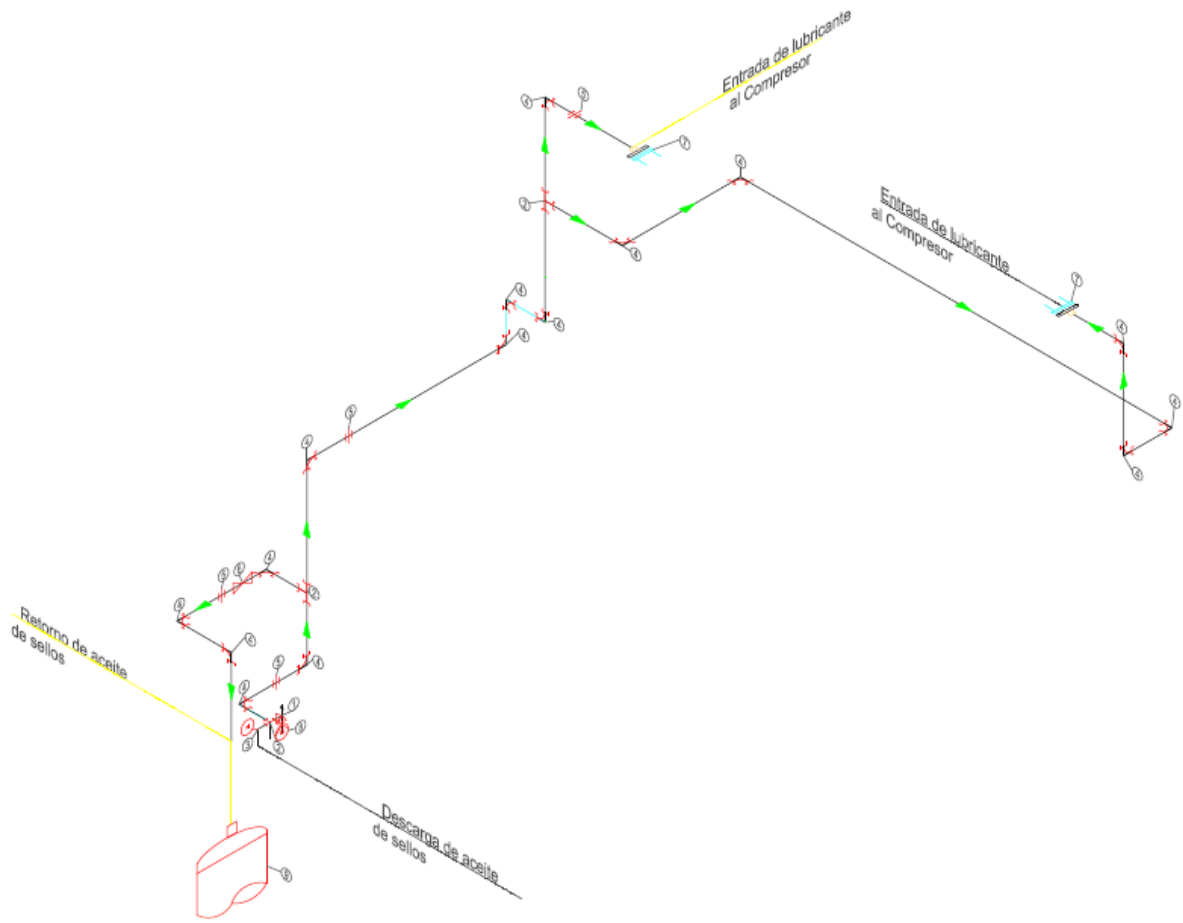
Isométrico completo del sistema de lubricación del banco.



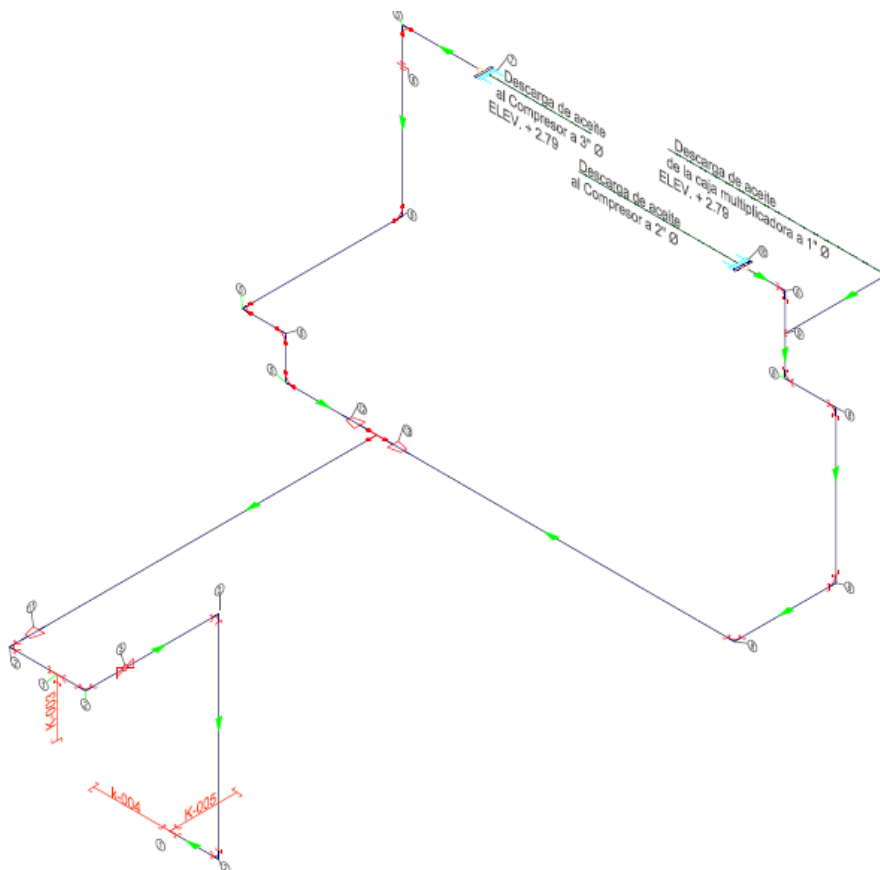
Alimentación de aceite de cojinetes a compresor centrífugo.



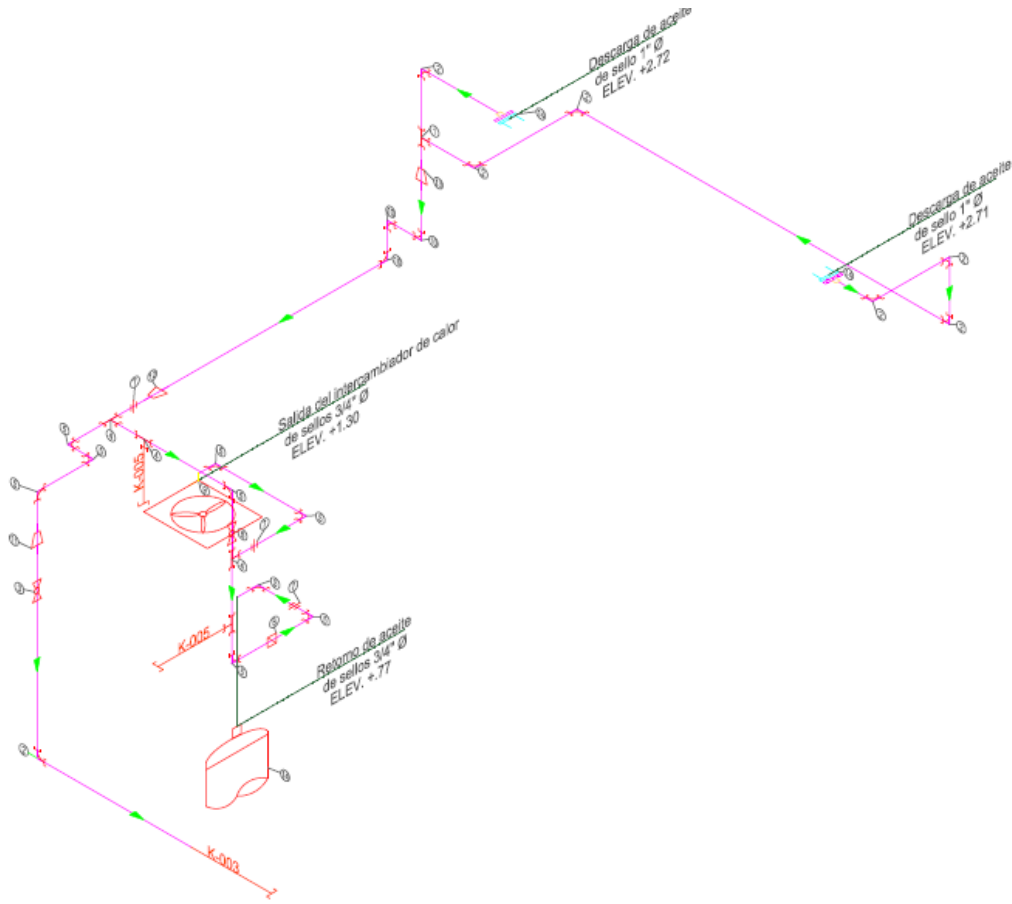
Alimentación de aceite de sellos a compresor centrifugo.



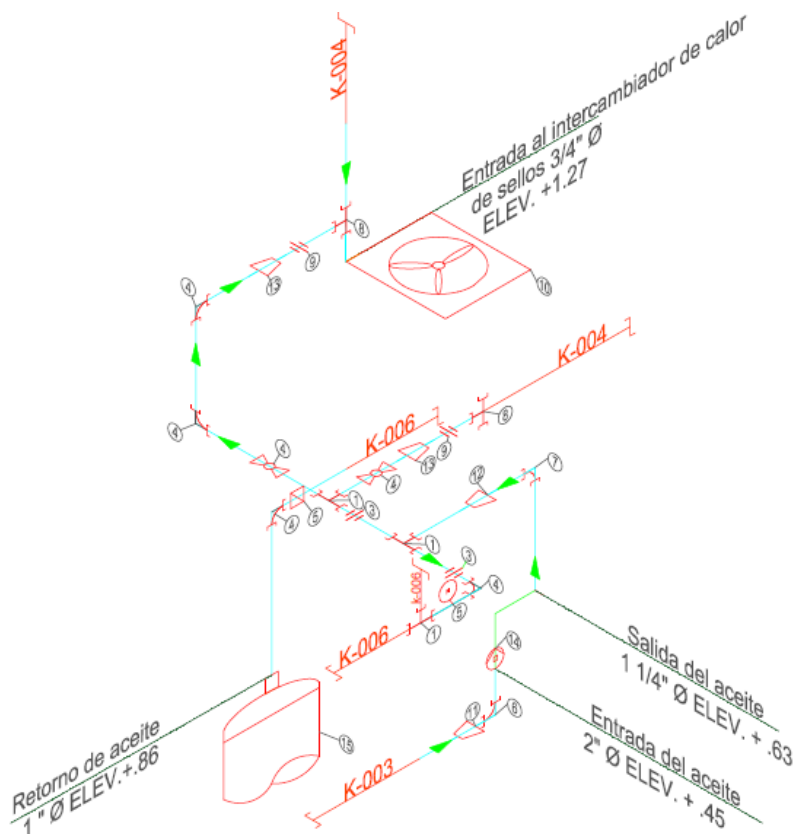
Retorno de aceite de cojinetes a la bomba de retorno.



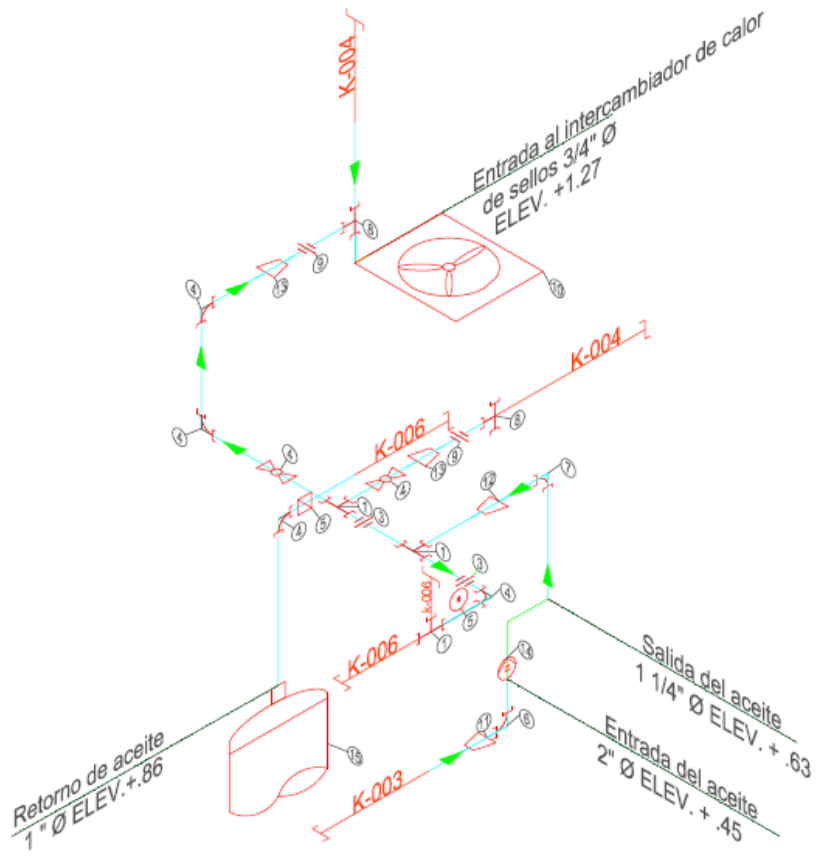
Retorno de aceite de sellos a la bomba de retorno.



