

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Electrónica



**Trazador de ruta segura para el arranque y paro de un compresor
centrífugo.**

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de
Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura.**

Walter Chavarría Díaz

Cartago, Enero 2012.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRONICA
PROYECTO DE GRADUACIÓN
TRIBUNAL EVALUADOR

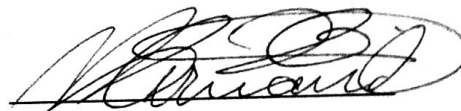
Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal



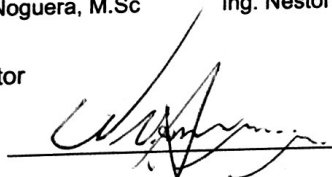
Ing. Juan Scott Chaves Noguera, M.Sc

Profesor lector



Ing. Néstor Hernández Hostaller, M.Sc.

Profesor lector



Lic. Ing. William Marín Moreno

Profesor asesor



Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica

Cartago, Enero 2012.

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, Enero 2012.



Walter Chavarría Díaz

Céd: 701620385

RESUMEN

La necesidad de un aumento de presión para diferentes procesos de la industria actual lleva a la incorporación de compresores centrífugos que se encuentran encendidos durante largos periodos de tiempo. El funcionamiento de estos equipos es descrito por curvas de trabajo propias de cada compresor en las cuales se demarcan zonas de estabilidad donde se debe mantener el 100% del tiempo de actividad del equipo, en caso contrario se provocarían daños importantes en los sistemas del mismo.

La solución propuesta establece una trayectoria estática de aceleración, manipulada por la velocidad y el flujo másico de entrada. En todo momento se toman en cuenta los límites de estabilidad y la eficiencia del equipo. Se consideran variables como peso molecular, temperatura de entrada y presión de entrada para la determinación de la zona de trabajo segura.

Al ser primordial la seguridad en la industria donde se esta proponiendo la solución, se hace el sacrificio de eficiencia con el fin de ganar la seguridad de mantenerse en zona de estabilidad el 100% del tiempo del funcionamiento del equipo.

ABSTRACT

The need for increased pressure for different current industry processes lead the incorporation of centrifugal compressors that are during long periods of time in ON state. Each equipment is described by it own behavior curve where are demarcate zones of stability where the compressor should be maintained the 100% of the time, otherwise it would cause major damage to the whole system.

The solution that is proposed provides a static path for the system acceleration, this works changing the speed and mass flow values. At the same time is considered the proximity to the instability zone and the equipment efficiency. There are considered variables like molecular weight, inlet temperature and inlet pressure to determinate the safety of the work area.

Because in the industry where the solution is being proposed the security is on first it is a sacrifice on efficiency in order to gain security to be on stability zone during the 100% of the time of the operation of the equipment.

ÍNDICE GENERAL.

Capítulo 1	Introducción.....	1
1.1	Entorno.....	1
1.2	Generalidades.....	4
1.3	Síntesis del problema.....	4
1.4	Enfoque a la solución.....	4
Capítulo 2	Meta y Objetivos.....	7
2.1	Meta.....	7
2.2	Objetivo general.....	7
2.3	Objetivos específicos.....	7
Capítulo 3	Marco teórico.....	8
3.1	Inestabilidades de un compresor.....	8
3.2	Compresor Centrifugo.....	8
3.3	Operación del compresor.....	9
Capítulo 4	Procedimiento metodológico.....	14
4.1	Reconocimiento y definición del problema.....	14
4.2	Obtención y análisis de información.....	14
4.3	Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución.....	17
4.3.1	Análisis de vibraciones del sistema.....	17
4.3.2	Manipulación de flujo de entrada y velocidad del rotor.....	18
Capítulo 5	Descripción detallada de la solución.....	19
5.1	Estimación de línea de control, trayectoria de arranque.....	19

5.1.1	Calculo de eficiencia para un punto de trabajo diferente a los considerados por el fabricante.	19
5.1.2	Trazo de la línea de control.	23
5.2	Análisis de soluciones y selección final	26
5.3	Descripción del hardware	27
5.3.3	Instrumentación y dispositivos de seguridad.	27
5.3.4	Red de comunicaciones.	29
5.3.5	Controlador lógico programable (PLC).	30
Capítulo 6	Análisis de Resultados	31
6.1	Resultados	31
Capítulo 7	Conclusiones y recomendaciones.....	37
7.1	Conclusiones.	37
7.2	Recomendaciones	38
7.3	Bibliografía.....	39
7.4	Apéndices	40
7.5	Anexos.....	45

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1.1. Curva característica típica de un compresor centrífugo.....	2
Figura 1.2. Diagrama general de solución propuesta.	5
Figura 3.1. Diagrama general de un compresor rotativo. [4].....	9
Figura 3.2. Flujo característico de un compresor centrífugo. [4].....	9
Figura 3.3. Mapa de operación de un compresor centrífugo [4].	10
Figura 3.4. Presión de salida antes y durante Surge [5].	11
Figura 3.5. Mapa de un compresor centrífugo en Surge profundo [4].	12
Figura 3.6. Comportamiento transitorio de un sistema de compresión [5].....	13
Figura 4.1. Visualizador actual de desempeño del compresor PC-301B, RECOPE, Moín.	15
Figura 4.2. Límites para la zona de estabilidad.....	16
Figura 4.3. Visualización de captura de vibraciones con grandes amplitudes y repeticiones continuas	17
Figura 5.1. Gráfica de coeficientes característicos del compresor PC-301B.	21
Figura 5.2. Diagrama de flujo sobre la predicción de la eficiencia y otras variables como presión y temperatura de descarga [7].....	22
Figura 5.3. Gráfica de saltos energéticos contra flujo volumétrico, para diferentes velocidades.	24
Figura 5.4. Gráfica de Flujo másico contra velocidad del rotor.	25
Figura 5.5. Gráfica de eficiencia contra flujo másico para diferentes velocidades.	25
Figura 5.6. Posibles rutas de aceleración, basándose en eficiencia y en seguridad.	26
Figura 5.7. Sistema requerido para la implementación propuesta.....	28

Figura 6.1. Información histórica de Schilling y flujo másico brindador por RECOPE.....	31
Figura 6.2. Gráficas de pruebas para los valores de Schilling de la Tabla 6.1; de izquierda a derecha, Schilling de 0,2561, 0,27 y 0,24.	32
Figura 6.3. Valores de Schilling permitidos para el compresor PC-301B.	33
Figura 6.4. Rangos de temperatura de validos para la solución propuesta.	33
Figura 6.5. Rangos de presión validos para la solución propuesta.....	34
Figura 6.6. Gráfica de flujo másico contra relación de presiones.	36

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 5.1. Datos conocidos del compresor PC-301B, brindados por el fabricante (anexo A).....	19
Tabla 5.2. Datos experimentales brindados por el fabricante.....	20
Tabla 5.3. Coeficientes de flujo y de salto energético.....	20
Tabla 6.1. Datos representativos de mediciones realizadas por RECOPE.	31
Tabla 6.2. Comprobación de estabilidad para valores de Schilling.....	32
Tabla 6.3. Rangos de temperatura para diferentes valores de Schilling, con una presión de entrada constante de 445,2 psi.....	34
Tabla 6.4. Rangos de presiones para diferentes valores de Schilling, con una temperatura de entrada constante de 100F.....	35
Tabla 6.5. Valores de presión requerida en la salida del compresor PC-301B....	35

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

1.1 Entorno.

Se realiza el proyecto en el plantel de trabajo de la Refinadora Costarricense de Petróleo, RECOPE, en Moín de Limón. Esta es la empresa encargada de abastecer los combustibles requeridos por el país, donde su labor principal es la refinación y distribución al mayoreo de combustibles, asfalto y naftas. La importancia de su trabajo es vital para el desarrollo de Costa Rica.

Los materiales que en este plantel se manejan son sumamente peligrosos y explosivos, por esta razón se aplican normas de seguridad muy estrictas; desde la indumentaria necesaria por parte del personal para el ingreso al plantel, hasta la calidad y normativas en la instrumentación de campo que en RECOPE se utiliza. Todo equipo que se utilicen debe cumplir con los métodos de seguridad intrínseca y a prueba de explosiones, se trabaja bajo las normas que establece la NFPA (National Fire Protection Association, asociación nacional de protección contra el fuego).

El plantel de Moín posee dos compresores centrífugos accionados por turbina y otro accionado por pistón, este último está en constante uso (veinticuatro horas al día y siete días a la semana) y uno de los que funciona con turbina (código interno PC-301B) se encuentra como plan de respaldo en caso de que el primero presente una falla, sobre este es que se realizará el proyecto. El tercer compresor se encuentra totalmente fuera de uso.

La importancia del equipo de respaldo se da porque no se permite detener la producción en esta sección del proceso de refinación, donde se involucran químicos que se dañan rápidamente sin el funcionamiento del compresor. Esta sección del plantel se encarga del proceso conocido como reformado catalítico, cuyo propósito es producir aromáticos de los naftenos y las parafinas para ser utilizados como un combustible, debido a su alto número de octanos, o también se utiliza como una fuente específica de compuestos aromáticos.

Actualmente el compresor de respaldo posee implementadas las normas mínimas de seguridad, las cuales fueron elaboradas en el año 2007 por el ingeniero del

lugar y permiten conocer si el funcionamiento es el adecuado, basándose en temperatura, velocidad del rotor y flujo de entrada, se logra conocer si la máquina se encuentra en zona estable.

Hoy en día la monitorización en tiempo real se realiza mediante la observación y criterio de un operario con ayuda de una hoja de cálculo del software Microsoft® Excel®; esta persona ingresa los valores requeridos para conocer el punto de operación del compresor, para luego realizar de forma manual los ajustes de velocidad para mantenerse en la zona estable. Este proceso de ajuste se da durante todo el arranque y paro del compresor, hasta lograr llegar al punto de estabilidad.

El proceso de arranque se describe en la Tabla 1.1, esta secuencia se debe de recorrer para realizar un adecuado proceso según instrucciones del fabricante. Cuando se requiere detener el sistema, se hace un recorrido bajo la secuencia inversa.

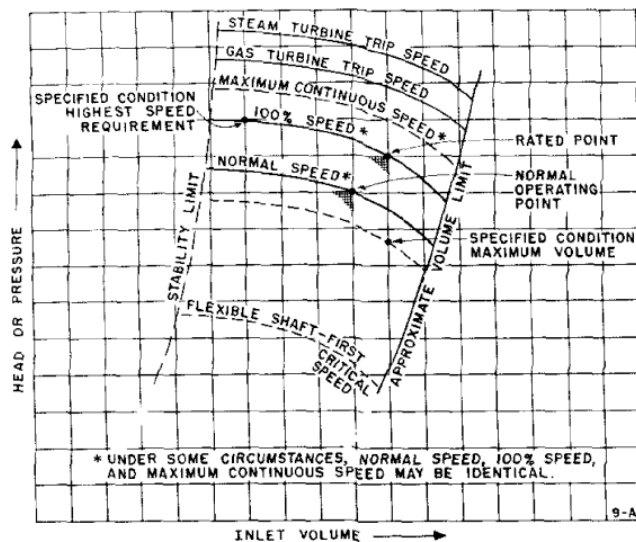


Figura 1.1. Curva característica típica de un compresor centrífugo

La Figura 1.1 es una representación típica de una curva característica para un compresor centrífugo, donde se destacan líneas de gran importancia, las cuales marcan las zonas de inestabilidad; por parte de RECOPE se obtienen datos que posteriormente se puede graficar y dar forma a una curva similar a la anterior.

Tabla 1.1. Secuencia de arranque del compresor PC-301B [1].

Pasos	Procesos
	Confirmar el nivel el adecuado de aceite de la caja de cambios del compresor centrífugo, rellenar el depósito con aceite Automático de transmisión tipo A (ATF) totalmente nuevo, con una viscosidad entre 160 y 240 SSU a 38 °C. Realizar esto hasta que el nivel del fluido este en la parte superior del circulo negro del visor de vidrio.
	Remover el tapón del filtro y agregar un cuarto de aceite ATF nuevo.
	Confirmar el mantenimiento al equipo adicional según indicaciones del fabricante.
	Abrir las válvulas de succión y de descarga.
Preparar el sistema de lubricación.	En la unidad de lubricación auxiliar: arrancar la bomba auxiliar de lubricación, mantener durante 30 segundos con una presión mínima de 5 psig (0,35 kg/cm ²) como indicación previa al arranque del compresor.
Arranque del compresor.	Arrancar el compresor con la válvula de descarga completamente abierta mientras que se limita la succión con la válvula correspondiente, esto hasta llevar al compresor en el punto de operación diseñado.

La información recolectada por el sensor de velocidad es enviada a un cuarto de control para ser monitorizada por una segunda persona la cual en caso de una situación considerada peligrosa (compresor en zona de inestabilidad) activaría una alarma de alta prioridad (la cual sería un aviso por radio para ajustar la velocidad) o de alta-alta prioridad (activa sirenas para iniciar el proceso de paro del compresor).

El cuarto de control posee un sistema de control distribuido (DCS por sus siglas en inglés, Distributed Control System) TCS3000 de la marca Honeywell, para el cual se utiliza una comunicación analógica que se conoce como "lazo de corriente 4-20mA", descrita brevemente en [2] y estandarizado por [3].

1.2 Generalidades.

Para lograr un adecuado arranque, operación y paro del compresor centrífugo se da la dependencia de un operario que posea experiencia en el funcionamiento del equipo, esta persona debe mantener el funcionamiento del compresor en una zona de estabilidad realizando ajustes en la velocidad del rotor del compresor.

La generación de alarmas se basa en la monitorización la velocidad del rotor del compresor centrífugo (únicamente). Esta alarma se genera en el cuarto de control donde es activada por una persona; no se poseen alarmas de activación autónoma o locales.

1.3 Síntesis del problema.

La sección de reformado catalítico de RECOPE no tiene un sistema de arranque, operación y paro, que sea automático, capaz de generar alarmas en caso de situaciones peligrosas y que mantenga al sistema en funcionamiento dentro de la zona estable.

1.4 Enfoque a la solución.

Durante el funcionamiento normal del compresor es de gran importancia prestar atención a variables tales como:

- Presión y temperatura de succión y descarga.
- Presión y temperatura de aceite.
- Flujo de entrada y salida.
- Vibraciones del sistema.
- Velocidad del rotor.

Con esta información y otras variables que se deben ingresar al sistema por parte del operario, se puede conocer y evaluar en que punto de operación se encuentra el compresor, esta afirmación esta regida por los estándares API-617 y API-614 (American Petroleum Institute, instituto estadounidense de petróleo); las cuales marcan la pauta con lo que respecta a compresores centrífugos.

Una correcta monitorización de las variables necesarias para un funcionamiento seguro se realiza mediante la distribución de transmisores e interruptores de

protección en los diferentes puntos de obtención de información además de un control dedicado para el sistema con monitorización en tiempo real.

El sistema propuesto deberá automatizar la operación del compresor, este debe incluir el arranque de manera ordenada, manteniéndolo en una operación estable, alarmar en condiciones anormales, parar los equipos principales en caso de requerirse y poseer la capacidad de transmitir la información recolectada a otros centros de control.

Se requiere de una red de campo para la adquisición de datos y control de actuadores, para esto se hace referencia a la comunicación punto a punto del tipo electrónica de 4-20mA, esta posee una señal de corriente que es igual en cualquier punto de la línea. Permite diferenciar una avería o ruptura de línea del rango inferior de medida.