Sistema de enfriamiento de compresor centrífugo.



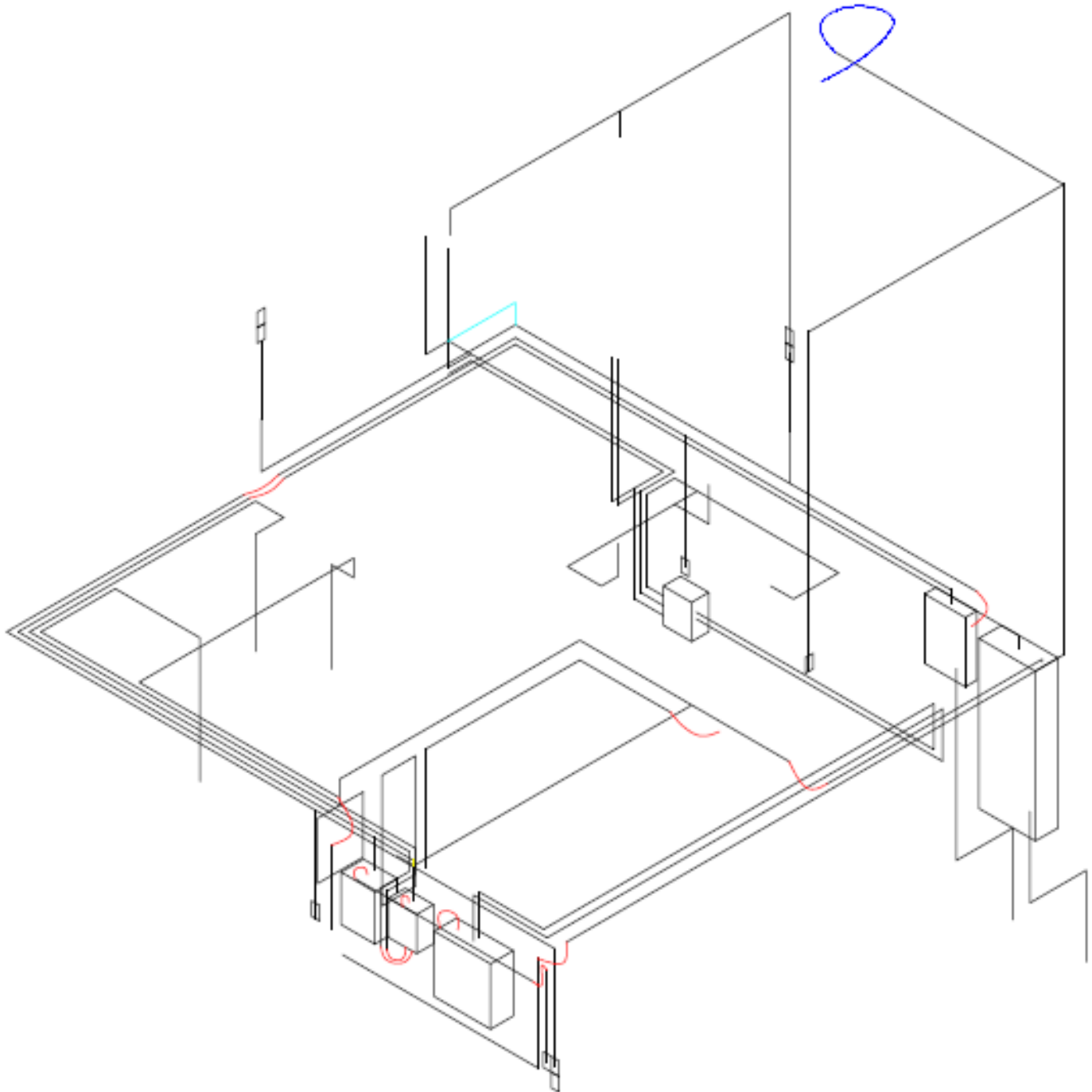
Sistema de enfriamiento del compresor centrífugo.



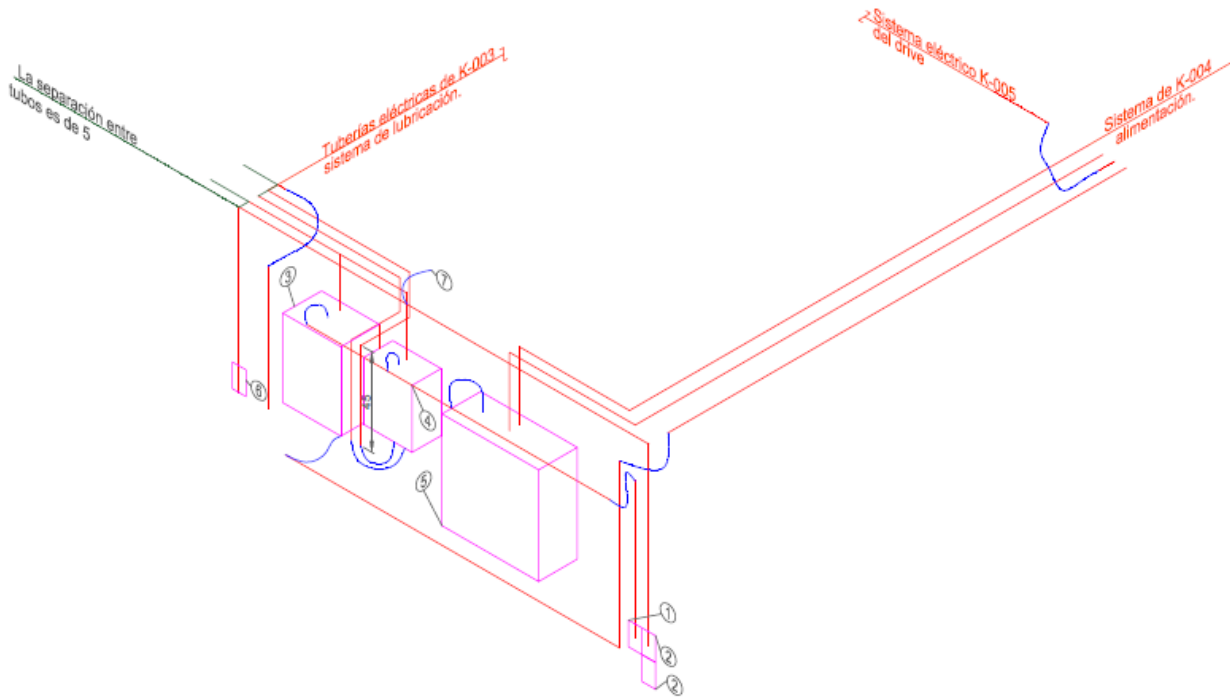


Anexo III. Isométrico del sistema eléctrico.

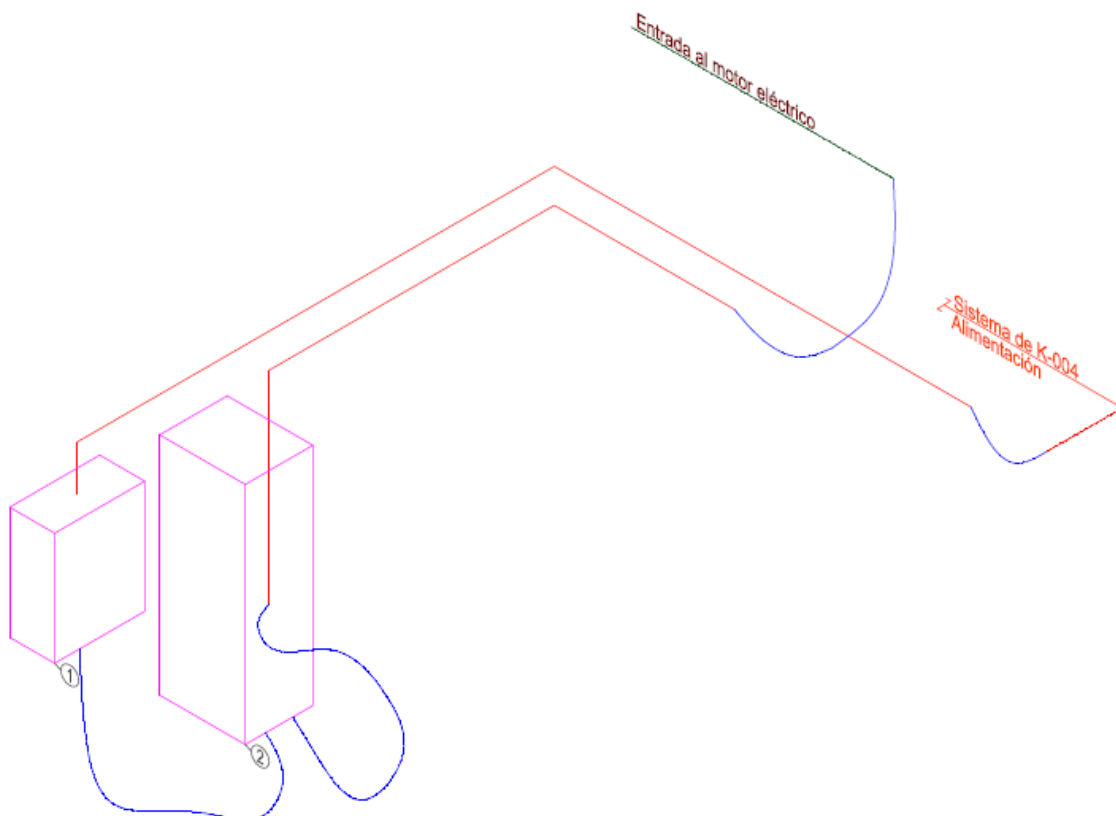
Isométrico del sistema eléctrico.



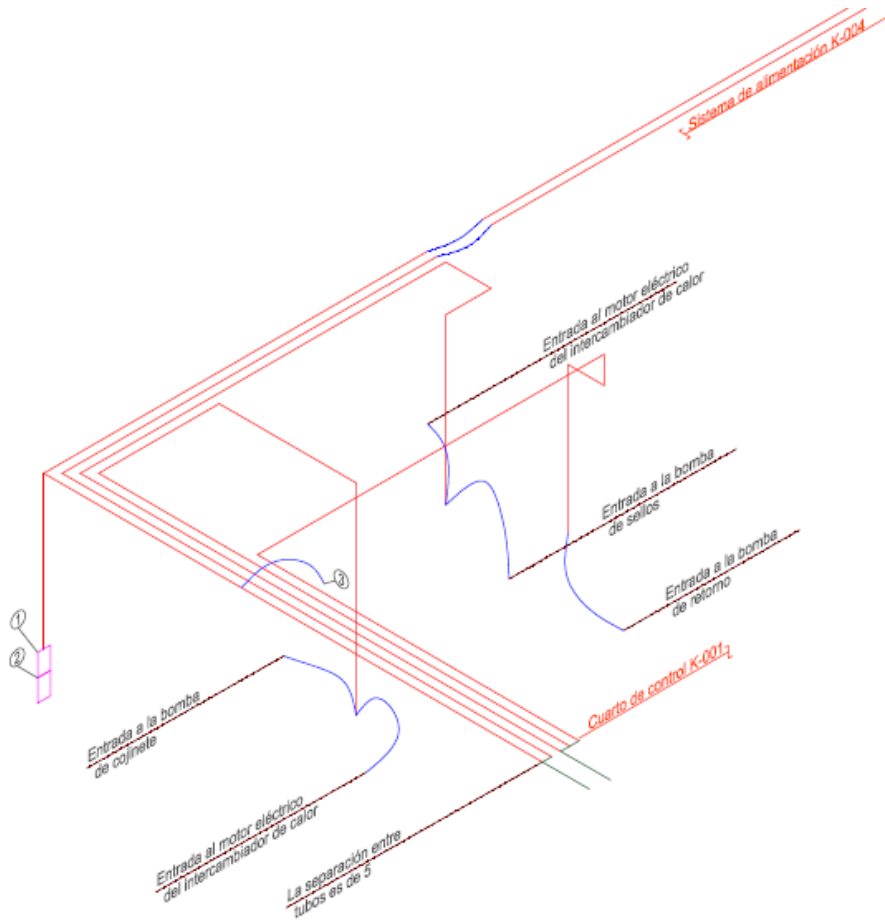
Gabinets en el cuarto de control.