La transmisión de información al los centros de control será regida por el protocolo ModBus utilizado en los sistemas de marca Allen Bradley, que es ampliamente utilizada en RECOPE.

Según las necesidades y requerimientos solicitados por la empresa RECOPE, la solución que se busca se conforma como lo indica la Figura 1.2.



Figura 1.2. Diagrama general de solución propuesta.

Se requiere un sistema que genere la trayectoria de funcionamiento para el compresor, este será el bloque que le indicará a un sistema de control el punto de estabilización que se necesita.

Se busca un sistema que despliegue en el lugar de trabajo información de importancia para el funcionamiento y manejo del compresor, dentro de todas las variables que se manejan, es de suma importancia desplegar las siguientes, con sus respectivos límites que generan situaciones de alarma.

Tabla 1.2. Parámetros relevantes para desplegar en el lugar de trabajo.

Parámetro	Valor mínimo	Valor Máximo
Velocidad (rpm)	0	36000
Temperatura (°F)	140 (60 °C)	200 (93 °C)
Presión (psia)	100	455,42
Flujo másico (kg/h)	0	4440

Toda la información recolectada en el compresor centrífugo además de estar disponible para el operario, también será enviada al cuarto de control para que esté a disposición como medida de respaldo de seguridad.

Toda la circuitería debe cumplir con los estándares de seguridad antiexplosivos y generadores de chispas, para esto se usará equipo especial recomendado por la empresa y establecido internacionalmente, cumpliendo con las clasificaciones internacionales de división 1 y clase 1, descritas en el NEC (The National Electrical Code, código eléctrico nacional), número de estándar 1910.307.

CAPÍTULO 2 META Y OBJETIVOS.

2.1 Meta.

Reducir las situaciones de peligro que se provoquen por el mal manejo del compresor centrífugo en la sección de reformado catalítico del plantel de refinación de RECOPE en Moín, Limón.

2.2 Objetivo general.

- Diseñar un sistema automático para el arranque, operación y paro seguros para un compresor centrífugo de alta velocidad.

2.3 Objetivos específicos

- Caracterizar el comportamiento del compresor centrífugo PC-301B.
- Determinar una trayectoria sobre la curva característica que permita establecer el mejor camino tomando en cuenta seguridad y eficiencia para el arranque y paro del compresor centrífugo.
- Diseñar una trayectoria 100% segura para el compresor centrífugo en su secuencia de arranque y paro.
- Determinar rangos de temperatura, presión y Schilling¹ permitidos para la solución propuesta.
- Seleccionar equipos necesarios para la implementación que sean compatibles con los que ya están operando en RECOPE.

¹ Schilling: relación de presiones que permite conocer la masa molecular de la sustancia a trabajar

CAPÍTULO 3 MARCO TEÓRICO

3.1 Inestabilidades de un compresor.

El compresor centrífugo que se utiliza en esta sección de la refinería es de gran importancia para la producción total de la empresa, esto porque se encarga de aumentar el número de octano de la nafta pesada obtenida de la destilación atmosférica del crudo.

Este tipo de compresor es el más utilizado en la industria de procesos químicos, esto por su construcción sencilla y poco mantenimiento, permitiendo un funcionamiento continuo durante largos periodos. La función principal de los compresores es la transformación de la energía cinética (velocidad) en presión. Esto se realiza haciendo un intercambio de energía entre la maquina y el fluido que esta circulando por esta.

Este sistema es uno de los componentes más críticos en cuanto a peligrosidad, también es uno de los mas caros. Por estas razones se debe de proteger el equipo del daño causado por fluctuaciones o “surge”. [4]

3.2 Compresor Centrífugo.

El compresor centrífugo es una máquina en la que el gas es comprimido por la acción dinámica de las paletas giratorias de uno o más rodetes. El rodete logra esta transmisión de energía variando el momento y la presión del gas. El momento (relativo a la energía cinética) se convierte en energía de presión útil al perder velocidad el gas en el difusor del compresor u otro rodete. Un compresor de este tipo está constituido esencialmente por dos partes:

- El rodete, el cual impulsa el gas.
- La carcasa, que primero conduce el gas hasta el rodete y después lo recibe de él a una presión mayor.

En la Figura 3.1 se muestra un diagrama general de un compresor centrífugo, donde se observan con claridad los componentes descritos.

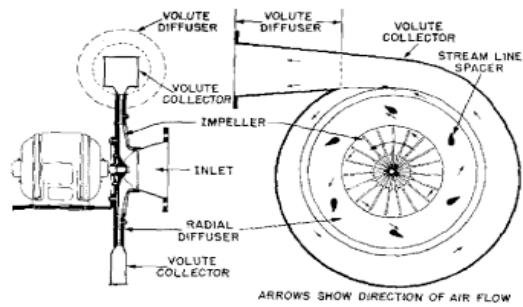


Figura 3.1. Diagrama general de un compresor rotativo. [4]

La dinámica del flujo interno del gas brinda las características propias de un compresor centrífugo, en ellos el flujo de gas es radial y la transferencia de energía se debe predominantemente a un cambio en las fuerzas centrífugas actuantes sobre el gas.

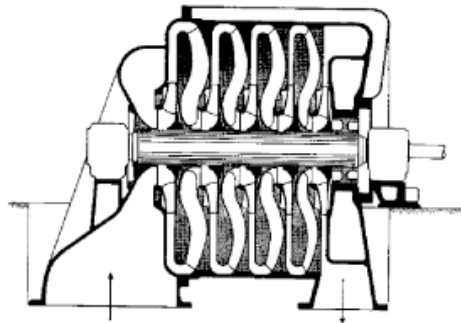


Figura 3.2. Flujo característico de un compresor centrífugo. [4]

3.3 Operación del compresor

El comportamiento y el rendimiento de un compresor se describe mediante una curva característica que relaciona la velocidad rotacional, la elevación de presión diferencial y el flujo de masa a través del compresor. Los puntos de operación de estado estable son indicados por líneas de velocidad constante, llamadas curvas características del compresor [5].

El rango de operación del compresor en estado estable es limitado por dos líneas propias del diseño del compresor; para flujos altos se incide la línea de capacidad (shock line), mientras que para flujos bajos se indica la línea de inestabilidad (surge line) [4].

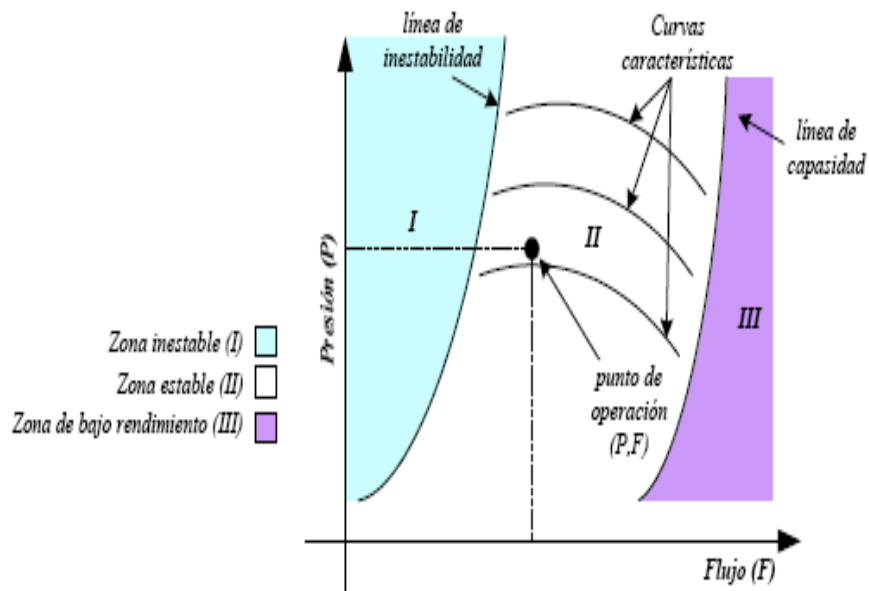


Figura 3.3. Mapa de operación de un compresor centrífugo [4].

El problema de Surge es una inestabilidad que afecta a todo sistema de compresión. Se caracteriza por poseer ciclos de oscilaciones limitadas que producen fluctuaciones de gran amplitud de presión y de caudal (flujo másico promedio anular). Ocurre cuando la presión tiene una caída lenta pero con reducciones grandes en el flujo [6].

La determinación del límite de trabajo Surge no depende de una sola variable, por el contrario es una función compleja que se fija respecto tomando en cuenta la composición del gas, la temperatura de succión y presión, la velocidad de rotación y el ángulo de guía de paletas (impeller). El control integrado y los sistemas de protección son extremadamente importantes para las empresas e industrias que operan turbocompresores [7].

Algunas de las características [8] que presenta el sistema en zona surge son:

- Inversión Rápida del flujo (medida en milisegundos)
- Vibración excesiva del compresor
- Aumento de la temperatura del medio que fluye
- Ruido

En el caso que el funcionamiento del compresor se de en la zona de inestabilidad se pueden provocar consecuencias graves en el equipo de trabajo, debido en parte a los efectos de la compresibilidad del fluido. Algunas de ellas son:

- Acorta la vida del compresor
- Pérdida de Rendimiento
- Reduce la salida del compresor
- Daños mecánicos a las juntas, cojinetes, impulsores, etc.

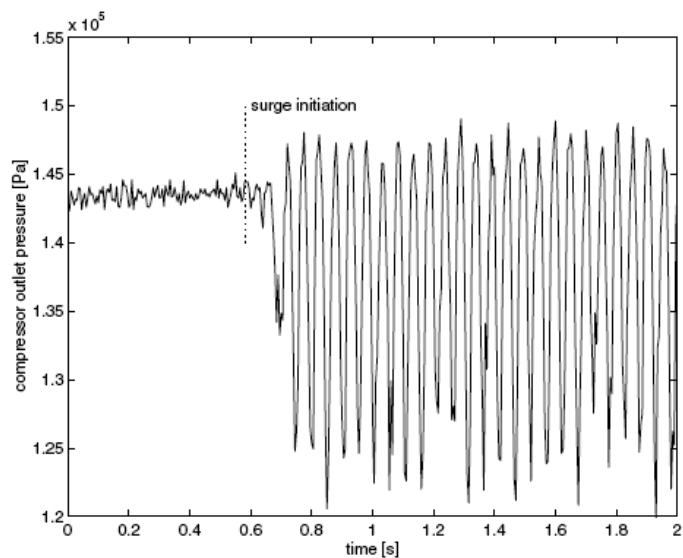


Figura 3.4. Presión de salida antes y durante Surge [5].

Pueden distinguirse cuatro categorías de surge [4]:

- Surge moderado (mild surge): su frecuencia de oscilación esta alrededor de la frecuencia de Helmholtz².
- Surge clásico (classic surge): es un fenómeno no lineal con oscilaciones mayores y con una frecuencia menor que el surge moderado, pero las fluctuaciones de flujo másico permanecen positivas.
- Surge modificado (modified surge): es una mezcla del surge clásico y el stall³ rotativo.

² Frecuencia de Helmholtz: frecuencia a la que oscila una masa de flujo de aire en un recipiente ideal de volumen y área de entrada constante, donde el aire contenido actúa como un sistema masa-amortiguador.

³ Se denomina Stall a la pérdida de sustentación de una pala por cambios en su comportamiento aerodinámico

- Surge profundo (deep surge): consiste en un ciclo, asociado con flujo inverso en alguna etapa del ciclo (2 y 3 en la Figura 3.5). con una frecuencia de oscilación normalmente debajo de la frecuencia de Helmholtz y es establecida por el periodo de llenado y de vaciado del volumen del aire contenido.

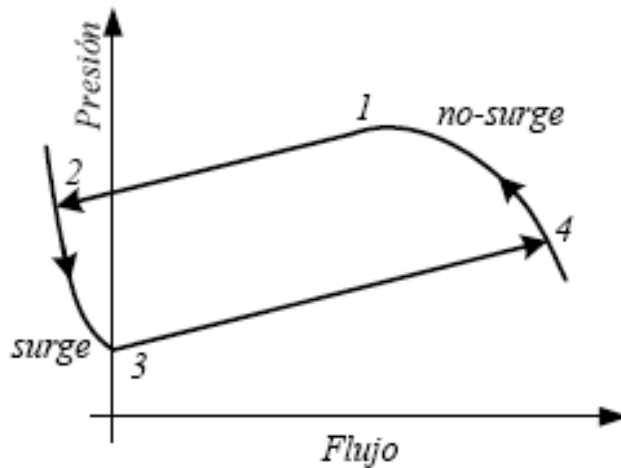


Figura 3.5. Mapa de un compresor centrífugo en Surge profundo [4].

El manejo del punto de operación se ve afectado por diferentes factores, en el comportamiento normal de un compresor centrífugo, los cambios en el flujo van a ser más rápidos que la variación de la presión. En el caso de una aceleración, el punto de operación inicialmente se moverá alejándose de la zona de Surge, mientras que en una desaceleración este punto de trabajo, podría entrar momentáneamente en la zona de inestabilidad. En la Figura 3.6 se muestra el comportamiento de un sistema de compresión al variar la velocidad del rotor.

Otro fenómeno que puede llevar al sistema a la zona de surge son los cambios temporales significativos en la composición del gas a trabajar, estos cambios cambian las características del compresor, cambiando la línea de surge y por lo tanto el punto de operación, esto podría provocar inestabilidad en el momento de arranque.

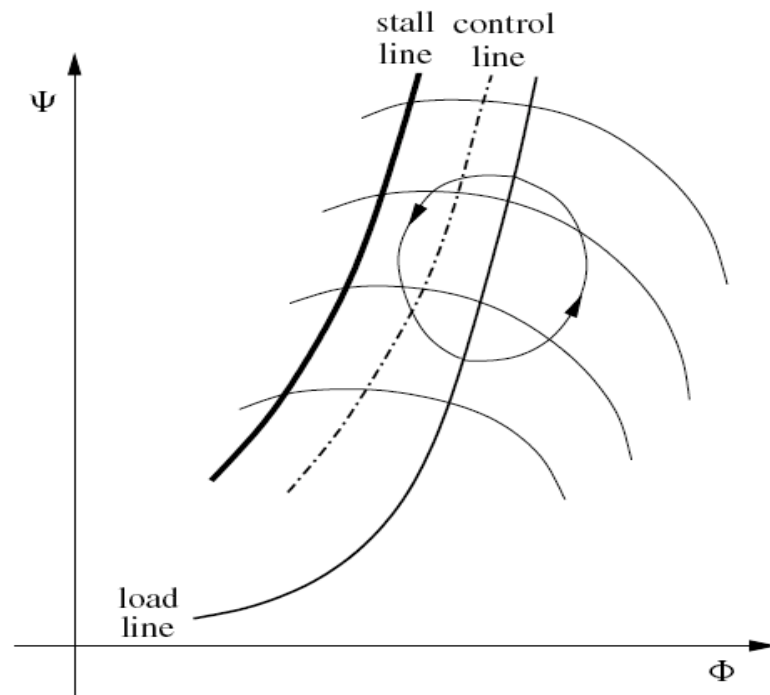


Figura 3.6. Comportamiento transitorio de un sistema de compresión [5].

Conociendo las consecuencias del funcionamiento del equipo en la zona de surge, siempre se busca mantener el punto de trabajo fuera de este límite; la técnica de supresión de inestabilidad por control es más ventajosa ante variaciones mecánicas, ya que es adaptable a muchos tipos de compresores, además de que podría mejorar o mantener el rendimiento del sistema.

CAPÍTULO 4 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

4.1 Reconocimiento y definición del problema.

Al momento de realizar el arranque del compresor centrífugo un operario se encarga de ingresar valores de velocidad y flujo másico medidos en el lugar de trabajo a un visualizador de desempeño desarrollado por la empresa (Figura 4.1), el cual indica en sus resultados, si el punto de operación del sistema se encuentra en la zona estable.

Los límites de estabilidad son calculados directamente con los valores de entrada los cuales varían en pequeñas cantidades (durante el funcionamiento estable del sistema), el movimiento de estos no afecta su forma, solamente su pendiente en una gráfica de flujo de entrada contra velocidad del rotor.

Se busca resolver la dependencia de una persona para realizar los ajustes de velocidad al momento de mantener al sistema en una zona segura, además de aprovechar el mayor rendimiento dándole la mayor seguridad al compresor; también se incluyen indicaciones de alarma para las cercanías a los límites en caso de situaciones anormales.

La forma de solucionar esta situación es trazando una trayectoria adecuada de funcionamiento para el arranque, operación y paro del compresor centrífugo.

4.2 Obtención y análisis de información.

Actualmente el control anti-surge para el compresor PC-301B de RECOPE se hace usando una hoja realizada en Microsoft® Excel®, esta permite determinar si el sistema se encuentra en la zona de inestabilidad. Este forma de analizar el comportamiento del compresor se realiza para un punto en específico, par ordenado (Velocidad, Flujo másico).

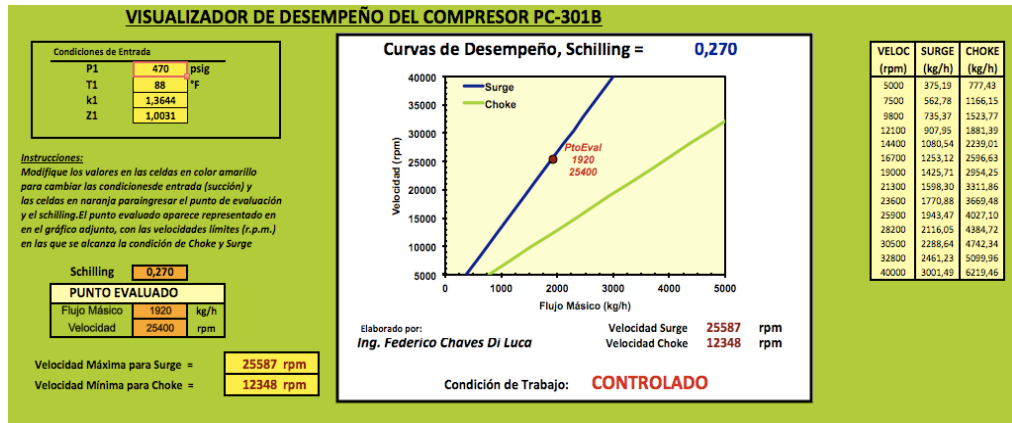


Figura 4.1. Visualizador actual de desempeño del compresor PC-301B, RECOPE, Moín.

En el caso de la figura anterior, la grafica permite conocer en que zona se encuentra el funcionamiento del compresor; mediante la introducción de condiciones de entrada específicas de la sustancia que se esta procesando, tales son:

- Presión de entrada (P_{in})
- Temperatura de entrada (T_{in})
- Razón de calor específico (K)
- Factor de compresibilidad (Z_1)
- Schilling (relación de presiones que permite conocer la masa molecular de la sustancia a trabajar)

Esta información es muestreada por el laboratorio químico de la compañía, que realiza esta captura cada veinticuatro horas. Es importante saber que el valor de Schilling va cambiando hasta alcanzar la estabilidad y el punto de trabajo deseado para el compresor.

Los limites para la zona de estabilidad del compresor son establecidos por una serie de ecuaciones que se interrelacionan entre si y finalmente dan como resultado las siguientes dos ecuaciones:

$$Surge(kg/h) = 144,2 * C_g * U_R * 60 * 0,4536 \quad (4.1)$$

$$Choke(Kg/h) = 298,8 * C_g * U_R * 60 * 0,4536 \quad (4.2)$$

En la ecuación (4.1 y en la (4.2 se marcan los límites para la zona de estabilidad del compresor centrífugo (Figura 4.2), en sus ecuaciones implícitas se involucran constantes que se aclaran a continuación; estas son utilizadas para realizar cambios en unidades o son propias del sistema en el que se trabaja.

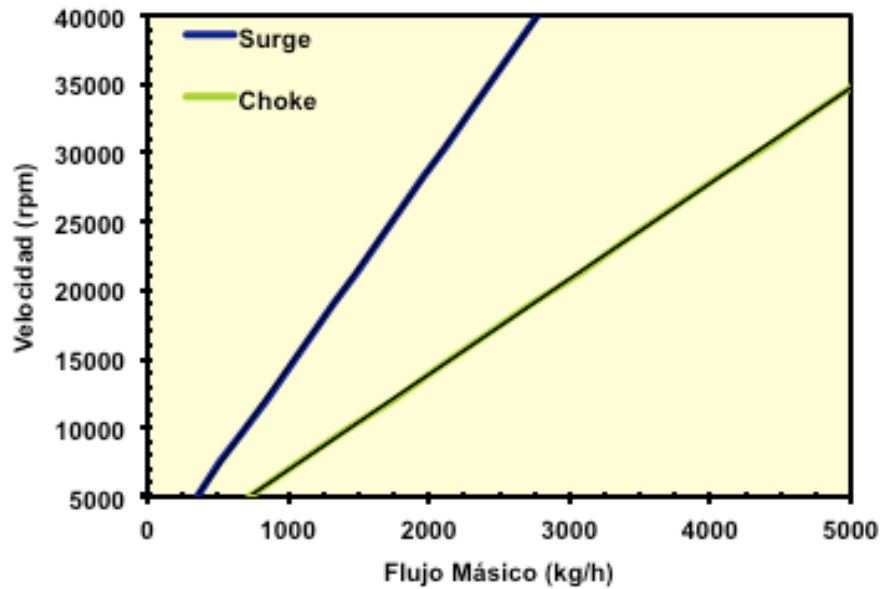


Figura 4.2. Límites para la zona de estabilidad.

$$U_R = \frac{U * D}{229,18 * U_0} \quad (4.3)$$

$$C_s = \frac{MW * (P_{in} + 14,7)}{10,729 * (T_{in} + 459,67) * Z_1} \quad (4.4)$$

$$MW = Schilling * 28,96 \text{ g/mol} \quad (4.5)$$

- U (rpm) : Velocidad del rotor, valor capturado en el lugar de trabajo.
- D (in) : Diámetro del propulsor.
- $U_o = 1269,3 \text{ ft/s}$: Velocidad de referencia, similar a la velocidad del sonido.
- MW : Peso molecular del gas a trabajar.

Las constantes numéricas que se encuentran en todas las ecuaciones son factores de conversión para el manejo de las unidades.

4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución.

Se ha dicho que los efectos del funcionamiento de un compresor en zonas de inestabilidad ponen en peligro la integridad del sistema además de limitar su rendimiento.

La búsqueda de una solución ante este problema da pie a pensar en dos posibles estrategias para desarrollar el control para un sistema como el presente, identificar y resolver una situación de inestabilidad o evitarla por completo [9].

4.3.1 Análisis de vibraciones del sistema.

En la sección 4.1 se habla de cómo identificar los límites para marcar una zona de estabilidad, en este caso un sistema de este tipo presenta “síntomas” propios y característicos de esta situación; donde una de estas son el aumento excesivo en las vibraciones.

Basándose en el aumento de las vibraciones y el análisis de las mismas, se puede conocer cuando un sistema de compresión se encuentra en zona de inestabilidad, un sistema en esta zona presenta desplazamientos amplios y con una repetición constante.

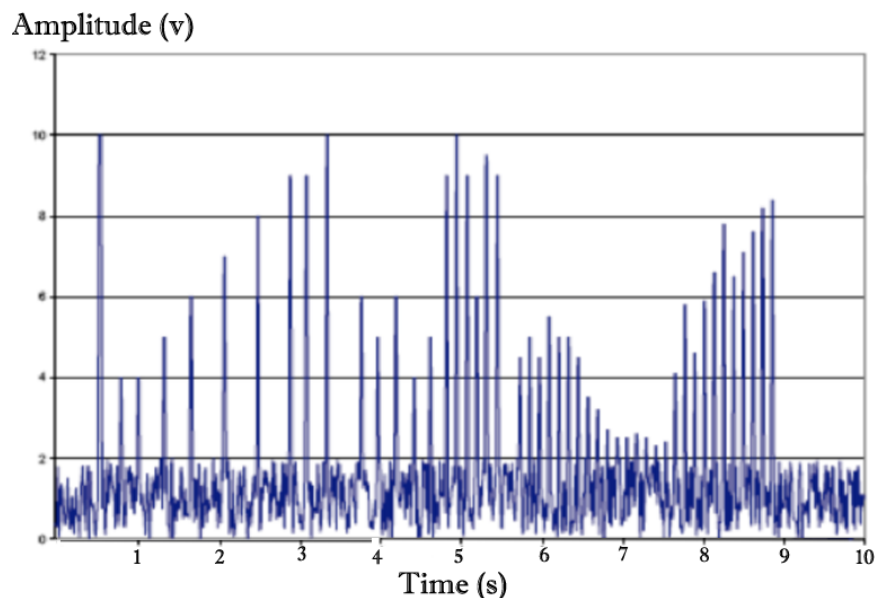


Figura 4.3. Visualización de captura de vibraciones con grandes amplitudes y repeticiones continuas

El inconveniente de esta posible estrategia de control es que se podría conocer cuando se esta fuera de la zona de inestabilidad, esto para realizar los ajustes pertinentes para su mejora, pero no se podría saber en que punto de trabajo se encuentra en zona estable (eficiencia del sistema). Actualmente el análisis de vibraciones se utiliza para el diagnostico del funcionamiento de diferentes sistemas rotativos, pero no se basa un control de los mismos en esta variable, se requiere de personas altamente entrenada para interpretar los resultados de vibraciones y en muchos casos las acciones correctivas no se pueden realizar por medio de un control automático (háblese de ejes doblados, tornillos sueltos, etc). El precio de una sonda de monitorización de vibraciones ronda los mil dólares y se necesitan al menos tres para cubrir las tres dimensiones de la máquina [10]. De igual forma no se descarta del todo el uso de las vibraciones para generación de alarmas o activación de interruptores en el sistema.

4.3.2 Manipulación de flujo de entrada y velocidad del rotor.

Haciendo uso de las variables de entrada flujo y velocidad, y conociendo características propias del gas que se va a tratar, se puede lograr el objetivo que es alcanzar una presión específica y evitar la zona de surge, además se puede trazar un camino de trabajo basado en eficiencia.

Este tipo de control se puede llamar “trazado de línea de conducción”, ya que se esta indicando por medio de una ecuación característica el camino o curva que el compresor debe ir ajustando (flujo y velocidad) para mantenerse en zona estable y mejor eficiencia.

CAPÍTULO 5 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN.

5.1 Estimación de línea de control, trayectoria de arranque.

Una línea de control adecuada para un compresor centrífugo se estima ajustando la velocidad y el flujo másico de entrada para obtener el mejor rendimiento y mantenerse en la zona de estabilidad.

Basado en información brindada por el fabricante del compresor, donde se incluyen datos de características físicas del sistema adquirido, además de resultados de bancos de mediciones se puede estimar un rendimiento para un punto cualquiera de trabajo (par ordenado Velocidad-Flujo de entrada).

Por otra parte, haciendo uso del control anti-surge actual (Figura 4.1), se puede conocer los valores límites Surge y Choke, que marcan la estabilidad del sistema.

5.1.1 Cálculo de eficiencia para un punto de trabajo diferente a los considerados por el fabricante.

Tabla 5.1. Datos conocidos del compresor PC-301B, brindados por el fabricante (anexo A).

Condiciones de entrada	Presión	$460\text{ psi}(P_1)$
	Temperatura	$100^\circ\text{F}(T_1)$
	Compresibilidad	$1,007(Z)$
	Exponente adiabático	$1,321(K)$
	Peso molecular	$7,594(MW)$
	Flujo	$282,5\text{ acfm}(G)$
Condiciones de salida	Presión	$610\text{ psi}(P_2)$
Información del rotor	Diámetro del impeller	$8,65\text{ in}(D)$
	Número de impellers	$1(I)$
	Velocidad propuesta	$33629\text{ rpm}(N)$

De las pruebas realizadas al compresor por parte del fabricante se obtienen los resultados tabulados a continuación, donde para una velocidad (N) específica se capturó un valor de salto energético ($H_p [ft-lb_f/lb_m]$), una medida de flujo ($Q_s [acfm]$) y un valor de eficiencia politrópica ($\eta_p [\%]$).

Tabla 5.2. Datos experimentales brindados por el fabricante.

Puntos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$(H_p [ft-lb_f/lb_m])$	33739	34629	35092	35239	35140	34942	34733	34383	33851	32404
$(Q_s [acfm])$	144,2	166,7	181,3	200,7	221	242,2	256,6	271,6	284,8	298,8
$(\eta_p [\%])$	0,421	0,46	0,477	0,495	0,508	0,514	0,521	0,521	0,511	0,484

El coeficiente de flujo (ϕ) es un parámetro adimensional que describe la relación entre el flujo de gas se succión, el diámetro del impeller y la velocidad de prueba. Mientras que el coeficiente de salto energético (ψ) es un valor propio del diseño del impeller, por asuntos de eficiencia su valor se encuentra entre 0,55 y 0,70 [7].

$$\phi = \frac{700 * Q_s}{N * D^3} \quad (5.1)$$

$$\psi = \frac{H_p * (1300)^2}{I * N^2 * D^2} \quad (5.2)$$

Tabla 5.3. Coeficientes de flujo y de salto energético.

Puntos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ϕ	0,0046	0,0053	0,0058	0,0064	0,0071	0,0077	0,0082	0,0087	0,0091	0,0096
ψ	0,6738	0,6916	0,7008	0,7038	0,7018	0,6978	0,6937	0,6867	0,6760	0,6471

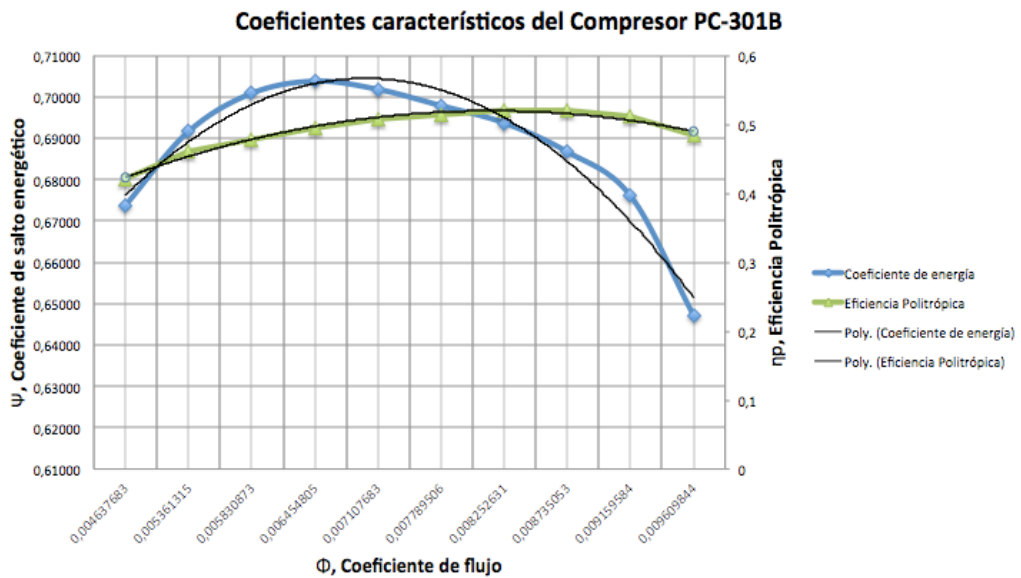


Figura 5.1. Gráfica de coeficientes característicos del compresor PC-301B.