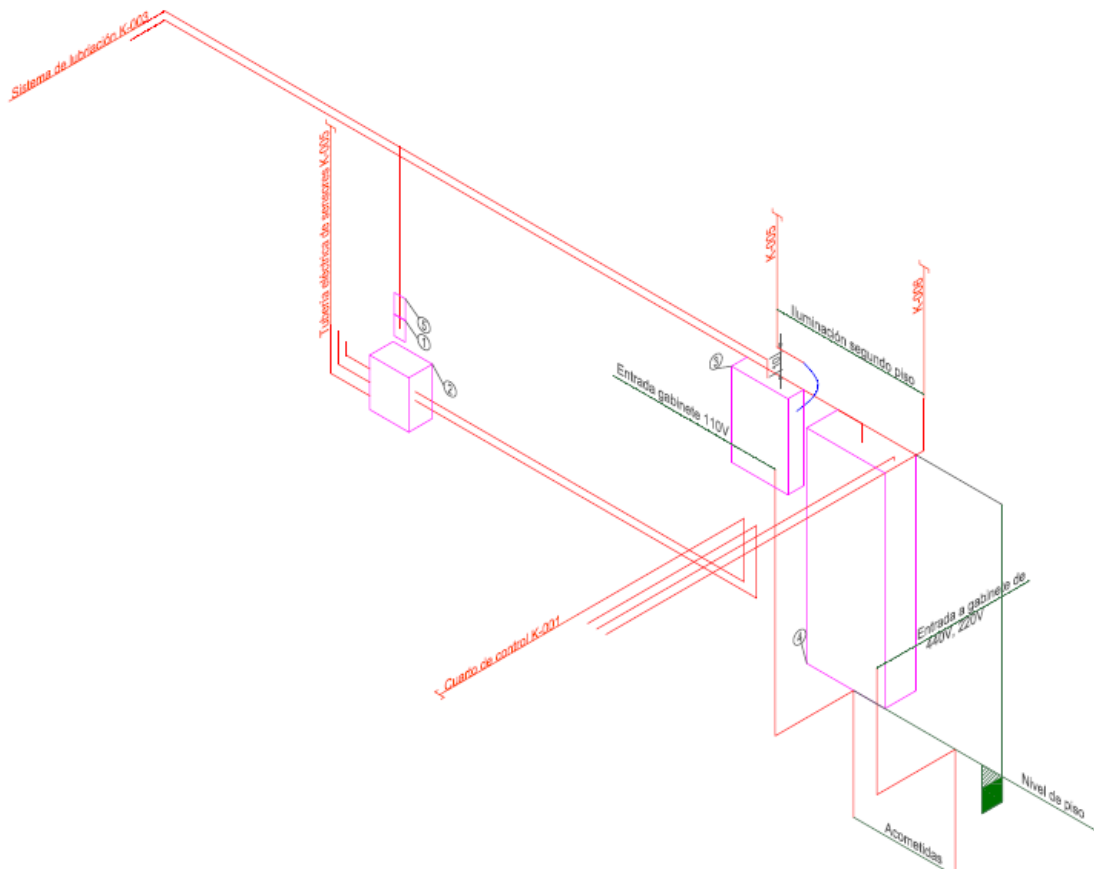
Sistema eléctrico del VFD y el motor.



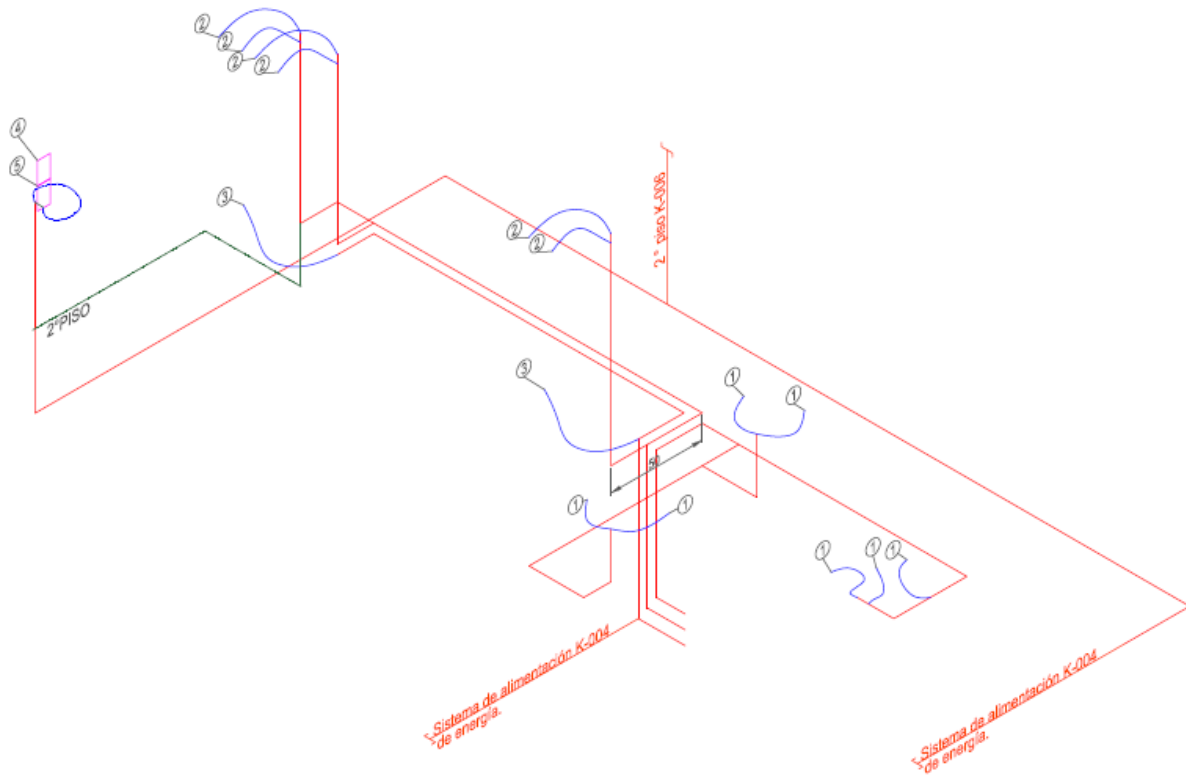
Tubería eléctrica de sistema de lubricación.



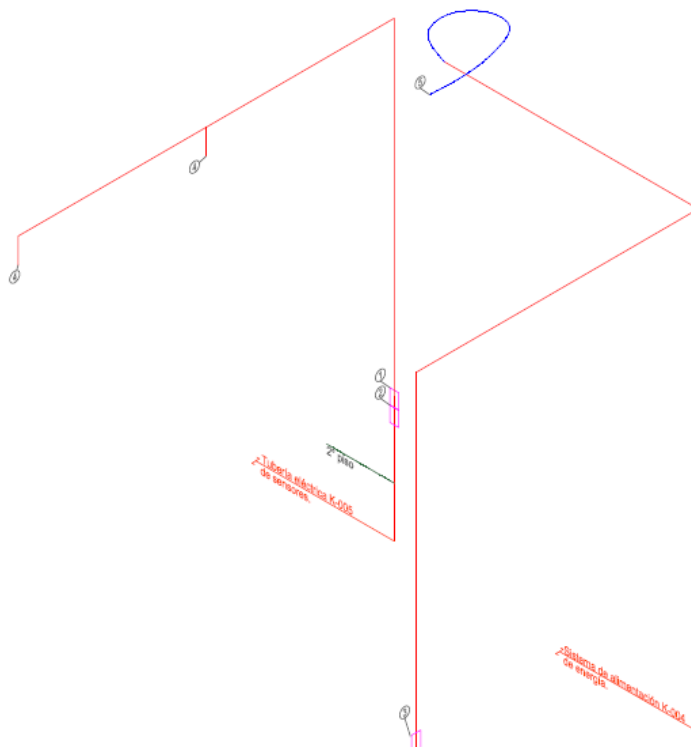
Sistema de alimentación de energía principal.



Sistema eléctrico de sensores, segundo piso.



Tubería eléctrica de iluminación segundo piso.





Anexo IV. Complemento de Actividades (Banco de pruebas de sellos para turbomaquinaria).

BANCO DE PRUEBA PARA SELLOS DE TURBOMAQUINARIA.	50
ALINEACIÓN.	51
ALINEACIÓN VERTICAL	51
CALZA DE TRANSMISIÓN.	51
CALZA DE BARRIL.	52
ALINEACIÓN HORIZONTAL	52
BARRIL + TRANSMISIÓN.	53
TRANSMISIÓN + MOTOR.	53
ENSAMBLE DEL EJE.	54
EJE, BALEROS, ESPACIADOR INTERNO Y ESPACIADOR EXTERNO.	54
EJE Y ALOJAMIENTO DE RODAMIENTOS.	55
EJE, ESPACIADOR DE ACOPLAMIENTO, TUERCA DE RETENCIÓN Y SELLO LABERINTO LADO COPLER.	56
EJE, MANGA DE SACRIFICIO, LABERINTO DE LADO LIBRE, MANGA DE RETENCIÓN, MANGA AUXILIAR, ANILLO BIPARTIDO Y MANGA DE CANDADO.	57
ENSAMBLE BARRIL + EJE.	58
HERRAMIENTALES DEL BARRIL.	58
CAMISA DE SELLO FIJO, EJE Y SELLO FIJO.	59
INSTRUMENTACIÓN PARA LAS PRUEBAS EN CIATEQ.	62
INSTALACIÓN DEL VFD + MOTOR.	62
PIROMETRO Y COLECTOR DE DATOS.	62
PRUEBAS GIRATORIAS DEL BANCO DE SELLOS EN CIATEQ.	63
PRUEBA HIDROSTÁTICA EN RECIPIENTE.	64
REGISTRO DE PRUEBA HIDROSTÁTICA EN RECIPIENTE.	67
PRUEBA DE GIRO DE EJE.	69
PRUEBA DE GIRO DE EJE CON SELLO DE PRUEBA SIN PRESIÓN.	70
PRUEBA DE GIRO DE EJE CON SELLO DE PRUEBA CON PRESIÓN.	71
REGISTRO DE PRUEBA DE GIRO DE EJE.	74
REGISTRO DE PRUEBA DE GIRO CON SELLO DE PRUEBA SIN PRESIÓN.	76
REGISTRO DE PRUEBA DE GIRO CON SELLO DE PRUEBA CON PRESIÓN.	78
SISTEMA DE LUBRICACIÓN	81
<i>Ciclo de operación</i>	81
<i>Prueba de sistema de lubricación</i>	82
<i>Resultados</i>	83
<i>Boquilla de lubricación</i>	83

Banco de prueba para sellos de turbomaquinaria.

El banco de prueba para sellos de turbomaquinaria es el último banco realizado para este proyecto. Este está enfocado en el análisis de sellos de gas seco de una forma práctica.; las ventajas que tiene este banco comparado con los otros, es que el ensamble del sello de prueba es de fácil instalación ya que simplemente debe introducirse en la parte frontal del eje, dando la posibilidad de hacer varias pruebas de sellos por día además de que el eje se adaptó para que sea posible instalar diferentes tipos de sellos de gas seco. Este banco cuenta con un motor trifásico de inducción, una transmisión de 3: 1 y un barril donde se colocara el sello de prueba.

Este tiene la particularidad de ser más práctico ya que al ser más pequeño es más fácil desplazar y de ensamblar para futuras modificaciones. Además contará con la instrumentación necesaria para poder monitorear la cantidad de fuga del sello.

Este reporte contiene información sobre la alineación del motor + transmisión + barril, el ensamble del eje, el ensamblaje del eje + barril, las pruebas hidrostáticas e hidrodinámicas en CIATEQ, pruebas en el sistema de lubricación.



a) TREM Engineering (Rusia).



b) CIATEQ (México).

Fig. 27 Banco de pruebas.

Alineación.

Para la alineación de " motor + transmisión + barril" se hicieron las siguientes actividades.

Alineación Vertical.

El eje del motor se tomara como referencia de alineación ya que este se encuentra en la parte superior de la mesa, por lo cual se elaboraron calzas para la transmisión y el barril. Para saber la diferencia de altura entre los diferentes acoplamientos se utilizo un indicador de caratula Mitutoyo de .01 mm. La diferencia de altura encontrada entre el acoplamiento motor + transmisión fue de 2 milímetros, también se tomo la diferencia de altura entre el acoplamiento transmisión + eje siendo de 6 milímetros. .



Fig. 29 Indicador de caratula de .01mm.



Fig. 28 Alineación vertical motor + transmisión.

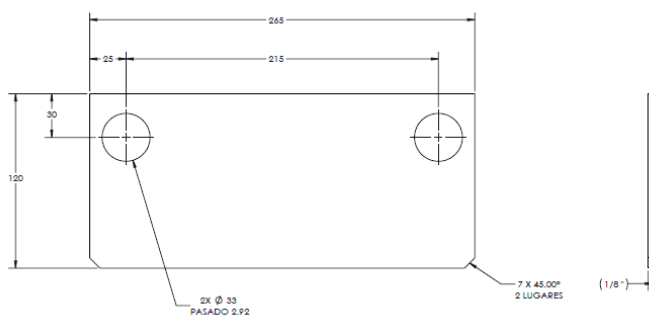
Entonces las medidas de las calzas quedan de la siguiente forma:

Transmisión: 2 mm.

Barril: 8 mm.

Por lo cual se consiguieron placas de 1/8 y 3/8 de espesor para luego ser rebajadas a la medida necesaria.

Calza de transmisión.

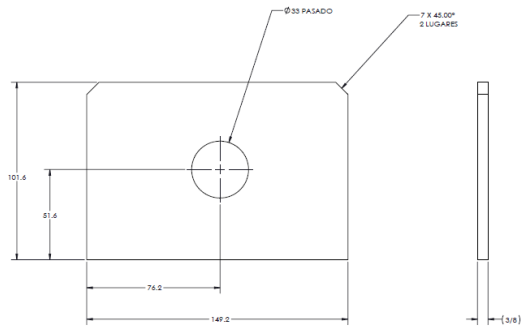


a) Esquema de calza de transmisión.

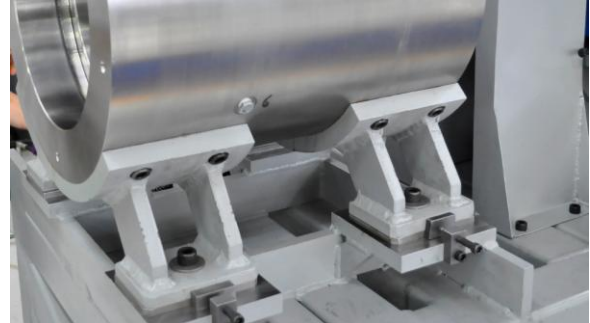


b) Calza de transmisión.

Fig. 30 Calza de transmisión.



a) Esquema de calza de barril.



b) Calza de barril.

Fig. 31 Calza de barril.

Alineación horizontal

Antes de hacer la alineación horizontal se instalaron unos alineadores en las partes laterales del motor, la transmisión y el barril para poder regular de forma precisa el desplazamiento horizontal.



a) Motor



b) Transmisión.



c) Barril.

Fig. 32 Alineación horizontal.

Para la alineación horizontal se utilizaron indicadores de caratula Starrett de palanca de 0.001 milésima de pulgada. El procedimiento de alineación horizontal fue en el siguiente orden:

- Barril + Transmisión.
- Transmisión + Motor.

Barril + Transmisión.

Como punto de inicio se tomo como referencia la alineación vertical, esta obtuvo una diferencia de 1 milésimas. Después los indicadores se colocaron de forma horizontal teniendo una diferencia de 2-3 milésimas de pulgada, esto es suficiente para que la transmisión pueda corre de forma correcta.

Transmisión + motor

Como punto de inicio se tomo como referencia la alineación vertical, esta obtuvo una diferencia de 1 milésimas. Después los indicadores se colocaron de forma horizontal teniendo una diferencia de 1-1.5 milésima de pulgada, esto es suficiente para que la transmisión pueda corre de forma correcta.



a) Motor



b) Transmisión.

Fig. 33 Posición de indicadores de caratula.

Posteriormente se instalaron los coples de transmisión + barril y transmisión + motor cada uno con su torque especifico de operación.

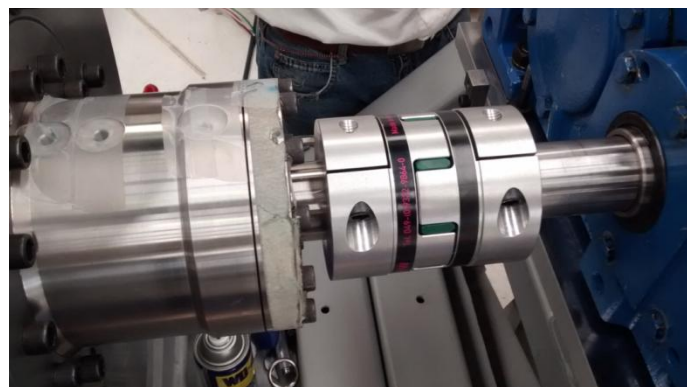


Fig. 34 Cople barril + transmisión.

Ensamble del eje.

Para el ensamble del eje fue necesario de un gato hidráulico de 20 toneladas, ya que las tolerancias del eje con respecto a los baleros son muy cerradas, y los baleros deben sujetarse lo suficiente para tener un correcto funcionamiento, además de cuidar la precarga de los separadores ya que los baleros en operación podrían calentarse.

Eje, Baleros, Espaciador Interno y Espaciador Externo.

1. En la primera sección deben ingresarse un par de baleros pero estos deben colocarse de manera individual, en un soporte para poder ingresarlos de la manera más centrada posible.

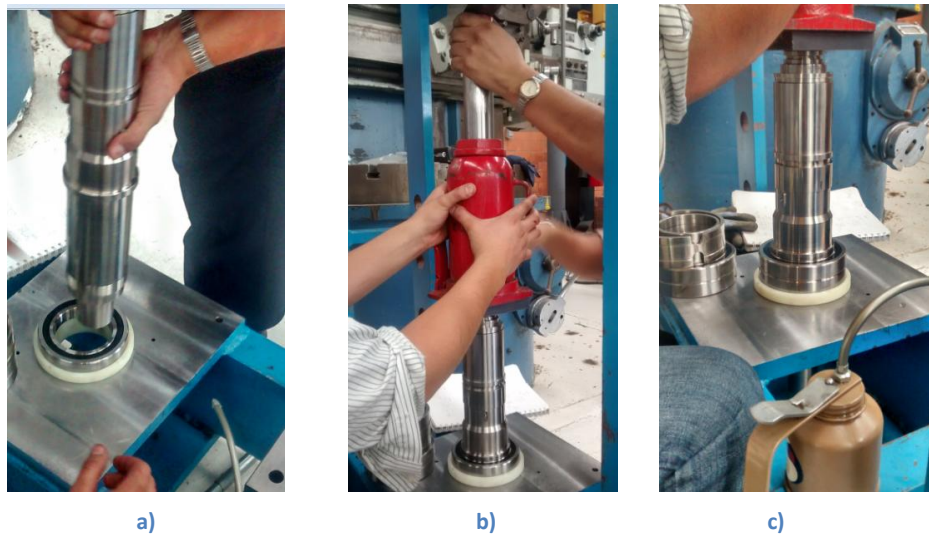


Fig. 35 a) Primer rodamiento, b) Ingresando rodamiento con gato hidráulico, c) ingresando segundo rodamiento.

2. Posteriormente el espaciador interno y el espaciador externo junto con un balero, considerando no precargarlo mucho.

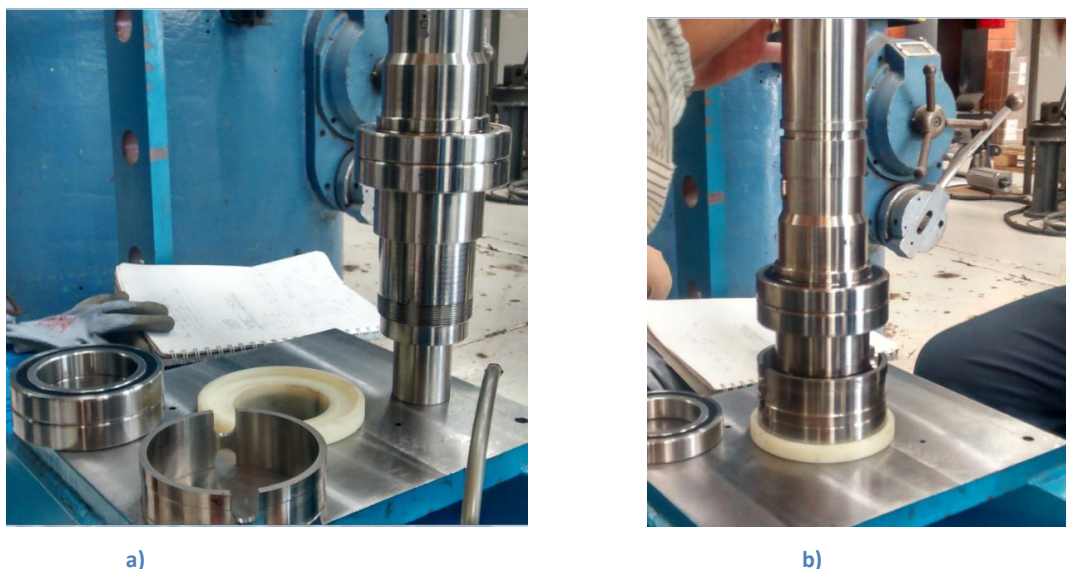


Fig. 36 a) Espaciador interno ingresado, b) Ingresando espaciador con el tercer rodamiento.

3. Luego de colocar el cuarto rodamiento, se ingreso el alojamiento de rodamientos, utilizando un herramental especialmente diseñado para facilitar el ensamble, antes de quedar precargado el alojamiento se debe de alinear los orificios del alojamiento con los del espaciador, ya que por esos orificios se ingresara el aceite de lubricación a través de las boquillas.



a)

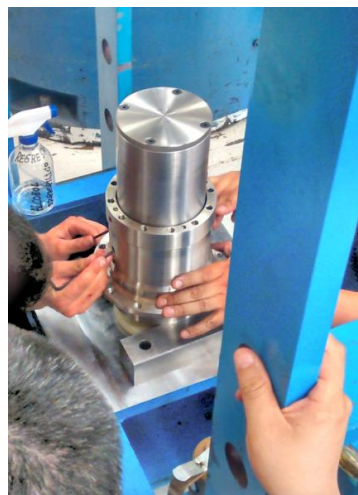


b)

Fig. 37 a) Ingresando el cuarto rodamiento, b) Todos los rodamientos ingresados.



a)



b)



c)

Fig. 38 a) ingresando alojamiento de rodamientos, b) alineando el espaciador externo al alojamiento de rodamientos, c) Alojamiento de rodamientos ingresado.

Eje, Espaciador De Acoplamiento, Tuerca De Retención y sello laberinto lado cople.

4. Posteriormente se debe de instalar el espaciador de acoplamiento y la tuerca de retención, ya que estas aseguran a los rodamientos que se ubican en el lado del cople.



Fig. 39 Espaciador de acoplamiento y tuerca de retención.

5. Luego se coloca la tapa de alojamiento de rodamientos, junto con el sello de laberinto del lado cople que debe incluir sus respectivos o-rings.



Fig. 40 Sello laberinto lado cople.

Eje, Manga de sacrificio, laberinto de lado libre, manga de retención, manga auxiliar, anillo bipartido y manga de candado.

- Del lado libre se debe colocar la manga de sacrificio y el laberinto de lado libre este debe tener sus correspondientes o-rings. .



Fig. 41 Manga de sacrificio y laberinto de lado libre

- Colocar la manga de retención y la manga auxiliar esta última puede variar dependiendo del tipo sello a utilizar.



a)



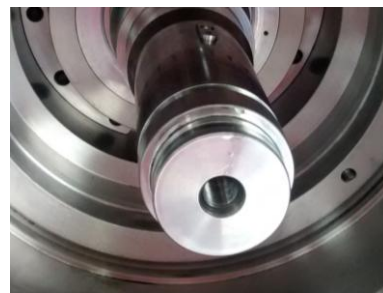
b)

Fig. 42 a) Colocando manga auxiliar, b) Manga auxiliar, manga de retención y sello lado cople.

- Después coloca en la parte superior del lado libre el anillo bipartido para candado y sobre este la manga de candado que se encargan de bloquear el movimiento axial de la manga auxiliar.



a)



b)

Fig. 43 a) Anillo bipartido para candado, b) Manga de candado.

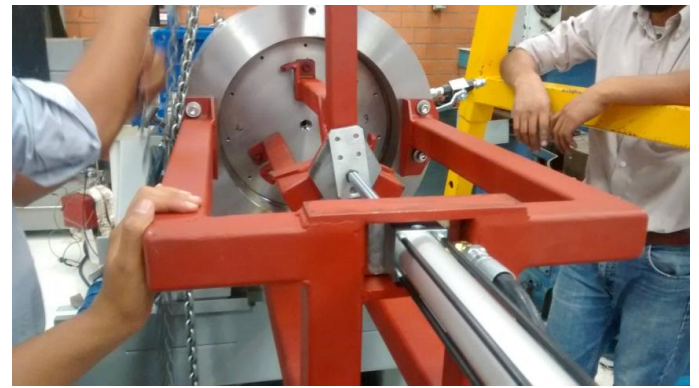
Ensamble barril + eje.

Herramientales del Barril.

Para realizar el ensamble en el barril fue necesario utilizar herramientas especialmente diseñados para el ensamble dentro del barril ya que son piezas que deben entrar bien niveladas. Uno de estos herramientas tiene instalado un pistón que permitira tanto empujar como sacar las piezas dentro del barril.



a)



b)



c)



d)

Fig. 44 a) Herramental con camisa interna para sellos, b) Ingresando la tapa con el pistón hidráulico, c) herramental de sujeción, d) Herramental con extensión.

1. El primer paso fue colocar la camisa de sello fijo en la parte posterior del barril utilizando los 3 herramientales.

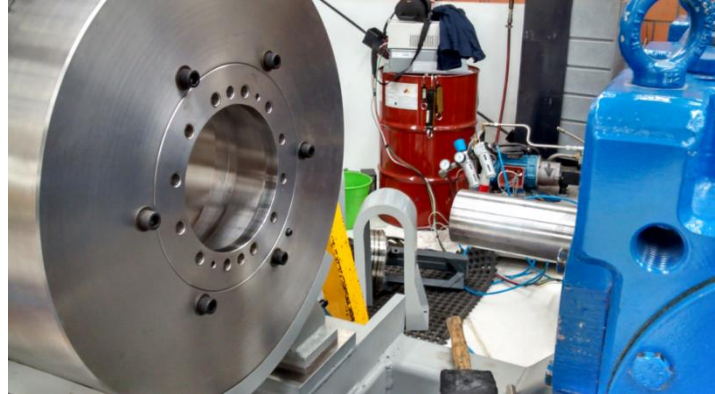


Fig. 45 Camisa de sello fijo instalada.