De la gráfica anterior se logra obtener las ecuaciones polinomiales que describen el comportamiento de las datos mostrados en la Tabla 5.3; estas aproximaciones se realizan con polinomios cuadrados en cualquier herramienta matemática del mercado.

$$\psi = -9 \times 10^{-6} \phi^3 - 0,0018 \phi^2 + 0,0181 \phi + 0,6601 \quad (5.3)$$

$$\eta_p = -921414 \phi^3 + 10791 \phi^2 + 5,4392 \phi + 0,2585 \quad (5.4)$$

Ahora bien; es posible calcular la eficiencia politrópica para cualquier otro punto de trabajo que se encuentre fuera de las condiciones en las cuales el fabricante realizó las pruebas haciendo uso de la (5.3) y la (5.4); así como también es posible saber si es necesario aumentar la velocidad para obtener una presión de salida adecuada.

Para una tabla similar a la Tabla 5.2 pero con condiciones diferentes de las cuales no se tiene base de mediciones, se prosigue a calcular el flujo volumétrico.

$$Q_s = \frac{Z * G(\text{lb}/\text{min}) * 1544 * T_1(^{\circ}R)}{MW * 144,2 * P_1(\text{psia})} \quad (5.5)$$

Haciendo una serie de sustituciones en las ecuaciones anteriores se logra conocer los valores de eficiencia y coeficientes de salto energético y de flujo para cualquier punto de trabajo del compresor.

Adicionalmente se pueden hacer cálculos para conocer valores de salida sin necesidad de realizar la medición directas, dentro de los parámetros que se pueden obtener está la presión de descarga ((5.8) y temperatura de salida ((5.9).

$$\beta = \frac{n-1}{n} = \frac{K-1}{K * \eta_p} \quad (5.6)$$

$$H_p = \frac{Z * 1545 * T_1 (^{\circ}R)}{MW * \beta} \{ (\Delta P)^{\beta} - 1 \} \quad (5.7)$$

$$P_2 = P_1 * \Delta P \quad (5.8)$$

La explicación anterior de cómo conocer la eficiencia de cualquier punto de trabajo de un compresor centrífugo se resume en el siguiente diagrama de flujo.

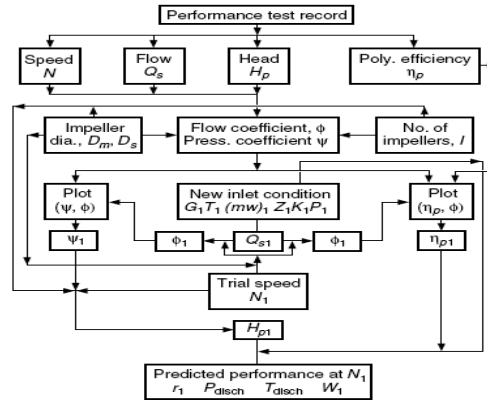


Figura 5.2. Diagrama de flujo sobre la predicción de la eficiencia y otras variables como presión y temperatura de descarga [7].

En caso que sea necesario conocer la temperatura de descarga se utiliza la siguiente ecuación.

$$T_2 = T_1 * \Delta P^{\eta_p * \beta} \quad (5.9)$$

Según las características de desempeño aerodinámicas originales, el mayor rendimiento es de 52,1%; este punto de operación es la referencia tomada como punto de equilibrio, esta información (Tabla 5.2) fue tomada de documento redactados por el fabricante.

5.1.2 Trazo de la línea de control.

Usando la forma actual de conocer los límites de para Surge y Choke, se procede trazar una ruta por la cual se puede acelerar el compresor, llegando a su velocidad estable de trabajo (33629 rpm) con una relación de presiones (ΔP) de 1.37.

De la información que brinda el fabricante se puede graficar para cada punto de flujo volumétrico (ACFM) su correspondiente valor de salto energético (ft-lb/lb), información valiosa como eficiencia y relación de presiones también se puede calcular con esta información que brinda el fabricantes. Para todo esto se hace uso de las ecuaciones de la sección 5.1.1 o si no es así se indicará la nueva ecuación (en el apéndice A se encuentran las hojas de Excel® desarrolladas para realizar todos los cálculos y gráficas).

En la Tabla 5.2 se indican los valores de Flujo volumétrico y eficiencia para un flujo volumétrico correspondiente para una velocidad de 33629 rpm, seguidamente se procede a estimar los valores de salto energético (ft-lb/lb) para su correspondiente valor de flujo volumétrico (ACFM) para diferentes velocidades.

Limites de zona estable para compresor PC-301B bajo condiciones de fabricante.

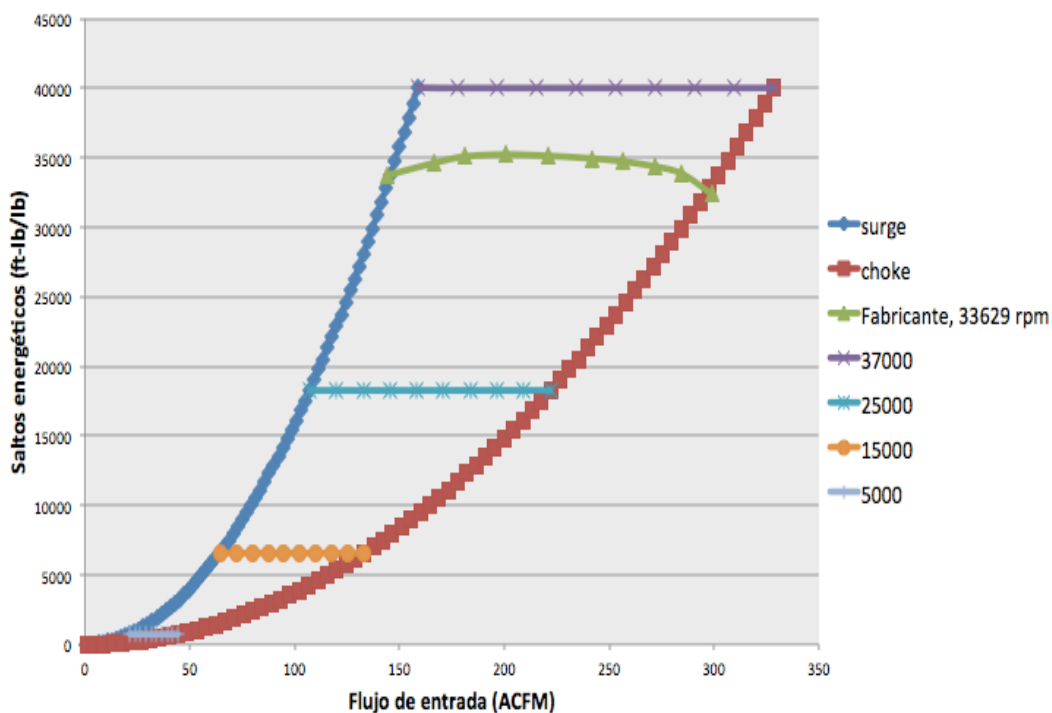


Figura 5.3. Gráfica de saltos energéticos contra flujo volumétrico, para diferentes velocidades.

Las unidades antes mencionadas son utilizadas por la ingeniería química, estas indican cuanta energía se requiere para pasar de un nivel energético a otro. Generalmente los mapas de compresores centrífugos se encuentran en estas unidades y con estas es que se dimensionan para compra y cubrir cierta necesidad.

En el lugar de trabajo y para realizar el control del sistema se manejan las unidades flujo másico (kg/h) contra velocidad (rpm), por esta razón las siguientes gráficas se presentarán en estas unidades; con estas se abarcan todas las velocidades desde cero hasta el límite teórico propuesto (37000 rpm) [9].

Con las ecuaciones (5.1, (5.2 y la (5.3 se logra cambiar las unidades de la Figura 5.3 a los mostrados en la siguiente figura.

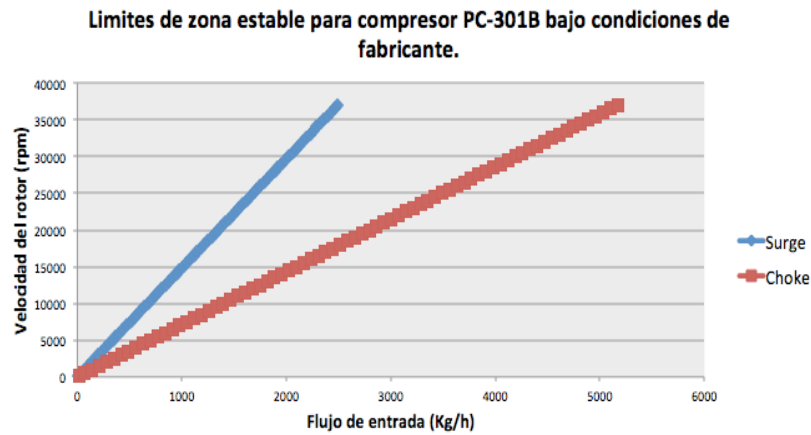


Figura 5.4. Gráfica de Flujo másico contra velocidad del rotor.

Para cada par ordenado en la gráfica de flujo másico (Kg/h) contra velocidad (rpm) (Figura 5.4) se encuentran diferentes rutas para acelerar el compresor y lograr llegar al punto de trabajo.

Se pueden resaltar dos de ellas que tiene características muy importantes para la función que desempeña este equipo en RECOPE; la primera recta que se traza se realiza basándose en eficiencia (CaminoA), para cada par ordenado se posee una máxima eficiencia 52,1%.

La segunda trayectoria que acelera al compresor se calcula basándose en seguridad (CaminoB). Donde se toman los límites Surge y Choke para calcular el promedio de estos valores y trazar la recta, esta recta posee una eficiencia de 51,17%.

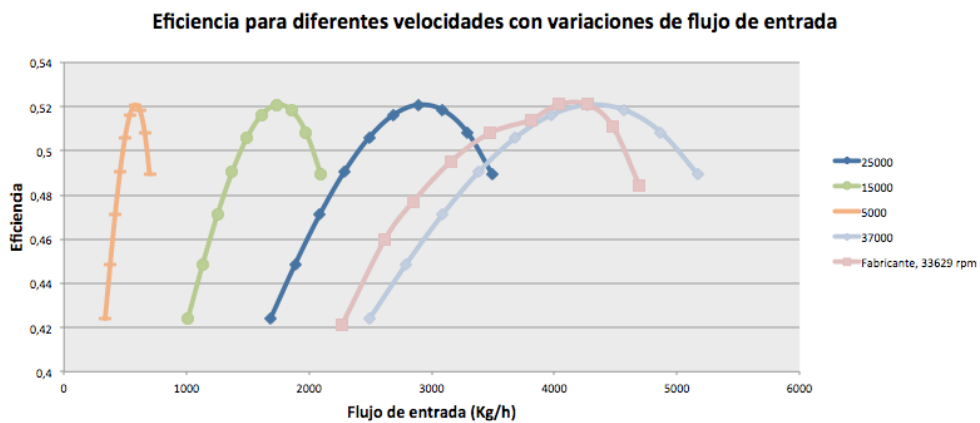


Figura 5.5. Gráfica de eficiencia contra flujo másico para diferentes velocidades.

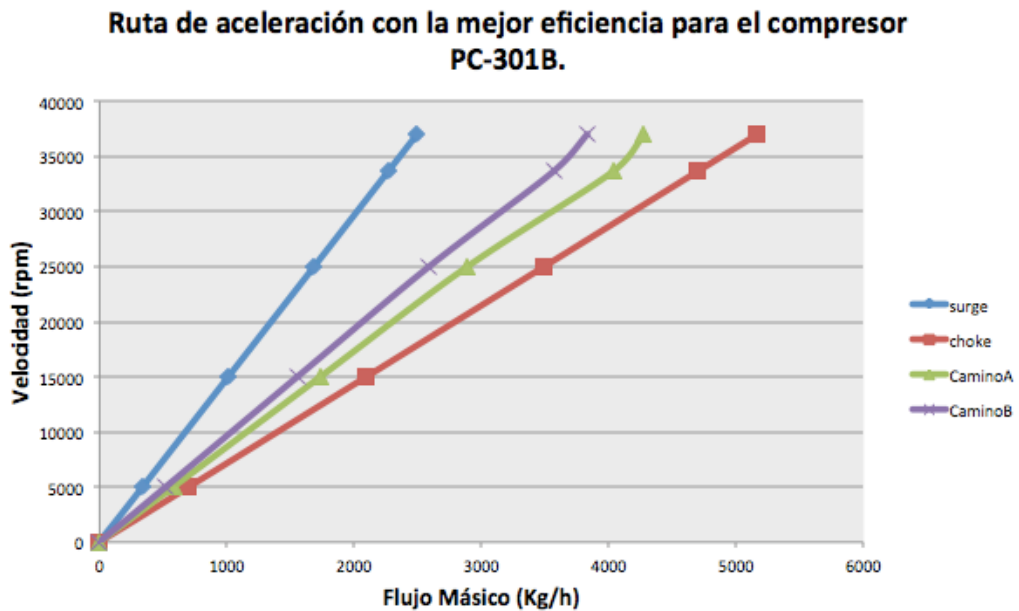


Figura 5.6. Posibles rutas de aceleración, basándose en eficiencia y en seguridad.

5.2 Análisis de soluciones y selección final

La solución planteada presenta una ecuación característica que se puede programar en un controlador lógico programable (PLC) para que mantenga el funcionamiento dentro de la zona de estabilidad, al tomar el valor medio de los límites de Surge y Choke, se asegura que el compresor funciona en todo momento de forma adecuada.

La línea de control planteada presenta una eficiencia de 51,68%, esto se calculo haciendo uso de el diagrama de la Figura 5.2 para cada punto a trabajar. En comparación con la mejor eficiencia de 52,1% que es el valor que logra el fabricante en las pruebas y mediciones que realiza en la Tabla 5.2, se considera que el valor obtenido es apropiado ya que se obtiene un porcentaje de error de 0,8126%.

Al ser RECOPE una empresa que se desarrolla en la industria petrolera, el aspecto de seguridad tiene mayor importancia en la toma de decisiones, el porcentaje de error obtenido permite desechar la trayectoria de mayor eficiencia (CaminoA).

En el mercado existen empresas que ofrecen la implementación de este tipo de soluciones, estas poseen amplia experiencia en el campo y certificaciones internacionales que califican al grupo de ingenieros que diseñan e incorporan estos sistemas a las industrias. Una de estas empresas es Rockwell Automation la cual fue contactada para consultarle sobre las soluciones que ellos brindan, dentro de su catálogo se encuentran trazadores de trayectorias para compresores centrífugos y sistemas de control para mantener el punto de trabajo.