2. De forma manual se coloco el eje junto a la camisa de sello fijo y posteriormente en la parte trasera se colocaron los tornillos de presión para mantenerlo fijo; se utilizo un torque para los tornillos de presión de 8 N.m.



a)



b)

**Fig. 46 a) vista lateral el eje instalado
b) vista frontal del eje instalado.**

3. Dspues de haber sido colocado el eje, se se coloco con presión el sello fijo en la camisa de sello fijo.

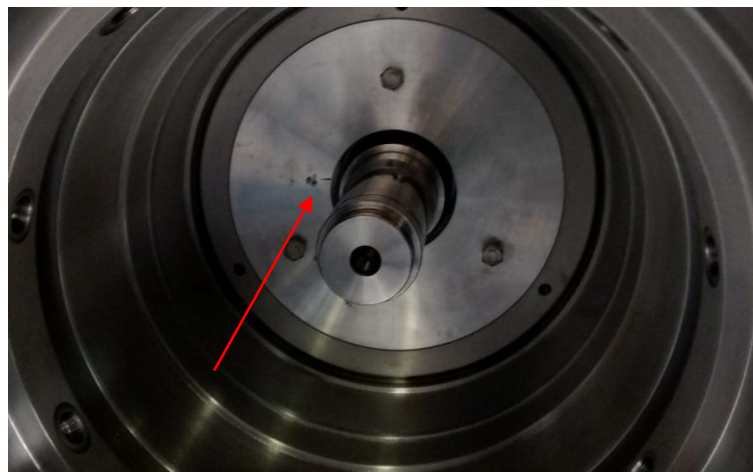
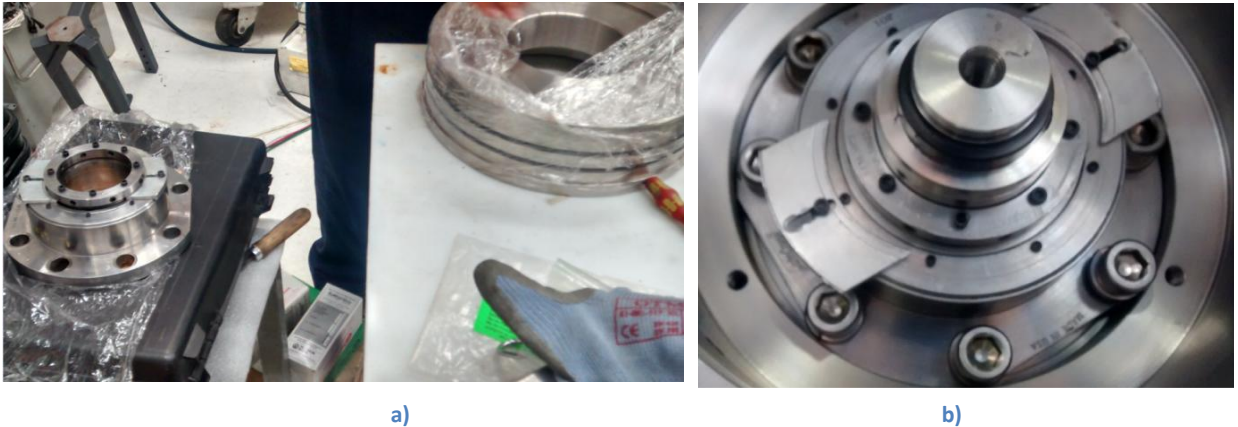


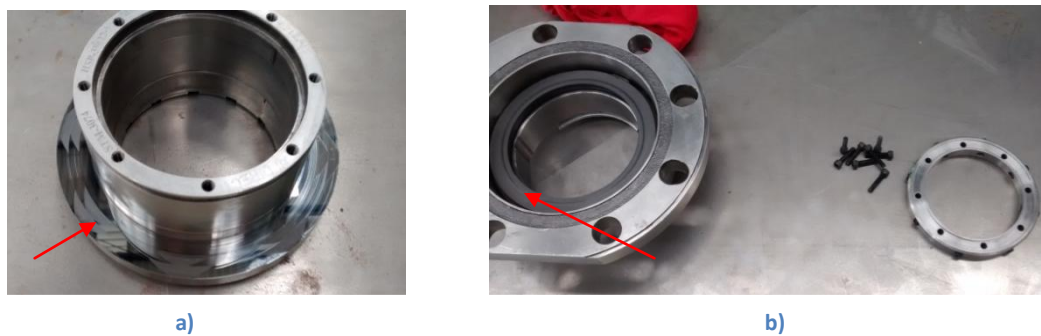
Fig. 47 Sello fijo instalado.

4. La camisa interna para sello de prueba se colocó después de la camisa de sello fijo para instalarlo fue necesario utilizar el herramental sin extensión además de utilizar el pistón hidráulico.



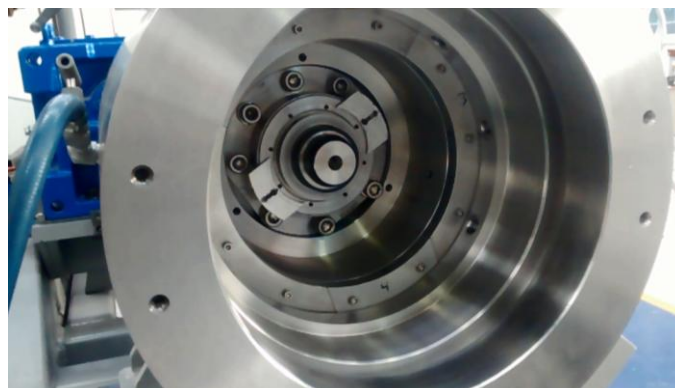
**Fig. 48 a) sello de prueba y camisa interna para sello de prueba
b) Sello de prueba instalado en la camisa interna.**

5. Primero se inspeccionó el sello, para verificar que sus piezas no tuvieran daños, después de ser ensamblado se colocó alrededor del eje hasta llegar de forma axial con la camisa de sello de prueba, luego se colocaron tornillos de presión alrededor del sello para mantenerlo firme.



a)

b)



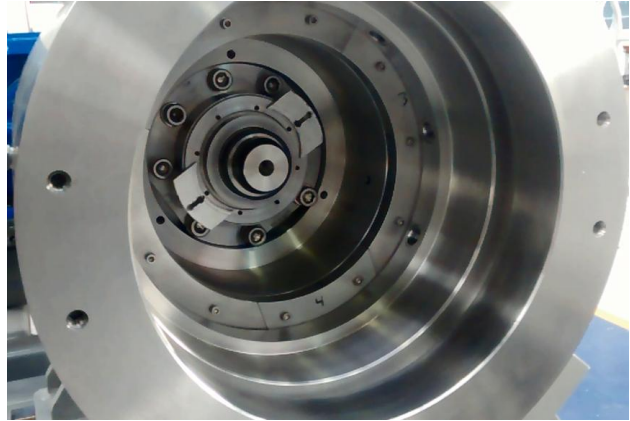
c)

Fig. 49 a) anillo giratorio, b) anillo estacionario, c) Sello de prueba instalado.

6. Posteriormente se ingreso el separador utilizando los herramientas sin utilizar presión ya que no contenía o-rings, luego se colocaron los candados con sus respectivos tornillos de presión para asegurar las camisas internas del barril.



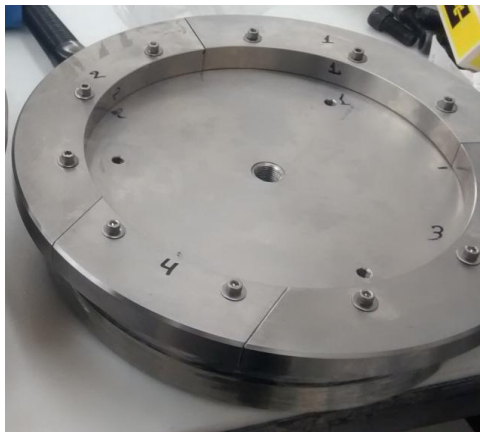
a)



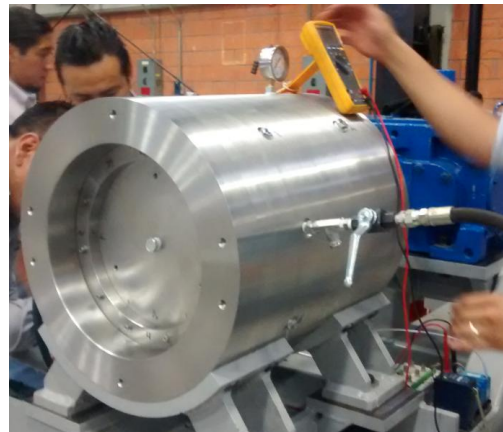
b)

**Fig. 50 a) Separador con candados instalados,
b) separador con candados instalados en el barril**

7. Al final se utilizo el herramental sin extensión y se coloco con presión la tapa del barril; luego se colocaron los candados con sus respectivos tornillos de presión y en la parte de en medio se coloco un tornillo de seguridad.



a)



b)

**Fig. 51 a) tapa de recipiente con sus candados
b) tapa de recipiente con candados instalados en
barril.**

Instrumentación para las pruebas en CIATEQ.

Intalación del VFD + motor.

Antes de emesar las pruebas giratorias se instalo el VFD + motor y se tomaron encuesta los datos del fabrica del motor para ingresarlos en el VFD y se hicieron unas pruebas rapidas para verificar el funcionamiento antes de empezar con las pruebas del banco.



a)



b)

Fig. 52 a) VFD y b) Motor.

Pirometro y colector de datos.

Durantes las pruebas se deben estar supervisando las variables de temperatura, presión, velocidad y vibraciones utilizando el pirometro, manómetros, VFD y el colector de datos, en los lugares más relevantes. Estos seran especificado en cada prueba.



a)



b)

Fig. 53 a) Pirómetro y b) Colector de datos

Pruebas Giratorias del banco de sellos en CIATEQ.

Prueba hidrostática en recipiente.

Prueba de giro de eje.

Prueba de giro con sello de prueba sin presión.

Prueba de giro con sello de prueba con presión.



Prueba hidrostática en recipiente

- Botella con agua jabonosa
- Conexiones hidráulicas:
- 3 tapones ½" NPT
- 14 tapones 3/8" NPT
- 1 reducción bushing NPT de ½" a ¼"
- 1 Reducción bushing NPT de 3/8" a ¼"
- 3 Manómetros secos.
- 2 Válvulas de aguja
- 1 Válvula de bola.
- 1 Cilindro con nitrógeno a 3000 psi.
- Mangueras necesarias para realizar el circuito mostrado en el diagrama figura 1.

Condiciones previas a prueba.

Verificar que se tenga instalada la tapa y el anillo seguro de la tapa.

Verificar que se tenga instalada la placa tapón posterior del recipiente con su tornillería.

Verificar que las conexiones y tapones del recipiente están apretadas al torque recomendado por proveedor.

Verificar que el arreglo de conexiones y mangueras del circuito de alimentación del gas para la prueba está de acuerdo al diagrama mostrado en la figura 1. El tanque de nitrógeno a 3000 PSI debe estar conectado.

Instalar cámara de videograbación para registrar lecturas de presión hidrostática en el manómetro M3 durante toda la prueba. La cámara debe contar con baterías cargadas para operar durante dos horas continuas.

Identificar los puntos seguros para que el personal se encuentre durante la prueba.

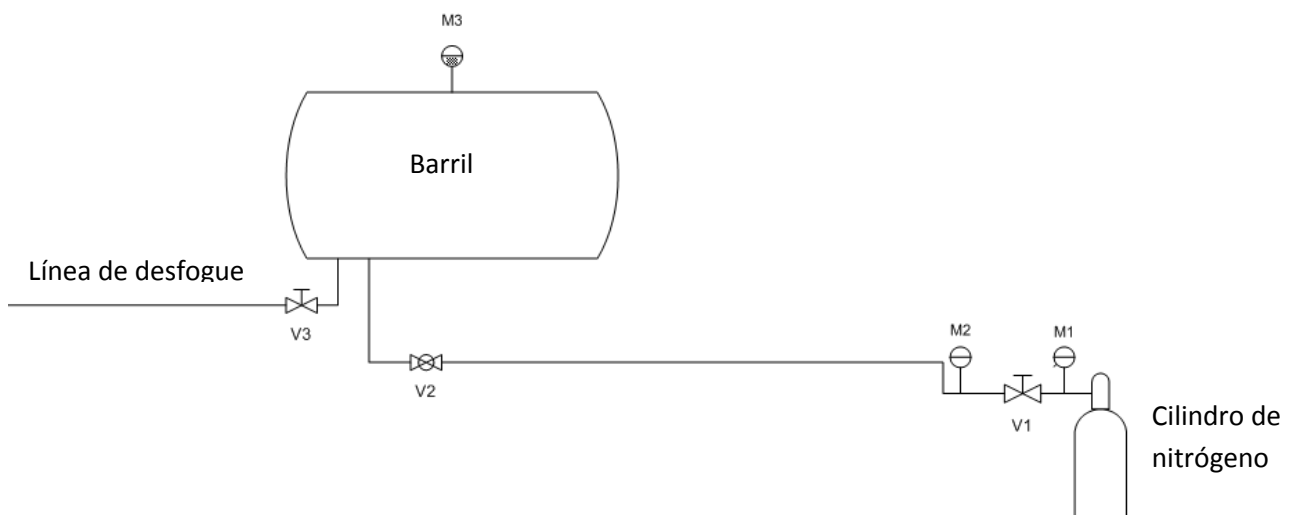


Fig. 54 Diagrama de instalación.

Prueba

Secuencia de carga

El personal debe ubicarse en los lugares seguros definidos.