Se puede considerar como una opción la contratación de una empresa de este tipo para la implementación de este proyecto, manejándolo como una “contratación llave en mano” donde se le dan las indicaciones y parámetros al contratista y este presenta soluciones certificadas que solventen el problema.

5.3 Descripción del hardware

Se presentan los requerimientos que se necesitan para la instrumentación adecuada para la monitorización del sistema, además de los dispositivos que se emplean como última medida de seguridad que son completamente mecánicos.

Independientemente de la estrategia control que se tome, la totalidad de las variables son transmitidas al controlador para que en este dispositivo se utilicen según sea el caso.

Los equipos de instrumentación deben cumplir con características ya establecidas, tiempos de transmisión y de reacción en el caso de válvulas y controladores; la característica principal que se debe de cumplir es que los equipos instalados deben estar certificados para uso en áreas clasificadas como Clase I, División I; según lo establece la norma NFPA 496.

5.3.3 Instrumentación y dispositivos de seguridad.

La solución propuesta posee requerimientos de instrumentación que se muestran en la siguiente figura, estos brindan la información adecuada para poder controlar el sistema de compresión, además de que se debe brindar la seguridad apropiada para una refinería.

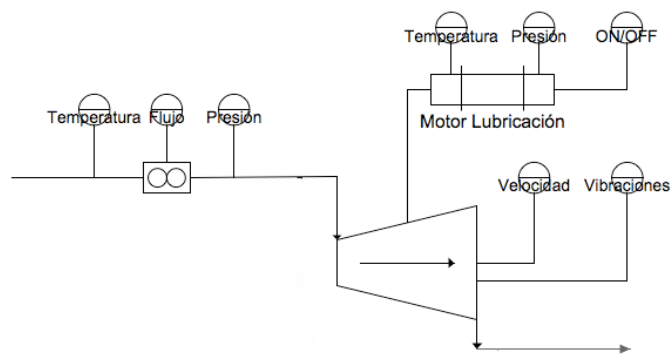


Figura 5.7. Sistema requerido para la implementación propuesta.

Actualmente se encuentran implementados los transmisores de flujo másico, temperatura de entrada y velocidad del rotor, estas variables son desplegadas localmente y en forma digital, por lo que no existe la necesidad de un cambio, se pueden reutilizar estos equipos para la solución planteada. Por lo que únicamente quedarían especificar las características de los transmisores e interruptores que permitan controlar o monitorizar (según sea el caso) las variables de presión de entrada, temperatura del motor de lubricación y las vibraciones del sistema.

5.3.3.1 Transmisores de presión.

Las zonas de inestabilidad presentan oscilaciones de flujo con una frecuencia entre 0,5 y 10 Hz (para el caso de Surge), y entre 50 y 100 Hz para el fenómeno de Choke. Esta frecuencia depende del diseño del compresor y del sistema de tubería, donde las variaciones de presión y flujo ocurren a velocidades muy altas, la característica principal de los transmisores son el tiempo de respuesta y la incertidumbre en la medición [4]. Las señales capturadas deben ser validadas, estandarizadas y acondicionadas por el transmisor. Internacionalmente esta establecida la norma AISI 316, que regula las especificaciones relacionadas con este instrumento.

Fabricantes como Texas Instrument o Ametek ofrecen en sus catálogos sensores con una respuesta de 10 y 7ms.

Empresas como ABB Instruments (anexo B) presentan instrumentos con una precisión de 0,04% o del 0,075%; cumpliendo con las normativas internacionales y los requerimientos del proyecto. La serie 2600T de ABB Instruments se

caracteriza por su fiabilidad y sus sistemas de comunicación donde se encuentra la comunicación de la red de campo “Lazo de Corriente 4-20mA” que es la que se sugierida para la implementación de la solución planteada.

5.3.3.2 Monitorización de vibraciones.

Para el caso de la variable de vibraciones como se explicó anteriormente en la sección 4.3.1, el uso de vibraciones actualmente es utilizado únicamente para el diagnostico del funcionamiento, por lo que en esta sección se especifican las características de un “VibraSwitch” de la empresa Robertshaw Industrial Controls. Este equipo es se calibra bajo el estándar API 670 donde se especifican los valores apropiados de desplazamiento permitidos para diferentes equipos industriales donde se encuentra incluido el compresor centrífugo.

El modelo 375A y 376A de la empresa Robertshaw Industrial Controls posee un principio de funcionamiento que consiste en detectar movimientos en una sola dirección, cuando el valor detectado excede la calibración se presenta el disparo de un interruptor que hace un corte de corriente [11].

5.3.4 Red de comunicaciones.

A cuanto red de comunicación se refiere a el traslado de la información con el cuarto de control de RECOPE. En este lugar se encuentra un sistema de control distribuido (DCS por sus siglas en inglés) modelo TDC3000 de la empresa Honeywell, en las especificaciones que se establecen al inicio del proyecto se advierte de la necesidad de el envío de la información recolectada en el área de trabajo al DCS.

Una forma de implementar esta comunicación es la instalación de un módulo de interface serial APM/HPM (Advanced Process Manager/High-Performance Process Manager) que permite la comunicación con controladores lógicos programables de la forma Maestro-Eslavo. El protocolo de comunicación que se disponen es ModBuds-RTU, que es totalmente compatible con los equipos Allen Bradley.

La interface FTA (Field Termination Assembly) EIA-422/485 (RS-422/485) permite una conexión de más de 15 dispositivos con un alcance de no mas de 305 metros

(1000 pies) [12]; estos son las especificaciones que debe cumplir la comunicación.

5.3.5 Controlador lógico programable (PLC).

En el mercado se encuentran PLC que cumple con las características de seguridad que exige una industria petrolera, en RECOPE se implementa el uso de dispositivos con no todas las características de seguridad pero se introducen en cajas de seguridad que cumplen con las especificaciones de División I, Clase I.

Las características principales que debe de cumplir el PLC para implementar en la solución planteada son:

- Manejar al menos 10 entradas analógicas.
- Comunicación serial ModBus-RTU.
- Manejo de I/O digitales para la implementación de alarmas y botoneras.
- Tiempo de muestreo de 0,3s o menor [4].
- Tiempo de reacción menor a los 50 milisegundos [4].

Los controladores lógicos programables Allen Bradley ControlLogic 1758-L1, -L1MX, -L55MXX, -L83 cumplen con las características antes mencionadas, principalmente se resalta su tiempo de muestreo de hasta 25 milisegundos y un tiempo de reacción de hasta 20 milisegundos, este último depende de el software que se implemente en el PLC.

Como interface para interactuar con el usuario directo en el lugar de trabajo, donde se podrán introducir los valores necesarios para el correcto funcionamiento; se recomienda el uso de un PanelView 400, 600, 700 de la marca Allen Bradley, este es completamente compatible con el PLC que se propuso anteriormente. Esta terminal permite la salida y el ingreso de información según el modelo a seleccionar puede ser de pantalla táctil o con botoneras para la interacción del usuario.

CAPÍTULO 6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 Resultados

Para llegar a la solución propuesta se basó en el criterio de cual de las trayectorias era más segura, a pesar que la eficiencia es menor a la que se podría lograr con la trayectoria deseada, el sacrificio de eficiencia por seguridad tiene gran validez.

Como se ha mencionado en el documento, los valores de Schilling provocan cambios en los límites de Surge y Choke (Figura 5.4), por lo que a continuación se ingresarán valores reales capturados por RECOPE en el mes de Octubre del 2009 (anexo D), para validar la solución propuesta y determinar hasta que punto es conveniente este tipo de solución.

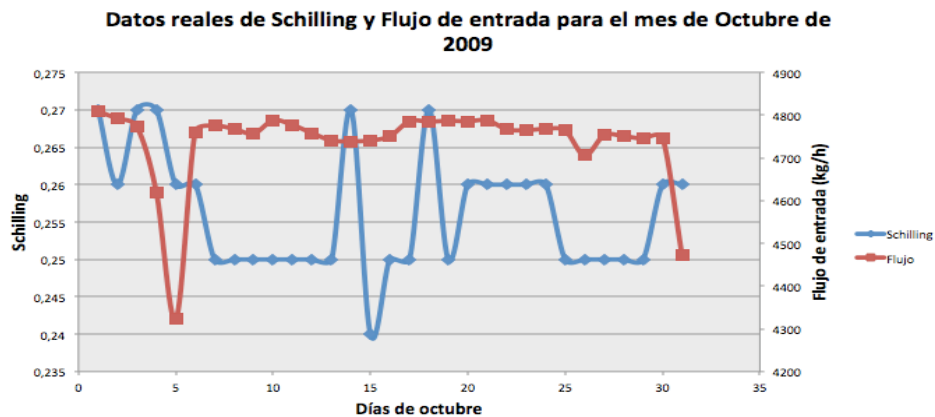


Figura 6.1. Información histórica de Schilling y flujo másico brindador por RECOPE.

En la Tabla 6.1 se resumen los datos relevantes para el desarrollo de este trabajo, donde se deben conocer estas variantes para asegurar que el camino de trabajo aun sea funcional.

Tabla 6.1. Datos representativos de mediciones realizadas por RECOPE.

	Schilling	Flujo (kg/h)
Promedio	0,2561	4736,9032
Máximo	0,27	4809
Mínimo	0,24	4323

Para los valores de Schilling de la tabla anterior se procede a comprobar que el funcionamiento aun esta en los límites para la zona estable.

Tabla 6.2. Comprobación de estabilidad para valores de Schilling.

	Schilling	Estado
Promedio	0,2561	Estable
Máximo	0,27	Estable
Mínimo	0,24	Estable

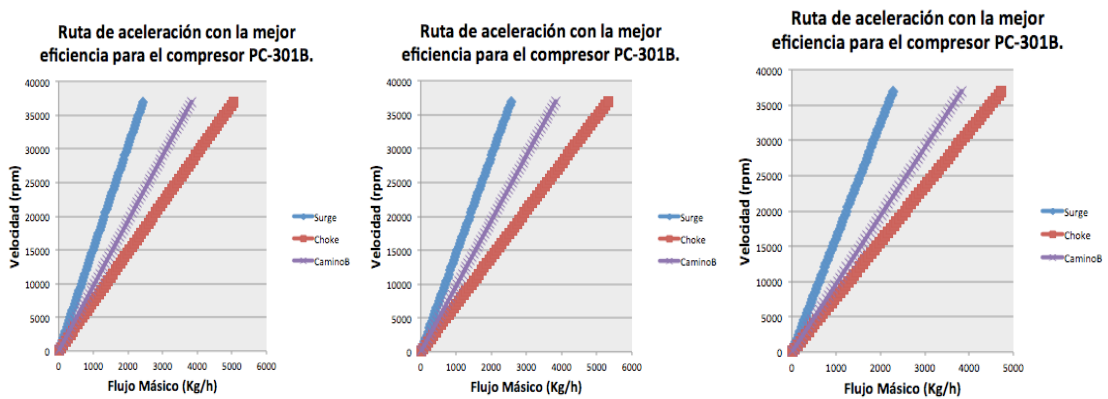


Figura 6.2. Gráficas de pruebas para los valores de Schilling de la Tabla 6.1; de izquierda a derecha, Schilling de 0,2561, 0,27 y 0,24.

Se nota que la solución planteada soporta las variaciones de Schilling (característica del gas de entrada).

Tomando el límite Surge como un 100% y el límite Choke como su opuesto (0%), se calcula que tanto se aproxima el punto de trabajo con los límites; este análisis permite conocer que valores de Schilling son permitidos para el sistema.

En la siguiente figura se muestran los valores de Schilling de Tabla 6.2 además de los considerados extremos como rango permitido para el sistema.

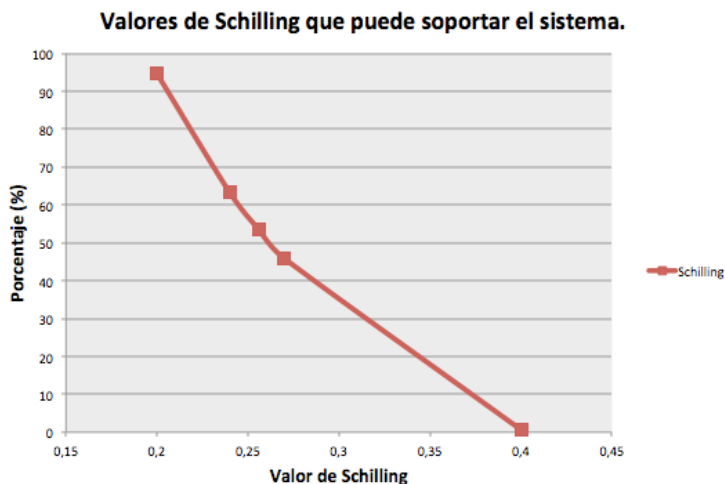


Figura 6.3. Valores de Schilling permitidos para el compresor PC-301B.

El rango de funcionamiento cubre ampliamente los valores de la Tabla 6.2, permitiendo un amplio margen entre los valores normales de trabajo y los Schillings límites.

Se resalta que la solución planteada es limitada a los valores de Schilling, pero para las condiciones planteadas funciona de forma adecuada.

La propuesta de solución se ve afectada por los cambios de temperatura en la entrada del compresor, para las condiciones que se establecen y sobre las cuales el fabricante entrega resultados (Tabla 5.1) existe un rango de valores de temperaturas que son validas y no desestabilizan a el compresor.

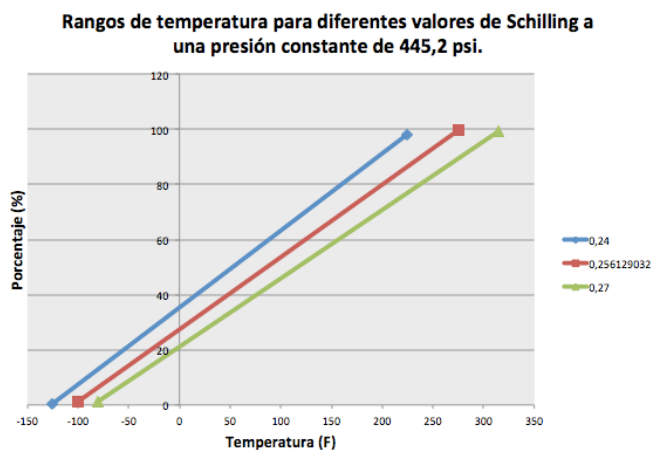


Figura 6.4. Rangos de temperatura de validos para la solución propuesta.

Tabla 6.3. Rangos de temperatura para diferentes valores de Schilling, con una presión de entrada constante de 445,2 psi.

Schilling	T min()	%	T max()	%
0,24	-125	0,33	225	98,22
0,256129032	-100	1,0025	275	99,63
0,27	-80	1,1215	315	99,3274

De la misma forma que para la Figura 6.3 se toma como 100% el límite Shoke y como 0% el límite Surge para la Figura 6.4 donde se observa que los rangos de temperatura para la línea de funcionamiento poseen valores que no son funcionales. La temperatura de entrada nunca va ser negativa, esto permitiría realizar un reajuste del sistema para que los valores más bajos de temperatura se encuentren cerca de $100^{\circ}F$ y de esta forma se podría ampliar el rango de temperaturas hacia valores válidos (mayores a $100^{\circ}F$). Se establece como punto de equilibrio $100^{\circ}F$ debido a que este es el valor que se especifica en la tabla Tabla 5.1, pero es razonable que este valor debe ser reajustado para las aplicaciones que se llevan a cabo en RECOPE.

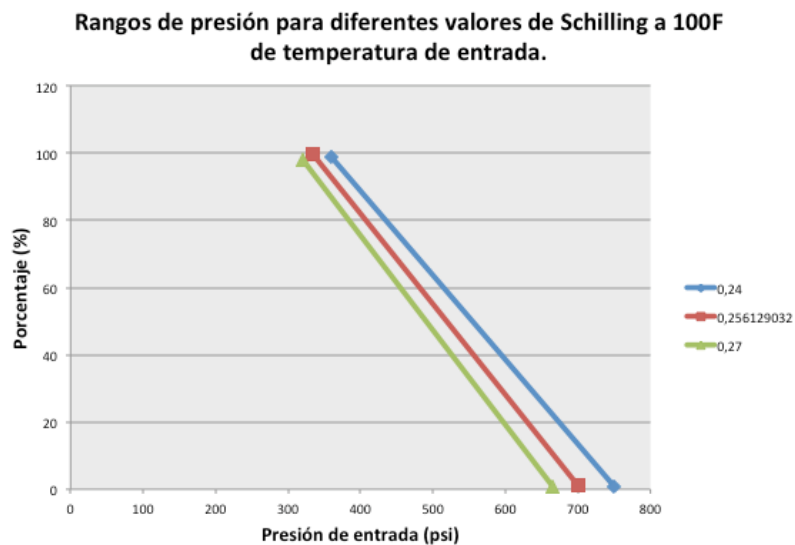


Figura 6.5. Rangos de presión validos para la solución propuesta.

Los rangos de presión mostrados en la Figura 6.5 se analizan de la misma forma como se hizo con los rangos de temperatura. Los valores mostrados en la Figura 6.5 pueden ser desplazados hacia la izquierda ajustándolos a valores válidos para las aplicaciones que en RECOPE se llevan a cabo, la solución propuesta y los rangos mostrados, fueron ajustados basándose en la información brindada por el fabricante. Por lo que en una posible implementación de esta solución en RECOPE se deberán de realizar ajuste para los diferentes rangos de presión y temperatura.

Tabla 6.4. Rangos de presiones para diferentes valores de Schilling, con una temperatura de entrada constante de 100F.

Schilling	P Min (psi)	%	P Max (psi)	%
0,24	360	98,86	750	0,872
0,256129032	335	99,65	700	1,1258
0,27	320	97,92	665	0,8766

Si bien en teoría el compresor PC-301B es capaz de aceptar hasta 750 psi de presión de entrada, en la realidad RECOPE no tiene la capacidad de brindarle esa presión, si así fuera, no sería necesario un compresor porque se sobre pasan las necesidades de RECOPE.

El objetivo principal del funcionamiento del compresor centrífugo es mantener una presión de salida apropiada para ciertos procesos industriales; para el caso de RECOPE de busca una presión de salida de 455,42 psi [13]. De la solución planteada se puede obtener la presión de salida requerida con 445,2 psi de presión de entrada. Esto para una relación de presiones de 1,0229 con una velocidad de 6781 (rpm) (el valor de presión de entrada se toma de la Tabla 5.1).

Tabla 6.5. Valores de presión requerida en la salida del compresor PC-301B.

P₁ (psi)	P₂(psi)	Δp	Velocidad (rpm)
445,2	455,42	1,0229	6781,505

Para uso y cálculo de las presiones de salida, se procede hacer una gráfica que relacione el ΔP con la velocidad del rotor. Cada valor de ΔP esta relacionado con un valor flujo másico, por lo tanto, cuando se requiera una presión de salida diferente al normal (455,42 psi) se podrá calcular de la siguiente gráfica.

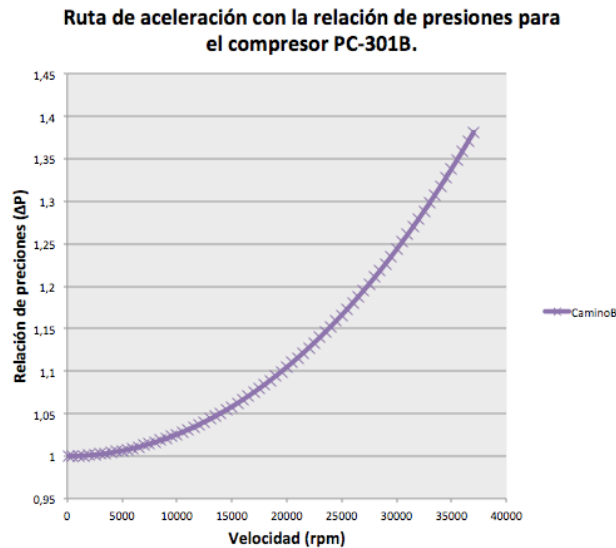


Figura 6.6. Gráfica de flujo másico contra relación de presiones.

La curva de la Figura 6.6 fue construida con una serie de ecuaciones (de la (5.1 a la (5.8) que involucran valores de masa molecular y flujo de entrada, esto provoca que cualquier cambio en los valores de entrada afecte indirectamente esta curva; no se puede tomar una curva estática porque los cambios en Schilling varían la presión y este a su vez la velocidad; esto provocaría que no se lograra la presión objetivo con la velocidad que indicaría una curva que no contemple los cambios de las variables de entrada (curva estática).

Finalmente en una implementación de la solución planteada se debe programar la ecuación de la trayectoria trazada (Figura 5.6), esto para que se controlen las variables de velocidad y flujo de entrada, siguiendo la línea de control. Según la presión de salida deseada y la presión de entrada (por lo general constante) se seleccionará una velocidad y un flujo másico que permita obtener en la salida la presión buscada. Para todo esto se toman en cuenta los valores de entrada como Schilling, temperatura y presión para el movimiento de los límites de las zonas de inestabilidad y generación de alarmas o paro del sistema.

CAPÍTULO 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones.

- Se seleccionó el CaminoB de la Figura 5.6, debido a que al encontrarse en medio de la zona de estabilidad presenta mayor seguridad que el CaminoA.
- Se obtuvo un 51,68% de eficiencia en la ruta de aceleración seleccionada, el cual posee un 0,8621% de porcentaje de error al relacionarlo con la mejor eficiencia posible.
- Los requerimientos en la instrumentación se basan en el tiempo de respuesta a la ocurrencia de las inestabilidades Surge y Choke. El menor retardo en la captura de la información puede provocar que el compresor trabaje en zona de inestabilidad.
- El sistema propuesto para el compresor centrífugo PC-301B posee rangos de función limitados para las variables de Schilling, presión de entrada y temperatura de entrada, lo cual lo vuelve un sistema frágil ante situaciones inesperadas.
- Para una posible implementación se requerirá de personal experimentado en el manejo de compresores y certificado internacionalmente en los campos que competen al proyecto.

7.2 Recomendaciones

- Realizar una calibración basada en una base de datos reales que contengan información de Schilling, temperatura y presión para las necesidades de RECOPE.
- Para poseer un sistema mucho más robusto, se puede cambiar la solución de una ruta estática a un trazador de rutas adaptativo, el cual variaría la línea de aceleración según se presenten cambios en las variables de entrada.
- Realizar un análisis profundo de las propuestas brindadas por empresas privadas para en caso de ser conveniente (por aspectos como experiencia, certificaciones y tiempo de implementación) contratar unas de estas para optar por una “contratación llave en mano”.

7.3 Bibliografía

- [1] Sundyne Corporation. Sundyne LMC/BMC 311P/331P. 2007.
- [2] National Instrument Corporation. National instrument corporation. 2011. Available:
<http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/2CEFE33A6E04065F86256ED900591F19>.
- [3] American Petroleum Institute. Machinery protection systems API 670. 2000. Available: <http://www.api.org/>.
- [4] J. A. B. Escuela. Control multiconfigurable de inestabilidades de flujo de aire en compresores axiales. 2004.
- [5] F. Willems. Modeling and control of compressor flow instabilities. 1997.
- [6] F. P. T. Willems. Modeling and bounded feedback stabilization of centrifugal compressor surge. 2000.
- [7] H. P. Bloch. *A Practical Guide to Compressor Technology* (2nd Edition ed.) 2006.
- [8] Emerson Process. Emerson process maanegment. pp. Emerson Process Maanegment. 2009. Available:
<http://www.documentation.emersonprocess.com/groups/public/documents/brochures/d351239x0e2.pdf?&xBusinessUnit=Fisher%20Controls%20Valves%20Division>.
- [9] K. K. B. a. J. F. Henderson. Developments in centrifugal compressor surge Control—A technology assessment. 1993.
- [10] Wilcoxon Research. Monitoring reciprocating gas compressors with 4-20 mA LPS™ vibration sensors.
- [11] Robertshaw Industrial Products. Sales manual section 140.
- [12] Honeywell. APM/HPM serial interface options. 1995.
- [13] RECOPE. *Manual Unidad De Reformado Catalítico* 2009.

7.4 Apéndices

- A. Documento de Excel realizado para obtener todos los cálculos y gráficas del presente informe.

Hoja de Datos Original del Compresor.					
		lb/min	kg/h	ft ³ /min	
Inlet volume (ACFM)	282,50	163,16	4440,51	3,59	
Compresibility (Z)	1,01				
Cp/Cv (K)	1,32				
MW	7,59				
T1(°F)	100,00				
P1(psi)	445,20				
Speed(rpm)	33629,00				
Ad Efficiency	53,00				
Ad Head	33524,70				
T2(°F)	175,20				
P2(psi)	610,00				
D impeller (in)	8,65				

Condiciones Nuevas						
P1 (psi)	665,00				Qs	198,02
T1 (°F)	100,00				Hp	33056,63
MW	7,82	lb/min	ACFM			
Flujo IN (Kg/h)	4736,90	174,05	198,02		Φ	0,01
P2 requerida	455,42				ψ	0,66
K	1,32				ηp	0,49
Schilling	0,27				(n-1)/n=Beta	0,49
Z	1,01				ΔP	1,32
Velocidad (N)	33629,00				P2	877,27

speed 33629,00

Puntos	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00
Head Hp (ft-lbf/lbm)	33739,00	34629,00	35092,00	35239,00	35140,00	34942,00	34733,00	34383,00	33851,00	32404,00
Flow Qs (acfm)	144,20	166,70	181,30	200,70	221,00	242,20	256,60	271,60	284,80	298,80
Flow Qs (kg/h)	2266,17	2619,76	2849,21	3154,09	3473,11	3806,28	4032,58	4268,31	4475,75	4695,77
Flow Qs (lb/min)	83,28	96,28	104,71	115,92	127,64	139,89	148,20	156,87	164,49	172,58
Flow Qs (ft ³ /min)	1,83	2,12	2,30	2,55	2,81	3,08	3,26	3,45	3,62	3,80
ηp	0,42	0,46	0,48	0,50	0,51	0,51	0,52	0,52	0,51	0,48
Φ	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
ψ	0,67	0,69	0,70	0,70	0,70	0,70	0,69	0,69	0,68	0,65
(n-1)/n=Beta	0,58	0,53	0,51	0,49	0,48	0,47	0,47	0,47	0,48	0,50
ΔP	1,31	1,32	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,32	1,32	1,30
P2	584,23	589,18	591,66	592,75	592,59	591,83	591,03	589,45	586,86	579,86

speed 37000,00

Puntos	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00
Head Hp (ft-lbf/lbm)	40014,15	40014,75	40015,35	40015,96	40016,56	40017,16	40017,76	40018,36	40018,96	40019,57
Flow Qs (acfm)	158,65	177,55	196,45	215,35	234,25	253,15	272,05	290,95	309,85	328,75
Flow Qs (kg/h)	2493,31	2790,32	3087,33	3384,35	3681,36	3978,38	4275,39	4572,41	4869,42	5166,43
Flow Qs (lb/min)	91,63	102,55	113,46	124,38	135,29	146,21	157,13	168,04	178,96	189,87
Flow Qs (ft ³ /min)	2,02	2,26	2,50	2,74	2,98	3,22	3,46	3,70	3,94	4,18
ηp	0,42	0,45	0,47	0,49	0,51	0,52	0,52	0,52	0,51	0,49
Φ	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
ψ	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66
(n-1)/n=Beta	0,57	0,54	0,52	0,50	0,48	0,47	0,47	0,47	0,48	0,50
ΔP	1,37	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38
P2	611,95	612,88	613,65	614,27	614,72	615,02	615,15	615,09	614,81	614,25

speed 25000,00

Puntos	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00
Head Hp (ft-lbf/lbm)	18267,96	18268,24	18268,51	18268,79	18269,06	18269,34	18269,61	18269,89	18270,16	18270,44
Flow Qs (acfm)	107,20	119,97	132,74	145,51	158,28	171,05	183,82	196,59	209,36	222,13
Flow Qs (kg/h)	1684,67	1885,35	2086,04	2286,72	2487,41	2688,09	2888,78	3089,46	3290,15	3490,83
Flow Qs (lb/min)	61,91	69,29	76,66	84,04	91,42	98,79	106,17	113,54	120,92	128,29
Flow Qs (ft ³ /min)	1,36	1,52	1,69	1,85	2,01	2,17	2,34	2,50	2,66	2,82
ηp	0,42	0,45	0,47	0,49	0,51	0,52	0,52	0,52	0,51	0,49
Φ	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Ψ	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66
(n-1)/n=Beta	0,57	0,54	0,52	0,50	0,48	0,47	0,47	0,47	0,48	0,50
ΔP	1,16	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17
P2	518,52	518,71	518,86	518,99	519,08	519,14	519,16	519,15	519,09	518,99

speed 15000,00

Puntos	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00
Head Hp (ft-lbf/lbm)	6576,47	6576,57	6576,67	6576,76	6576,86	6576,96	6577,06	6577,16	6577,26	6577,36
Flow Qs (acfm)	64,32	71,98	79,64	87,30	94,97	102,63	110,29	117,95	125,61	133,28
Flow Qs (kg/h)	1010,80	1131,21	1251,62	1372,03	1492,44	1612,86	1733,27	1853,68	1974,09	2094,50
Flow Qs (lb/min)	37,15	41,57	46,00	50,42	54,85	59,27	63,70	68,12	72,55	76,98
Flow Qs (ft ³ /min)	0,82	0,91	1,01	1,11	1,21	1,30	1,40	1,50	1,60	1,69
ηp	0,42	0,45	0,47	0,49	0,51	0,52	0,52	0,52	0,51	0,49
Φ	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Ψ	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66
(n-1)/n=Beta	0,57	0,54	0,52	0,50	0,48	0,47	0,47	0,47	0,48	0,50
ΔP	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06
P2	471,05	471,07	471,09	471,11	471,12	471,12	471,13	471,13	471,12	471,11

speed 5000,00

Puntos	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00
Head Hp (ft-lbf/lbm)	730,72	730,73	730,74	730,75	730,76	730,77	730,78	730,80	730,81	730,82
Flow Qs (acfm)	21,44	23,99	26,55	29,10	31,66	34,21	36,76	39,32	41,87	44,43
Flow Qs (kg/h)	336,93	377,07	417,21	457,34	497,48	537,62	577,76	617,89	658,03	698,17
Flow Qs (lb/min)	12,38	13,86	15,33	16,81	18,28	19,76	21,23	22,71	24,18	25,66
Flow Qs (ft ³ /min)	0,27	0,30	0,34	0,37	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	0,56
ηp	0,42	0,45	0,47	0,49	0,51	0,52	0,52	0,52	0,51	0,49
Φ	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Ψ	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66
(n-1)/n=Beta	0,57	0,54	0,52	0,50	0,48	0,47	0,47	0,47	0,48	0,50
ΔP	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
P2	448,04	448,04	448,04	448,04	448,04	448,04	448,04	448,04	448,04	448,04

kg/h				Kg/h		acfm				kg/h
velocidad	surge	choke	ΔP	Mayor Ef	CaminoA	CaminoB	Φ-B	camino B	efi Camino B	CaminoB
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5000,00	512,85	1062,70	1,01	0,52	577,76	787,77	0,01	32,93	0,51	517,55
15000,00	1538,56	3188,09	1,06	0,52	1612,86	2363,32	0,01	98,80	0,51	1552,65
25000,00	2051,41	4250,78	1,17	0,52	2888,78	3151,10	0,01	164,66	0,51	2587,75
33629,00	0,00	0,00	1,33	0,52	4032,58	0,00	0,01	226,79	0,51	3480,97
37000,00	3795,12	7863,95	1,38	0,52	4275,39	5829,53	0,01	243,70	0,51	3829,87