Cerrar la válvula de aguja V1, válvula de bola entrada V2 y válvula de aguja salida V3.

Abrir la válvula del cilindro presurizado con gas de nitrógeno

Registrar la presión mostrada en el manómetro M1. P man. _____

Abrir la válvula de bola entrada V2 en su totalidad.

Abrir la válvula de aguja V1 (girar la perilla solo un 1/8 de vuelta). La presión del recipiente se incrementa mostrándose en el manómetro M2.

Cuando la presión en el manómetro M2 llegue a 100 psi, cerrar la válvula de aguja V1.

Esperar un lapso de tiempo de 5 min.

Una vez transcurrido el tiempo, verificar si no existen fugas en las conexiones, tapones, tapa de recipiente, etc. el personal designado para inspeccionar. Registrar la presión del manómetro M2 P man _____

Si se encontraron fugas en el sistema pasar a la **secuencia de descarga**.

El personal debe dirigirse a los puntos seguros para proseguir con prueba.

Abrir la válvula de aguja V1 (girar la perilla 1/8 de vuelta). La presión del recipiente sigue incrementándose.

Cerrar la válvula de aguja V1 cuando la presión llegue a 400 psi. , cerrar la válvula de aguja V1.

Registrar la presión del manómetro M2 P man _____

Esperar un lapso de tiempo de 5 min.

Una vez transcurrido el tiempo, verificar si no existen fugas en las conexiones, tapones, tapa de recipiente, etc. el personal designado para inspeccionar. Registrar la presión del manómetro M2 P man _____

Si se encontraron fugas en el sistema pasar a la **secuencia de descarga**.

El personal debe dirigirse a los puntos seguros para proseguir con prueba.

Abrir la válvula de aguja V1 (girar la perilla 1/8 de vuelta). La presión del recipiente sigue incrementándose.

Cerrar la válvula de aguja V1 cuando la presión llegue a 800 psi. , cerrar la válvula de aguja V1.

Registrar la presión del manómetro M2 P man _____

Esperar un lapso de tiempo de 5 min.

Una vez transcurrido el tiempo, verificar si no existen fugas en las conexiones, tapones, tapa de recipiente, etc. el personal designado para inspeccionar. Registrar la presión del manómetro M2 P man _____

Abrir la válvula de aguja V1 (girar la perilla 1/8 de vuelta). La presión del recipiente sigue incrementándose.

Cerrar la válvula de aguja V1 cuando la presión llegue a 1200 psi. , cerrar la válvula de aguja V1.

Registrar la presión del manómetro M2 P man _____

Esperar un lapso de tiempo de 10 min.
Registrar la presión del manómetro M2 P man _____

Si la presión en el manómetro M2 bajo, nos indica que existen fugas en el sistema. Registrar datos.

Abrir la válvula de aguja V1 (girar la perilla 1/8 de vuelta). La presión del recipiente sigue incrementándose.

Cerrar la válvula de aguja V1 cuando la presión llegue a 1600 psi. , cerrar la válvula de aguja V1.
Registrar la presión del manómetro M2 P man _____

Esperar un lapso de tiempo de 20 min.
Registrar la presión del manómetro M2 P man _____

Si la presión en el manómetro M2 bajo, nos indica que existen fugas en el sistema. Registrar datos.

Abrir la válvula de aguja V1 (girar la perilla 1/8 de vuelta). La presión del recipiente sigue incrementándose.

Cerrar la válvula de aguja V1 cuando la presión llegue a 2000 psi. , cerrar la válvula de aguja V1.
Registrar la presión del manómetro M2 P man _____

Esperar un lapso de tiempo de 20 min.
Registrar la presión del manómetro M2 P man _____

Secuencia de descarga

Cerrar la válvula de bola entrada V1.

Abrir la válvula de aguja salida V3 (girar la perilla 1/8 vuelta).

Cuando la presión en el manómetro M3 es de 800 psi, girar la perilla 1/8 vuelta para abrir más la válvula V3.

Cuando la presión del manómetro M3 sea 0, abrir por completo la válvula de aguja salida V3.

Detener grabación de video.

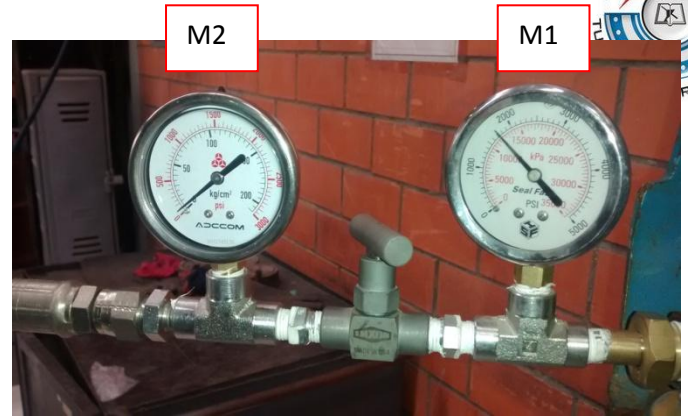
Registro de prueba hidrostática en recipiente.

ANEXO 1. Registros de presión hidrostática en manómetro 2

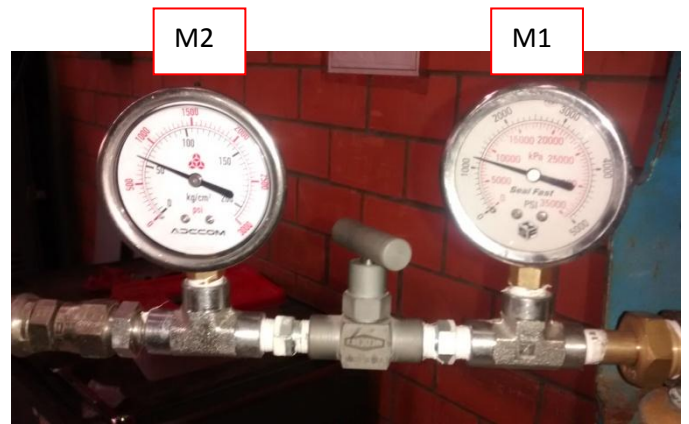
	Hora de registro	Lectura (Presión hidrostática)	Observaciones	
29	8:06	150	Tapado	2100
	8:31	150		2100
	8:35	150	Fugas	2100
30	12:06	150		1900
	12:15	300		1650
	5:53	300		1500
	5:53	400		1400
	6:11	800		1200
	6:20	980	"debe ser igual 1000"	1100
	6:31	980	"cambio de tanque 2100"	2100
	6:33	1200	2000	2000
	6:44	1600	1800	1800
	6:55	1680	"debe ser igual 1700"	1780



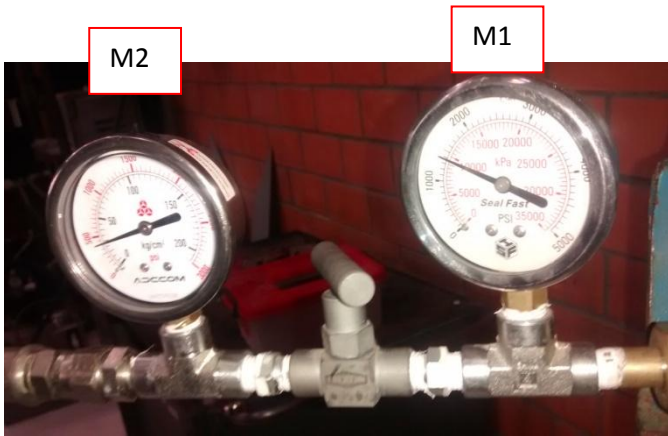
M1 =2000 psi M2=150.



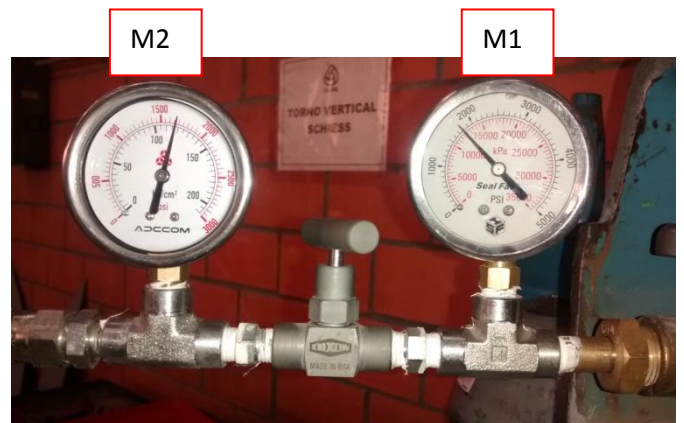
M1 =1800 psi M2=200.



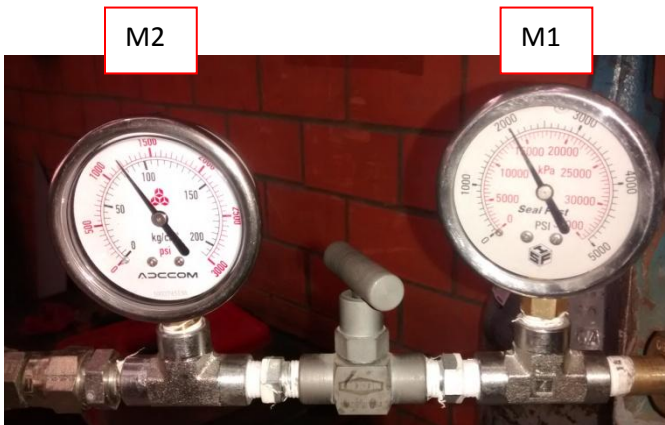
M1 =1200 psi M2=800.



M1 =1400 psi M2=400.



M1 =1780 psi M2=1680.



M1 =2000 psi M2=1200.

Fig. 55 Presiones de prueba hidrostática.

Prueba de giro de eje.

Objetivo: verificar que el eje gire libremente sin rozamientos, así como el resto de los componentes del tren.

Procedimiento: Conectar el motor con el drive eléctrico. Conectar mecánicamente el motor a la caja y la caja multiplicadora al eje del barril. Verificar el giro del tren a mano antes de energizar. Verificar que el motor haga girar el rotor en el sentido contrario de la tuerca de apriete de los baleros del eje del banco. Hacer girar el motor con el drive hasta alcanzar la velocidad mínima de 500 rpm en el eje del barril y observar el comportamiento durante 10 minutos. Buscar ruidos inusuales en la caja, motor y eje del barril. Monitorear la temperatura de la carcasa de los baleros del barril, del motor y de los cojinetes del eje. Así mismo, monitorear las vibraciones de estos mismos componentes con el equipo de medición de vibraciones portátil. Realizar registros durante los 10 minutos (al principio y al final). Acelerar el motor hasta que el eje del barril alcance 1,000 rpm. Permanecer en esta velocidad por 20 minutos monitoreando temperaturas y vibraciones al principio y cada 10 minutos. Registrar los datos. Desacelerar el motor hasta llegar a cero rpm. Finalmente, apagar el drive y dejar el banco preparado para la siguiente prueba.

Equipo requerido: Medidor de temperatura (por ejemplo, pistola láser), colector de datos para medir vibraciones con sensor (medir en carcasa de cojinetes del banco, en los cojinetes de los ejes de la caja de engranes y en un punto sobre el eje del motor).

Instrucciones de seguridad: Instalar las guardas de seguridad de ambos coples. Energizar el sistema eléctrico hasta después de que se haga un chequeo manual del giro del eje principal.

Registros de prueba: Ver Apéndice A. Llenar a mano por un técnico que pueda operar el medidor de temperatura y el colector de datos.

Prueba de giro de eje con sello de prueba sin presión.

Objetivo: verificar que el eje del banco gire libremente con el sello de prueba instalado.

Procedimiento: Conectar el motor con el drive eléctrico. Conectar mecánicamente el motor a la caja y la caja multiplicadora al eje del barril. Verificar el giro del tren a mano antes de energizar. Verificar que el motor haga girar el rotor en el sentido contrario de la tuerca de apriete de los baleros del eje del banco. Hacer girar el motor con el drive hasta alcanzar la velocidad mínima de 500 rpm en el eje del barril y observar el comportamiento durante 10 minutos. Buscar ruidos inusuales en la caja, motor y eje del barril. Monitorear la temperatura de la carcasa del sello, la caja de engranes, del motor y de los cojinetes del eje. Así mismo, monitorear las vibraciones del motor, la caja de engranes y la carcasa de los cojinetes con el equipo de medición de vibraciones portátil. Monitorear la corriente eléctrica consumida por el VFD del motor. Realizar registros durante los 10 minutos (al principio y al final). Acelerar el motor hasta que el eje del barril alcance 1,000 rpm. Permanecer en esta velocidad por 10 minutos monitoreando temperaturas y vibraciones al principio y cada 10 minutos. Registrar los datos. Acelerar el motor hasta que el eje del barril alcance 1,500 rpm. Permanecer en esta velocidad por 5 minutos monitoreando temperaturas y vibraciones al principio y cada 5 minutos. Registrar los datos. Acelerar el motor hasta que el eje del barril alcance 1,800 rpm. Permanecer en esta velocidad por 5 minutos monitoreando temperaturas y vibraciones al principio y cada 5 minutos. Registrar los datos. Desacelerar el motor hasta llegar a 500 rpm y permanecer 5 minutos a esta velocidad. Posteriormente, llevar la velocidad a cero rpm. Finalmente, apagar el drive y dejar el banco preparado para la siguiente prueba.