Días	Schilling	Flujo
1,00	0,27	4809,00
2,00	0,26	4792,00
3,00	0,27	4773,00
4,00	0,27	4620,00
5,00	0,26	4323,00
6,00	0,26	4761,00
7,00	0,25	4775,00
8,00	0,25	4768,00
9,00	0,25	4757,00
10,00	0,25	4788,00
11,00	0,25	4777,00
12,00	0,25	4758,00
13,00	0,25	4741,00
14,00	0,27	4739,00
15,00	0,24	4741,00
16,00	0,25	4751,00
17,00	0,25	4786,00
18,00	0,27	4785,00
19,00	0,25	4787,00
20,00	0,26	4786,00
21,00	0,26	4788,00
22,00	0,26	4767,00
23,00	0,26	4765,00
24,00	0,26	4768,00
25,00	0,25	4764,00
26,00	0,25	4706,00
27,00	0,25	4753,00
28,00	0,25	4751,00

	Schilling	Flujo	%
Promedio	0,26	4736,90	53,43
Máximo	0,27	4809,00	45,87
Mínimo	0,24	4323,00	63,27
	0,20		94,57
	0,40		0,65

Schilling	Flujo	%
0,20		94,57
0,24	4323,00	63,27
0,26	4736,90	53,43
0,27	4809,00	45,87
0,40		0,65

Schilling	Temp min	%	Temp max	%
0,24	-125,00	0,33	225,00	98,22
0,26	-100,00	1,00	275,00	99,63
0,27	-80,00	1,12	315,00	99,33

Schilling	P Min	%	P Max	%
0,24	360,00	98,86	750,00	0,87
0,26	335,00	99,65	700,00	1,13
0,27	320,00	97,92	665,00	0,88

Ayuda	Cerc Choke	Estado	velocidad	Φ	Ψ	η_p	(n-1)/n=Beta	Hp	ΔP	P2
11,00	0,88	NORMAL	100,00	0,01	0,66	0,51	0,47	0,29	1,00	665,00
54,98	0,88	NORMAL	500,00	0,01	0,66	0,51	0,47	7,31	1,00	665,04
109,97	0,88	NORMAL	1000,00	0,01	0,66	0,51	0,47	29,23	1,00	665,17
164,95	0,88	NORMAL	1500,00	0,01	0,66	0,51	0,47	65,77	1,00	665,39
219,94	0,88	NORMAL	2000,00	0,01	0,66	0,51	0,47	116,92	1,00	665,70
274,92	0,88	NORMAL	2500,00	0,01	0,66	0,51	0,47	182,69	1,00	666,09
329,91	0,88	NORMAL	3000,00	0,01	0,66	0,51	0,47	263,08	1,00	666,57
384,89	0,88	NORMAL	3500,00	0,01	0,66	0,51	0,47	358,08	1,00	667,14
439,87	0,88	NORMAL	4000,00	0,01	0,66	0,51	0,47	467,69	1,00	667,80
494,86	0,88	NORMAL	4500,00	0,01	0,66	0,51	0,47	591,92	1,01	668,54
549,84	0,88	NORMAL	5000,00	0,01	0,66	0,51	0,47	730,77	1,01	669,37
604,83	0,88	NORMAL	5500,00	0,01	0,66	0,51	0,47	884,23	1,01	670,29
659,81	0,88	NORMAL	6000,00	0,01	0,66	0,51	0,47	1052,31	1,01	671,30
714,79	0,88	NORMAL	6500,00	0,01	0,66	0,51	0,47	1235,00	1,01	672,40
769,78	0,88	NORMAL	7000,00	0,01	0,66	0,51	0,47	1432,31	1,01	673,58
824,76	0,88	NORMAL	7500,00	0,01	0,66	0,51	0,47	1644,23	1,01	674,86
879,75	0,88	NORMAL	8000,00	0,01	0,66	0,51	0,47	1870,77	1,02	676,22
934,73	0,88	NORMAL	8500,00	0,01	0,66	0,51	0,47	2111,92	1,02	677,67
989,72	0,88	NORMAL	9000,00	0,01	0,66	0,51	0,47	2367,69	1,02	679,22
1044,70	0,88	NORMAL	9500,00	0,01	0,66	0,51	0,47	2638,07	1,02	680,85
1099,68	0,88	NORMAL	10000,00	0,01	0,66	0,51	0,47	2923,07	1,03	682,58
1154,67	0,88	NORMAL	10500,00	0,01	0,66	0,51	0,47	3222,69	1,03	684,39
1209,65	0,88	NORMAL	11000,00	0,01	0,66	0,51	0,47	3536,92	1,03	686,30
1264,64	0,88	NORMAL	11500,00	0,01	0,66	0,51	0,47	3865,76	1,04	688,30
1319,62	0,88	NORMAL	12000,00	0,01	0,66	0,51	0,47	4209,22	1,04	690,39
1374,60	0,88	NORMAL	12500,00	0,01	0,66	0,51	0,47	4567,30	1,04	692,57

1429,59	0,88	NORMAL	13000,00	0,01	0,66	0,51	0,47	4939,99	1,04	694,84
1484,57	0,88	NORMAL	13500,00	0,01	0,66	0,51	0,47	5327,30	1,05	697,21
1539,56	0,88	NORMAL	14000,00	0,01	0,66	0,51	0,47	5729,22	1,05	699,68
1594,54	0,88	NORMAL	14500,00	0,01	0,66	0,51	0,47	6145,76	1,06	702,23
1649,53	0,88	NORMAL	15000,00	0,01	0,66	0,51	0,47	6576,91	1,06	704,88
1704,51	0,88	NORMAL	15500,00	0,01	0,66	0,51	0,47	7022,68	1,06	707,63
1759,49	0,88	NORMAL	16000,00	0,01	0,66	0,51	0,47	7483,06	1,07	710,48
1814,48	0,88	NORMAL	16500,00	0,01	0,66	0,51	0,47	7958,06	1,07	713,42
1869,46	0,88	NORMAL	17000,00	0,01	0,66	0,51	0,47	8447,68	1,08	716,45
1924,45	0,88	NORMAL	17500,00	0,01	0,66	0,51	0,47	8951,91	1,08	719,59
1979,43	0,88	NORMAL	18000,00	0,01	0,66	0,51	0,47	9470,75	1,09	722,82
2034,41	0,88	NORMAL	18500,00	0,01	0,66	0,51	0,47	10004,21	1,09	726,15
2089,40	0,88	NORMAL	19000,00	0,01	0,66	0,51	0,47	10552,29	1,10	729,58
2144,38	0,88	NORMAL	19500,00	0,01	0,66	0,51	0,47	11114,98	1,10	733,12
2199,37	0,88	NORMAL	20000,00	0,01	0,66	0,51	0,47	11692,29	1,11	736,75
2254,35	0,88	NORMAL	20500,00	0,01	0,66	0,51	0,47	12284,21	1,11	740,49
2309,34	0,88	NORMAL	21000,00	0,01	0,66	0,51	0,47	12890,75	1,12	744,32
2364,32	0,88	NORMAL	21500,00	0,01	0,66	0,51	0,47	13511,90	1,13	748,26
2419,30	0,88	NORMAL	22000,00	0,01	0,66	0,51	0,47	14147,67	1,13	752,31
2474,29	0,88	NORMAL	22500,00	0,01	0,66	0,51	0,47	14798,05	1,14	756,46
2529,27	0,88	NORMAL	23000,00	0,01	0,66	0,51	0,47	15463,05	1,14	760,71
2584,26	0,88	NORMAL	23500,00	0,01	0,66	0,51	0,47	16142,67	1,15	765,08
2639,24	0,88	NORMAL	24000,00	0,01	0,66	0,51	0,47	16836,90	1,16	769,55
2694,22	0,88	NORMAL	24500,00	0,01	0,66	0,51	0,47	17545,74	1,16	774,12
2749,21	0,88	NORMAL	25000,00	0,01	0,66	0,51	0,47	18269,20	1,17	778,81
2804,19	0,88	NORMAL	25500,00	0,01	0,66	0,51	0,47	19007,28	1,18	783,61
2859,18	0,88	NORMAL	26000,00	0,01	0,66	0,51	0,47	19759,97	1,19	788,51
2914,16	0,88	NORMAL	26500,00	0,01	0,66	0,51	0,47	20527,27	1,19	793,53
2969,15	0,88	NORMAL	27000,00	0,01	0,66	0,51	0,47	21309,20	1,20	798,67
3024,13	0,88	NORMAL	27500,00	0,01	0,66	0,51	0,47	22105,73	1,21	803,91

3079,11	0,88	NORMAL	28000,00	0,01	0,66	0,51	0,47	22916,89	1,22	809,27
3134,10	0,88	NORMAL	28500,00	0,01	0,66	0,51	0,47	23742,65	1,23	814,75
3189,08	0,88	NORMAL	29000,00	0,01	0,66	0,51	0,47	24583,04	1,23	820,34
3244,07	0,88	NORMAL	29500,00	0,01	0,66	0,51	0,47	25438,04	1,24	826,05
3299,05	0,88	NORMAL	30000,00	0,01	0,66	0,51	0,47	26307,65	1,25	831,88
3354,03	0,88	NORMAL	30500,00	0,01	0,66	0,51	0,47	27191,88	1,26	837,83
3409,02	0,88	NORMAL	31000,00	0,01	0,66	0,51	0,47	28090,72	1,27	843,90
3464,00	0,88	NORMAL	31500,00	0,01	0,66	0,51	0,47	29004,18	1,28	850,10
3518,99	0,88	NORMAL	32000,00	0,01	0,66	0,51	0,47	29932,26	1,29	856,42
3573,97	0,88	NORMAL	32500,00	0,01	0,66	0,51	0,47	30874,95	1,30	862,86
3628,96	0,88	NORMAL	33000,00	0,01	0,66	0,51	0,47	31832,26	1,31	869,43
3683,94	0,88	NORMAL	33500,00	0,01	0,66	0,51	0,47	32804,18	1,32	876,12
3738,92	0,88	NORMAL	34000,00	0,01	0,66	0,51	0,47	33790,71	1,33	882,94
3793,91	0,88	NORMAL	34500,00	0,01	0,66	0,51	0,47	34791,87	1,34	889,90
3848,89	0,88	NORMAL	35000,00	0,01	0,66	0,51	0,47	35807,63	1,35	896,98
3903,88	0,88	NORMAL	35500,00	0,01	0,66	0,51	0,47	36838,02	1,36	904,19
3958,86	0,88	NORMAL	36000,00	0,01	0,66	0,51	0,47	37883,02	1,37	911,54
4013,85	0,88	NORMAL	36500,00	0,01	0,66	0,51	0,47	38942,63	1,38	919,03
4068,83	0,88	NORMAL	37000,00	0,01	0,66	0,51	0,47	40016,86	1,39	926,65

Ur	Cg	Kg/h		lb/min		acfm		kg/h	separacion	ACFM
		Surge	Choke	surge	Choke	surge	choke	Camino		camino
0,00	0,88	10,26	21,25	0,38	0,78	0,43	0,89	15,76	0,05	0,66
0,01	0,88	51,29	106,27	1,88	3,90	2,14	4,44	78,78	0,26	3,29
0,03	0,88	102,57	212,54	3,77	7,81	4,29	8,89	157,55	0,51	6,59
0,04	0,88	153,86	318,81	5,65	11,71	6,43	13,33	236,33	0,77	9,88
0,06	0,88	205,14	425,08	7,54	15,62	8,58	17,77	315,11	1,02	13,17
0,07	0,88	256,43	531,35	9,42	19,52	10,72	22,21	393,89	1,28	16,47
0,09	0,88	307,71	637,62	11,31	23,43	12,86	26,66	472,66	1,53	19,76
0,10	0,88	359,00	743,89	13,19	27,33	15,01	31,10	551,44	1,79	23,05
0,12	0,88	410,28	850,16	15,08	31,24	17,15	35,54	630,22	2,04	26,35
0,13	0,88	461,57	956,43	16,96	35,14	19,30	39,98	709,00	2,30	29,64
0,15	0,88	512,85	1062,70	18,84	39,05	21,44	44,43	787,77	2,55	32,93
0,16	0,88	564,14	1168,97	20,73	42,95	23,58	48,87	866,55	2,81	36,23
0,18	0,88	615,42	1275,23	22,61	46,86	25,73	53,31	945,33	3,06	39,52
0,19	0,88	666,71	1381,50	24,50	50,76	27,87	57,75	1024,11	3,32	42,81
0,21	0,88	718,00	1487,77	26,38	54,67	30,02	62,20	1102,88	3,58	46,11
0,22	0,88	769,28	1594,04	28,27	58,57	32,16	66,64	1181,66	3,83	49,40
0,24	0,88	820,57	1700,31	30,15	62,48	34,30	71,08	1260,44	4,09	52,69
0,25	0,88	871,85	1806,58	32,04	66,38	36,45	75,52	1339,22	4,34	55,99
0,27	0,88	923,14	1912,85	33,92	70,29	38,59	79,97	1417,99	4,60	59,28
0,28	0,88	974,42	2019,12	35,80	74,19	40,74	84,41	1496,77	4,85	62,57
0,30	0,88	1025,71	2125,39	37,69	78,09	42,88	88,85	1575,55	5,11	65,87
0,31	0,88	1076,99	2231,66	39,57	82,00	45,02	93,29	1654,33	5,36	69,16
0,33	0,88	1128,28	2337,93	41,46	85,90	47,17	97,74	1733,10	5,62	72,45
0,34	0,88	1179,56	2444,20	43,34	89,81	49,31	102,18	1811,88	5,87	75,74
0,36	0,88	1230,85	2550,47	45,23	93,71	51,46	106,62	1890,66	6,13	79,04
0,37	0,88	1282,13	2656,74	47,11	97,62	53,60	111,06	1969,44	6,38	82,33