Equipo requerido: Medidor de temperatura (por ejemplo, pistola láser), colector de datos para medir vibraciones con sensor (medir en carcasa de cojinetes del banco, en los cojinetes de los ejes de la caja de engranes y en un punto sobre el eje del motor).

Instrucciones de seguridad: Instalar las guardas de seguridad de ambos coples. Energizar el sistema eléctrico hasta después de que se haga un chequeo manual del giro del eje principal.

Registros de prueba: Ver Apéndice A. Llenar a mano por un técnico que pueda operar el medidor de temperatura y el colector de datos.

Prueba de giro de eje con sello de prueba con presión.

Objetivo: verificar la funcionalidad del banco con el sello de prueba instalado y presurizado.

Procedimiento: Remover el sello de prueba e instalar el sello fijo en barril del banco (se requiere instalar la manga del sello fijo en el eje del barril). Reinstalar el sello de prueba e instalar la tapa del banco con sus candados. Conectar el circuito de alimentación de gas (Nitrógeno) al barril del banco, junto con sus líneas de desfogue (el desfogue debe ser para la cámara principal y para la cámara de descarga, según la Figura 1). Conectar el motor con el drive eléctrico. Conectar mecánicamente el motor a la caja y la caja multiplicadora al eje del barril. Verificar el giro del tren a mano antes de energizar. Verificar que el motor haga girar el rotor en el sentido contrario de la tuerca de apriete de los baleros del eje del banco.

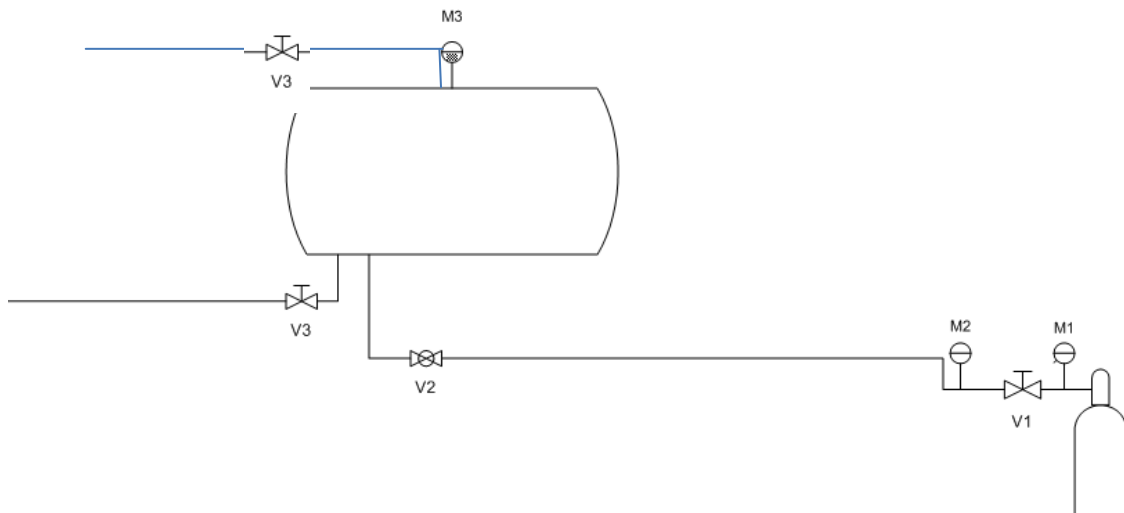


Fig. 56 Diagrama de conexiones para la prueba de giro de eje con sello presurizado.

Antes de girar el motor (cero rpm), quitar el tapón de la tapa principal del banco y checar y registrar el torque de arrastre. Re-instalar el tapón de la tapa. Presurizar la cámara principal del banco lentamente hasta 100 psig y verificar las fugas que puedan ocurrir por el lado del sello fijo y por el sello de prueba. La fuga por el lado del sello fijo se debe manifestar por los laberintos de los cojinetes del eje, mientras que la posible fuga del sello de prueba se debe manifestar por el desfogue de la cámara de descarga. Checar burbujeo con jabón en estos dos lugares (laberinto y desfogue). Cerrar el desfogue de la cámara de descarga. Quitar el tapón de la tapa y verificar y registrar el torque de arrastre. Re-instalar el tapón de la tapa. Abrir el

desfogue de la cámara de descarga. Si el burbujeo en la línea de desfogue de la cámara de descarga no es excesivo, despresurizar el sistema y proceder al siguiente paso.

Sin presión en la cámara principal, hacer girar el motor con el drive hasta alcanzar la velocidad mínima de 500 rpm en el eje del barril y observar el comportamiento durante 10 minutos. Buscar ruidos inusuales en la caja, motor y eje del barril. Monitorear la temperatura de la caja de engranes, del motor y de los cojinetes del eje. Así mismo, monitorear las vibraciones del motor, la caja de engranes y la carcasa de los cojinetes con el equipo de medición de vibraciones portátil. Monitorear la corriente eléctrica consumida por el VFD del motor. Realizar registros durante los 10 minutos (al principio y al final). Con el rotor girando a 500 rpm, presurizar la línea de alimentación lentamente hasta 100 psig y observar el comportamiento durante 10 minutos. Buscar ruidos inusuales en la caja, motor y eje del barril. Monitorear la temperatura de la caja de engranes, del motor y de los cojinetes del eje. Así mismo, monitorear las vibraciones del motor, la caja de engranes y la carcasa de los cojinetes con el equipo de medición de vibraciones portátil. Realizar registros durante los 10 minutos (al principio y al final). Monitorear fugas con jabón en la línea de desfogue de la cámara de salida y en el laberinto del lado cople del eje del barril y documentar con fotografía o vídeo.

Con el barril presurizado, acelerar el motor hasta que el eje del barril alcance 1,000 rpm. Permanecer en esta velocidad por 10 minutos monitoreando temperaturas, vibraciones y fugas al principio y cada 10 minutos. Registrar los datos. Acelerar el motor hasta que el eje del barril alcance 1,500 rpm. Permanecer en esta velocidad por 5 minutos monitoreando temperaturas, vibraciones y fugas al principio y cada 5 minutos. Registrar los datos. Acelerar el motor hasta que el eje del barril alcance 1,800 rpm. Permanecer en esta velocidad por 5 minutos monitoreando temperaturas, vibraciones y fugas al principio y cada 5 minutos. Registrar los datos. Desacelerar el motor hasta llegar a 500 rpm y permanecer 5 minutos a esta velocidad. Posteriormente, llevar la velocidad a cero rpm. Cerrar el desfogue de la cámara de descarga. Quitar el tapón de la tapa y verificar y registrar el torque de arrastre. Re-instalar el tapón de la tapa. Abrir el desfogue de la cámara de descarga. Finalmente, apagar el drive y dejar el banco preparado para el siguiente movimiento.

Equipo requerido: Medidor de temperatura (por ejemplo, pistola láser), colector de datos para medir vibraciones con sensor (medir en carcasa de cojinetes del banco, en los cojinetes de los ejes de la caja de engranes y en un punto sobre el eje del motor). Agua jabonosa.

Instrucciones de seguridad: Instalar las guardas de seguridad de ambos coples. Energizar el sistema eléctrico hasta después de que se haga un chequeo manual del giro del eje principal. El personal encargado de medir el torque debe utilizar lentes de seguridad y protección auditiva. Nota: al cerrar el desfogue de la cámara de descarga, existe el potencial de presurizar esta cámara, por lo que el retiro del tapón de la tapa principal debe hacerse con sumo cuidado usando lentes de seguridad y sin personal alrededor.

Las vibraciones fueron tomadas de forma horizontal y vertical en los puntos de mayor importancia como se muestra en las imágenes:

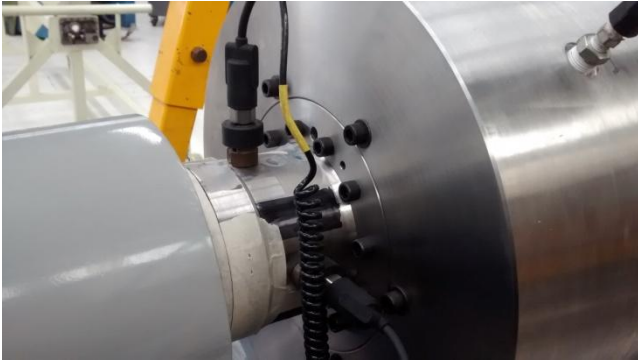


Fig. 57 Posición de los sensores del colector de datos.

Prueba 1

cuple

APENDICE A. Registros de temperatura y vibraciones

Fecha: 08/05/14

Realizado por: H/V Lahir Santos Gonzalez

Hora de registro	Velocidad (rpm)	Temperatura, (C)	Vibraciones (mm/s rms)	Comentario
6:20	500	Caja 22.3	C.O. H 0.233	"Se desmontó en los 30 min"
			V 0.2	
		Caja 20	C.L.B H	
			V	
		Motor 20.2	C.B H	
			V	
6:35	500	Caja 21	C.O. H 0.212	Se desmontó al barril de las cajas.
		21	V 0.121	
		Caja 25.3	C.L.B H 0.228	
		36	V 0.190	
		Motor 20.5	C.B H 0.212	
		21	V 0.187	
			C.L.A H 0.205	
			V 0.355	
			C.A H 0.15	
			V 0.154	
6:51	1000	Caja 20.3	C.O. H 0.213	
		20	V 0.174	
		Caja 27	C.L.B H 0.268	
		40	V 0.243	
		Motor 22	C.B H 0.3	
		23	V 0.191	
			C.L.A H 0.307	
			V 0.22	
	C.A H 0.275			
	V 0.162			
	m H 0.431			
	V 0.279			

500 cuple de alta velocidad
motor y caja desmontado

Caja: cojinetes banco de pruebas
 C.L.B: caja, eje baja, lado libre
 C.B: caja, eje baja, lado cuple
 C.L.A: caja, eje alta, lado libre
 A: caja, eje alta.
 m: motor

Prueba 1

APENDICE A. Registros de temperatura y vibraciones

Viernes.
Fecha: 09. may. 14

Realizado por: Lair Santos González

Hora de registro	Velocidad (rpm)	Temperatura, (C)	Vibraciones (m/s, mm/s, rms) directa/localización	Comentario
12:20	500	cojinete 30 inicio	C01 H 0.587 0.964	
		23 fin	V 0.255 0.271	
		C019 27	C.L.B.H 0.416 0.785	
		24	V 0.219 0.147	
		motor 23	C.B H 0.284 0.245	
		21	V 0.217 0.224	
			C.L.A.H 0.351 0.357 .457	
			V 1.143 0.413 .786	
			C.A H 0.489 0.358	
			V 0.310 0.395	
			M H 0.24 0.457 .357	
			V 0.379 0.286 .403	
12:45	1,000	cojinete 29	C01 H 0.477 0.473	
		45	V 0.464 0.467	
		C019 30	C.L.B.H 0.343 0.324	
		35	V 0.228 0.225	
		motor 24	C.B H 0.387 0.392	
		26	V 0.419 0.459	
			C.L.A.H 0.402 0.499	
			V 0.498 0.525	
			C.A H 0.463 0.436	
			V 0.313 0.313	
			M H 0.605 0.567	
			V 0.810 0.793	

APENDICE A. Registros de temperatura y vibraciones

Prueba tipo: Protocolo de prueba sello sin presión Prueba 2

Fecha: 12/05/14

Lunes

Realizado por: Lair Santos González

inicial/final

Cojinete (ED)

2 A

Hora de registro	Velocidad (rpm)	Temperatura, (°C) inicial/final	Vibraciones (mm/s rms, directa)/localización	Comentario
12:58	500	cojinete 25.8 inicial	C0 H 0.42 0.386	Los datos son cojinete (co) caja baja (LB) caja libre baja (CLB) caja Alta (CA) caja libre Alta (CLA) Motor (M)
		(eje de banco) 26.9 final	V 0.253 0.270	
		sello 25.8	C.LB H 0.345 0.328	
		(carcasa) 26.1	V 0.171 0.192	
		caja 26	C.B H 0.241 0.227	
		(eje alto, salidas) 29	V 0.236 0.222	
		motor 24.8	C.LA H 0.261 0.238	
		(eje) 25.4	V 0.203 0.247	
			C.A H 0.331 0.311	
			V 0.158 0.166	
01:11	1000	cojinete 33	C0 H 0.383 0.376	
			V 0.374 0.373	
		sello 29	C.LB H 0.259 0.278	
			V 0.178 0.189	
		caja 32	C.B H 0.31 0.296	
			V 0.306 0.312	
		motor 26.5	C.LA H 0.303 0.273	
01:20		28.5	V 0.303 0.22	
			C.A H 0.254 0.272	
			V 0.2 0.204	
			M H 0.453 0.436	
			V 0.698 0.711	

13.7 A

13.7 A

Criterios límite: Temperatura: 60C en carcas de cojinetes del banco, Vibración: 2 mm/s rms en cualquier lugar.

APENDICE A. Registros de temperatura y vibraciones


Prueba tipo: Protocolo de prueba sello sin presión. C. Prueba 2

Fecha: 12/05/14 Lunes Realizado por: Lair Santos González
Inicial/Final.

Corriente

Hora de registro	Velocidad (rpm)	Temperatura, (°C) inicial/final	Vibraciones (mm/s rms, directa)/localización	Comentario
16:51	1500	cojinete 43.3 47.6	coj A 0.526 0.578 V 0.573 0.515	Los datos son: cojinete (coj)
		sello 31.9 27.7	C.L.B H V	caja baja (C.B)
		caja 42 43.8	C.B H 0.272 0.323 V 0.694 0.74	caja Alta (C.A)
		motor 30.8 29.7	M H 0.344 0.41 V 0.249 0.357	Motor (M)
16:21			M H 0.552 0.534 V 5.064 5.452	5.064
16:21	1500			
17:01	1400	cojinete 57	coj H 1.733 1.738 V 1.731 0.896	
		sello 30.4	C.L.B H V	
		caja 45	C.B H 0.651 0.55 V 0.713 0.67	
		motor 33.8	C.L.A H V	
			C.A H 1.018 0.98 V 0.423 0.51	
16:41	01:34		M H 2.363 2.43 V 1.262 1.483	

Criterios límite: Temperatura: 60C en carcas de cojinetes del banco, Vibración: 2 mm/s rms en cualquier lugar.

	Actividad:	PROYECTO / SERVICIO
	Protocolo de pruebas giratorias del banco de sellos en CIATEO	0QRSM3062
		AREA
		Turbomaquinaria y RM
ELABORADO	FECHA	
ODS	12 MAY 14	
FOLIO		HOJA 4 DE 4

APENDICE B. Registros de temperatura y vibraciones

Presión en el sello (Psi)


Prueba tipo: Prueba 3

Fecha: 16/05/14

Realizado por: Lair Santos González

Hora de registro	Velocidad (rpm)	Temperatura (°C) / localización	Vibraciones (mm/s rms, directa) / localización	Corriente (Amps)	Torque (N-m)	Comentario
10:50	0			0	2-3	
12:51	500	Cojinete 18.7	(C) H 0.491 0.519	13		* sin presión
		21.6	V 0.716 0.256			
		(C) 20	(L) H 0.414 0.461			
		22.5	V 0.274 0.210			
		Motor 20	(B) H 0.282 0.337			
			V 0.170 0.246			
			(L) H 0.34 0.37			
			V 0.236 0.35			
			(C) H 0.429 0.563			
			V 0.211 0.322			
			(M) H 0.264 0.283			
			V 0.357 0.348			
1:02	500	Cojinete 25	(C) H 0.507 0.512	12.5		Nota: solo se observaron 40 psi debido a alta fuga en el sello fijo de tipo laberinto.
			V 0.272 0.289			Debido a esto la duración de prueba se acortaron a 5 minutos.
		(C) 28	(L) H			ODS
			V			
		Motor 21	(B) H 0.336 0.341			
			V 0.243 1.025			
			(L) H			
			V			
			(C) H 0.343 0.263			
			V 0.163 0.201			
			(M) H 0.258 0.243			
			V 0.349 0.372			

Criterios límite: Temperatura: 60C en carcasa de cojinetes del banco, Vibración: 2 mm/s rms en cualquier lugar.

	Actividad:	PROYECTO: BARRAS
	Protocolo de pruebas giratorias del banco de sellos en CIATEQ	BORESM0002
		AREA: Turbomaquinaria y RM
		FECHA: 12 MAY 14
		PAGE: 4 DE 2

APENDICE B. Registros de temperatura y vibraciones

Prueba tipo: Prueba 3
 Fecha: 16/05/14
 Realizado por: *Lair Santos González*

Hora de registro	Velocidad (rpm)	Temperatura (°C) / localización	Vibraciones (mm/s rms, directa) / localización	Corriente (Amps)	Torque (N-m)	Comentario
40 01:03	1000	cojinete 27.2	(x) H 0.379 0.42 V 0.375 0.417	15		
		(y) 24	(L) H V			
		Motor 21.4	(B) H 0.365 0.391 V 0.365 0.367			
			(L) H V			
			(A) H 0.369 0.39 V 0.368 0.391			
			(M) H 0.477 0.502 V 0.470 0.572			
40 01:13	1000	cojinete 31.2	(x) H 0.579 0.619 V 0.552 0.598	16		
		(y) 27.6	(L) H V			
		Motor 23.4	(B) H 0.755 0.86 V 0.528 0.624			
			(L) H V			
			(A) H 0.592 0.627 V 0.390 0.351			
			(M) H 0.668 0.704 V 0.570 0.646			

Críterios límite: Temperatura: 60C en carcasa de cojinetes del banco, Vibración: 2 mm/s rms cualquier lugar.



Actividad:
Protocolo de pruebas giratorias del banco de sellos en CIATEQ

PROYECTO / SERVICIO	
0QRSM3062	
AREA	
Turbomaquinaria y RM	
ELABORO	FECHA
ODS	12.MAY.14
FOLIO	
	HOJA 6 DE 3

APENDICE B. Registros de temperatura y vibraciones

Prueba tipo: Prueba 3

Fecha: 16/05/14

Realizado por: *Enir Santos González*

(B)	Hora de registro	Velocidad (rpm)	Temperatura (°C) / localización	Vibraciones (mm/s rms, directa) / localización	Corriente (Amps)	Torque (N-m)	Comentario
40	1:17	1800	Cojinete 48.5	roj # 1.41 1.324 V 1.031 1.008	17.5		
			Caja 33	CLB H V			
			Motor 26.5	CA H 0.668 0.74 V 0.448 0.501			
				CLB H V			
				CA H 0.515 0.52 V 0.667 0.654			
				MA P 1.577 1.407 V 1.711 1.805			
0	1:22	500	/	/	10.7		
	1:29	0	/	/	/	2-3	

Criterios limite: Temperatura: 60C en carcasa de cojinetes del banco, Vibración: 2 mm/s rms en cualquier lugar.

Sistema de lubricación

El sistema de lubricación cuenta con un depósito de aceite con capacidad de 1 litro, un regulador de presión con capacidad de 5 a 6 bar, un solenoide en la parte inferior, encargado del flujo de aire y 4 dosificadores. El flujo de aceite que manejan los dosificadores es controlado por el espaciador, los rangos que maneja este sistema son de 30-15-7 mm³/ciclo, en nuestro caso se cambio el espaciador por el de 7 mm³/ciclo.

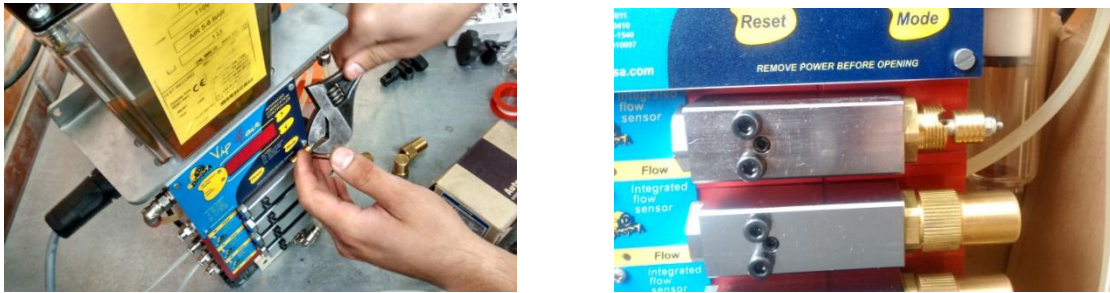


Fig. 58 Instalación del espaciador.

Ciclo de operación

Para controlar el ciclo del sistema de lubricación cuenta con tres rangos de tiempos que son:

El tiempo de control de ciclo, con un rango de 00-60 segundos.

El tiempo de recarga de la bomba, con un rango de 0.0-9.9 segundos.

El tiempo de pausa por ciclo, con un rango de 00.00-99.59 minutos.

Durante una hora cada dosificador debe entregar 300mm³ y el rango de trabajo es de 7 mm³/ciclo entonces:

$$300 \frac{\text{mm}^3}{\text{h}} \times \frac{\text{ciclo}}{7 \text{mm}^3} = 42.8 \frac{\text{cilcos}}{\text{hora}}$$

$$42.8 \frac{\text{cilcos}}{\text{hora}} \times \frac{\text{hora}}{60 \text{ min}} = 0.71 \frac{\text{ciclos}}{\text{min}}$$

$$1.40 \frac{\text{min}}{\text{ciclo}}$$

Esto quiere decir que cada 1.4 min/ciclo o 84 segundos/ciclo deben accionarse los dosificadores. Entonces la programación del sistema de lubricación quedara de la siguiente forma para cumplir esos rangos:

- Tiempo de control de ciclo: 60 segundos.
- Tiempo de recarga de la bomba: 2 segundos.
- Tiempo de pausa por ciclo: 22 segundos.



Fig. 59 Programación del sistema de lubricación.

Prueba de sistema de lubricación

Durante la prueba se utilizaran 3 dosificadores, estas estarán operando durante 1 hora, por lo cual la cantidad final de aceite deberá ser de 0.9 ml.

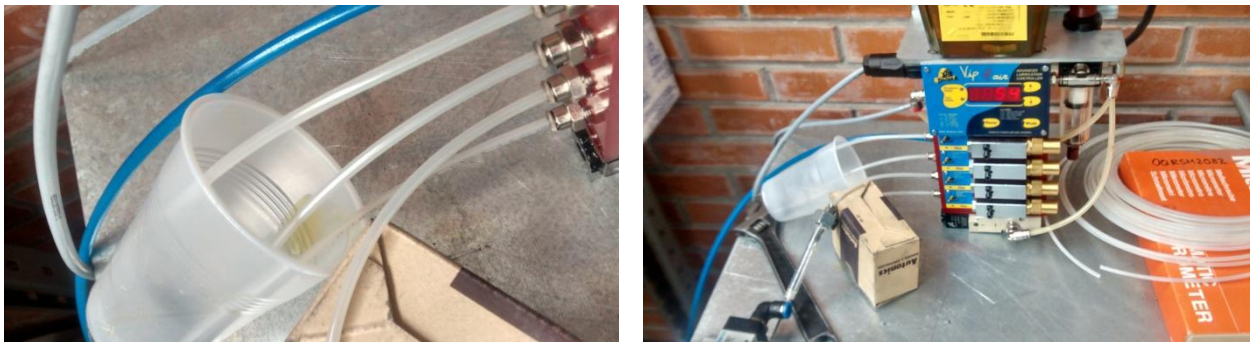


Fig. 60 Prueba de sistema de lubricación.

Resultados

Al final de la prueba se recogió todo el aceite posible a una jeringa, para poder medir el aceite obteniendo aproximadamente 0.7 ml como muestra la fig.8 hay que considerar que cierto aceite se perdió en el proceso, ya que el aire salpicaba el aceite en el interior del vaso.

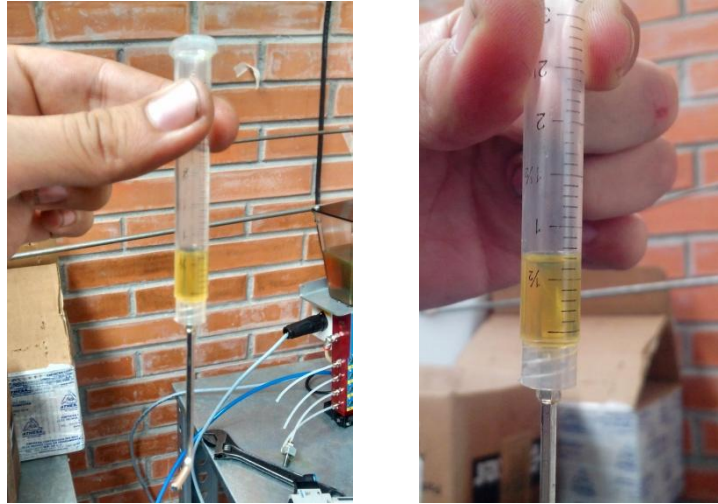


Fig. 61 Jeringa con 0.7 ml de aceite.

Boquilla de lubricación

El ángulo medio de aspersión de la boquillas de lubricación es de aproximadamente 25° y 50 grados del ángulo° total aproximadamente.

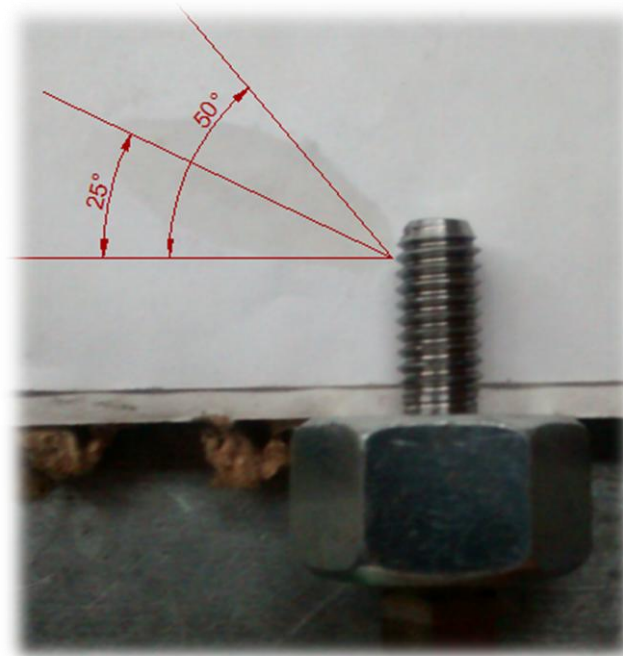


Fig. 62 Ángulo de aspersión de aceite.