0,39	0,88	1333,42	2763,01	48,99	101,52	55,74	115,51	2048,21	6,64	85,62
0,40	0,88	1384,71	2869,28	50,88	105,43	57,89	119,95	2126,99	6,90	88,92
0,42	0,88	1435,99	2975,55	52,76	109,33	60,03	124,39	2205,77	7,15	92,21
0,43	0,88	1487,28	3081,82	54,65	113,24	62,17	128,83	2284,55	7,41	95,50
0,45	0,88	1538,56	3188,09	56,53	117,14	64,32	133,28	2363,32	7,66	98,80
0,46	0,88	1589,85	3294,36	58,42	121,05	66,46	137,72	2442,10	7,92	102,09
0,48	0,88	1641,13	3400,63	60,30	124,95	68,61	142,16	2520,88	8,17	105,38
0,49	0,88	1692,42	3506,90	62,19	128,86	70,75	146,60	2599,66	8,43	108,68
0,51	0,88	1743,70	3613,16	64,07	132,76	72,89	151,05	2678,43	8,68	111,97
0,52	0,88	1794,99	3719,43	65,95	136,67	75,04	155,49	2757,21	8,94	115,26
0,54	0,88	1846,27	3825,70	67,84	140,57	77,18	159,93	2835,99	9,19	118,56
0,55	0,88	1897,56	3931,97	69,72	144,48	79,33	164,37	2914,77	9,45	121,85
0,56	0,88	1948,84	4038,24	71,61	148,38	81,47	168,82	2993,54	9,71	125,14
0,58	0,88	2000,13	4144,51	73,49	152,28	83,61	173,26	3072,32	9,96	128,44
0,59	0,88	2051,41	4250,78	75,38	156,19	85,76	177,70	3151,10	10,22	131,73
0,61	0,88	2102,70	4357,05	77,26	160,09	87,90	182,14	3229,88	10,47	135,02
0,62	0,88	2153,99	4463,32	79,15	164,00	90,05	186,59	3308,65	10,73	138,32
0,64	0,88	2205,27	4569,59	81,03	167,90	92,19	191,03	3387,43	10,98	141,61
0,65	0,88	2256,56	4675,86	82,91	171,81	94,33	195,47	3466,21	11,24	144,90
0,67	0,88	2307,84	4782,13	84,80	175,71	96,48	199,92	3544,99	11,49	148,20
0,68	0,88	2359,13	4888,40	86,68	179,62	98,62	204,36	3623,76	11,75	151,49
0,70	0,88	2410,41	4994,67	88,57	183,52	100,77	208,80	3702,54	12,00	154,78
0,71	0,88	2461,70	5100,94	90,45	187,43	102,91	213,24	3781,32	12,26	158,08
0,73	0,88	2512,98	5207,21	92,34	191,33	105,05	217,69	3860,10	12,51	161,37
0,74	0,88	2564,27	5313,48	94,22	195,24	107,20	222,13	3938,87	12,77	164,66
0,76	0,88	2615,55	5419,75	96,11	199,14	109,34	226,57	4017,65	13,03	167,96
0,77	0,88	2666,84	5526,02	97,99	203,05	111,49	231,01	4096,43	13,28	171,25
0,79	0,88	2718,12	5632,29	99,87	206,95	113,63	235,46	4175,21	13,54	174,54
0,80	0,88	2769,41	5738,56	101,76	210,86	115,77	239,90	4253,98	13,79	177,84
0,82	0,88	2820,70	5844,83	103,64	214,76	117,92	244,34	4332,76	14,05	181,13

7.5 Anexos

A. Información brindada por el fabricante al momento de la instalación del compresor centrífugo en RECOPE.

SUNDYE COMPRESSOR SPECIFICATION EET		English		GAS ANALYSIS	
Sundstrand Fluid Handling		HIX		<input type="checkbox"/> MDL % MW % <input type="checkbox"/> MDL % MW %	
DATA SET 1, GEN R4-A ENGLISH UNIT SERIAL NUMBER 87220653 QUOTE NUMBER CR621154 REV 1 CUSTOMER NO. 05111 ITEM NO. PC-301 DATE 06-17-87 BY PLD NUMBER REQUIRED 1		FOR REFINADORA LOCATION COSTA RICA SERVICE MODEL TM 331P SINGLE STAGE CENTRIFUGAL			
OPERATING CONDITIONS					
[All data on per unit basis]					
Gas Handled					
MMSCFD/SCFM (14.7 psia @ 60°F dry)					
Weight flow, #/Min (Wet/Dry)		163.1			
INLET CONDITIONS:					
Pressure (psia)		460.000			
Temperature (T ₁)		100.0			
Relative Humidity (%)		0.0			
Molecular Weight (MW)		7.594			
C _p /C _v (K avg)		1.321			
Compressibility (Z ₁) or (Z _{avg})		1.007			
Inlet Volume, ACFM		282.5			
DISCHARGE CONDITIONS:					
Pressure (psia)		610.000			
Temperature (T ₂)		175.2			
C _p /C _v (K avg)		1.321			
Compressibility (Z ₂) or (Z _{avg})		1.014			
RHP required (All Losses Incl.)		338.6			
RHP maximum		400.0			
Estimated Sump, ACFM @ 10% Typical		182.7			
Adiabatic Head (ft. - Lb./Lb.)		33524.7			
Adiabatic Efficiency (%)		53.0			
Speed (rpm)		33629.			
				TOTAL	100.00
				AVG. MOL. WT.	7.59
SHOP INSPECTION AND TESTS:					
		Req'd	Witness		
SHOP INSPECTION		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	USE SHOP LUBE & SEAL SYSTEM	
HYDROSTATIC AT 1450 PSIG		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	USE JOB LUBE & SEAL SYSTEM	
HELIUM LEAK AT _____ PSIG		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	USE SHOP SEISMIC VELOCITY PHONE	
MECHANICAL RUN _____ HOUR(S)		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	USE JOB VIBRATION DISPLACEMENT PHONE	
MECH. RUN SPARE ROTOR		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DISASSEMBLE-INSPECT COMP. AFTER TEST	
PERFORMANCE TEST WITH SHOP DRIVER		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DISASSEMBLE-INSPECT GRABBER AFTER TEST	
				NOISE LEVEL TEST	
SITE DATA: ELEVATION _____ FT. PRESSURE _____ PSIA, RANGE OF AMBIENT TEMPS _____ °F					
Remarks:					
REFINADORA COSTA RICA S.A. DE PETROLEO, S.A. P.O. NO. 05111 ITEM NO. PC-301 S/N 87220653					

B. Catálogo de información de transmisores y sensores de presión de la empresa ABB Instruments.

Medida de presión

La oferta de sensores y transmisores de presión abarca diversos diseños y materiales, aptos incluso para los entornos de funcionamiento más extremos. La tecnología multisensor y un sistema electrónico con posibilidad de actualización que incluye una función de reconfiguración automática son algunas de las prestaciones de los transmisores de presión de ABB.

Amplia gama de productos basados en la experiencia práctica

Por prestaciones

Elija la combinación de prestaciones que mejor se ajuste a sus necesidades: precisión del 0,04% o del 0,075%, materiales de la parte mojada, alta presión de trabajo, fluidos de llenado, sellos remotos y accesorios.

Por sistema de Comunicación

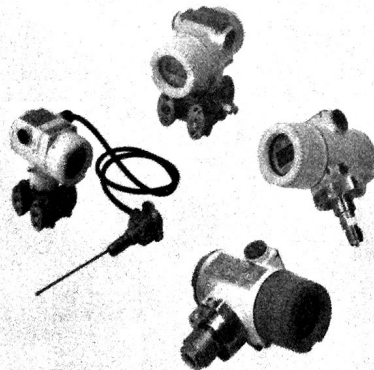
Elija el estándar de comunicación que mejor se adapte a sus necesidades entre las siguientes opciones: HART/4...20 mA, PROFIBUS PA, FOUNDATION Fieldbus y Modbus.

La sustitución del módulo electrónico para adoptar un sistema de comunicación diferente es muy sencilla y apenas lleva unos minutos.

Por tecnología

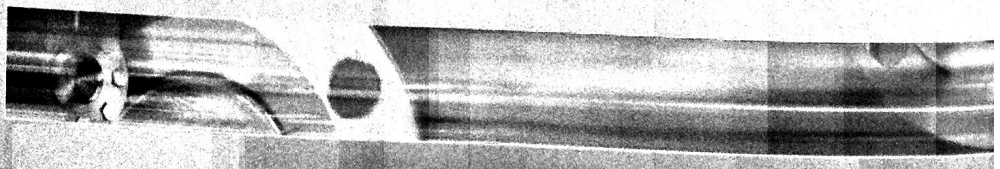
Elija un transmisor multivariable ABB para sus aplicaciones de caudal másico de aire, gas o vapor o para sus múltiples necesidades de datos de entrada. Es posible optar entre varios elementos primarios de caudal integrados preconfigurados.

Escoja un transmisor de seguridad HFT1 de ABB con certificado SIL2, diseñado con la redundancia y las herramientas de diagnóstico automático necesarias para sus aplicaciones de seguridad críticas.



Series 2600T: diseño modular en estado puro

La serie 2600T reúne todas las prestaciones de los transmisores ABB y de las últimas tecnologías inteligentes. Es una sólida oferta de modelos, opciones y variantes de dispositivos de medición.



Tecnología de sensores

La serie 2000I está formada por sensores de prestaciones contrastadas, que garantizan una óptima fiabilidad en todo tipo de aplicaciones de proceso cuando se miden:

- Presiones diferenciales, manométricas y absolutas
- Nivel, caudal, volumen, densidad e interfase de nivel
- Caudal masico y caudal volumetrico



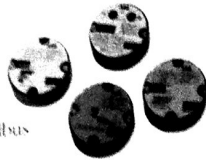
Electrónica

Si es necesario un mantenimiento económico, la herramienta de configuración electrónica garantiza el restablecimiento de la funcionalidad del sistema en minutos, sin necesidad de cables.

- No requiere cables adicionales
- Protocolo de configuración actualizable vía RS-485

Se encuentran disponibles los siguientes sistemas de comunicación:

- HART 4 - 20 mA
- PROFIBUS PA
- FOUNDATION Fieldbus
- Modbus



Indicadores

Capacidad de visualización integral y auténticos indicadores de la señal de salida. Los indicadores locales de ABB permiten configurar el dispositivo in situ (visualización integral) sin necesidad de abrir la tapa. Es posible llevar a cabo la configuración y la resolución de problemas a través del dispositivo CoMeter incorporado o bien mediante su instalación a distancia (indicador de campo 695) siendo esta la alternativa más barata al comunicador portátil HART.



Instrumentación innovadora

Medición de presión

La plataforma multivariable emplea un multisensor, que mide tanto presiones diferenciales como absolutas, puede conectarse un sensor de temperatura adicional que permite cálculos de caudal compensado.

Esta solución, muy rentable, también amplía las posibilidades de aplicación y la precisión de las mediciones.

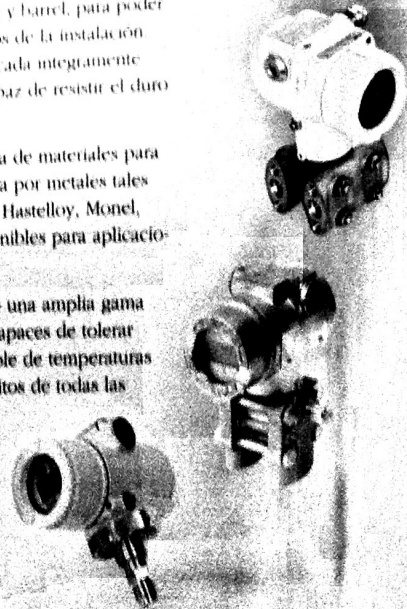
Sensores de presión manométrica absoluta y dispositivos de protección adicional contra la sobrepresiones.

Diseño modular: el transmisor de presión más adecuado para cada aplicación

Alta flexibilidad

Los transmisores 2000I están diseñados para poder utilizarse en cualquier situación y pueden adaptarse a las condiciones específicas de cada aplicación:

- La carcasa de aleación de aluminio está disponible en estilo DIN y barrel, para poder adaptarse a los requisitos de la instalación. Existe una versión fabricada íntegramente de acero inoxidable, capaz de resistir el duro entorno marítimo.
- Existe una extensa oferta de materiales para la parte mojada, formada por metales tales como acero inoxidable, Hastelloy, Monel, Tántalo y dorado, disponibles para aplicaciones específicas.
- También hay disponible una amplia gama de fluidos de llenado, capaces de tolerar el mayor intervalo posible de temperaturas y adaptarse a los requisitos de todas las industrias de proceso.



C. Especificaciones técnicas del VibraSwitch de la empresa Robertshaw Industrial Controls.



Sales Manual Section 140
Product Specification Model 375A/376A

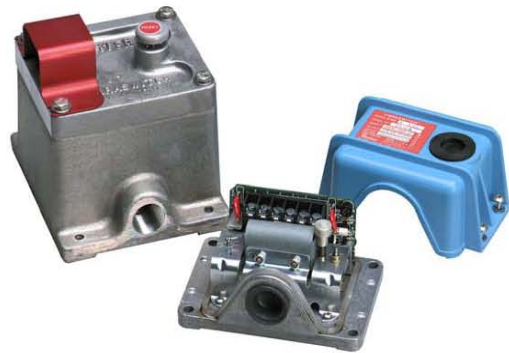
Model 375A/376A
Vibraswitch® Malfunction
Detectors

General Description

These Robertshaw Vibraswitch Malfunction Detectors are acceleration sensitive vibration instruments with electronic circuitry to provide maximum protection to rotating and reciprocating machinery due to damages resulting from mechanical malfunctions. Although identical in outside appearance and dimensionally the same as the existing Models 365 and 366, these instruments include "built-in" electronic circuitry for start and/or monitoring time delay functions for the prevention of false shutdowns resulting from transient vibrations. All models include provisions for remote reset.

"Start Delay" is often required on machines that start automatically and exhibit excessive vibration for short periods of time only during starting. Proper set point adjustment on the Vibraswitch for adequate protection during normal running conditions may cause the Vibraswitch to "trip" as the instrument senses these high starting transient vibrations without the use of "Start Delay." Examples of such machines are refrigeration compressors and high-speed turbines.

"Monitor Delay" is required on machines that exhibit excessive vibration of a transient nature which occurs during normal operation. If a Vibraswitch without monitor delay has its set point sufficiently high so as not to trip-out under the transient vibration levels, inadequate protection would result during the normal running conditions. Examples of this type machine include liquid pumps that experience momentary cavitations resulting in excessive vibration.



Features and Benefits:

- **Complete Vibration Protection in a Single Package**
Reasonably priced, lower installation costs
- **Explosion Proof Model (375A)**
FM Approved
- **Weather Proof Model (376A)**
NEMA 4
NEMA 4X (optional)
- **Acceleration Sensitive**
Measures destructive forces
- **Selectable Time Delay Control Options**
Permits maximum application flexibility
- **Ease of Adjustment**
Set it and forget it – one adjustment
- **Continuous Reliable Protection**
No attention required after installation
- **Solid State Switching**
Alarm or shutdown voltage completely isolated from instrument supply

Invensys®

Principle of Operation

The Model 375A and 376A Vibraswitches employ a magnetic circuit opposed by inertial and adjustable spring forces in the actuating mechanism. Operation of the unit may be understood by reference to Figure 1

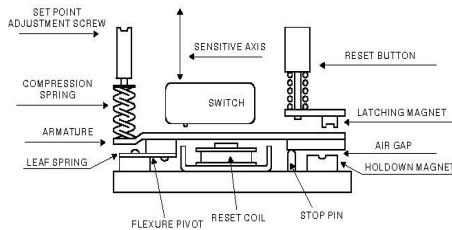


FIGURE 1

The armature is constrained so as to respond to only a single direction of motion, by a frictionless flexure pivot composed of two overlapping blocks with a leaf spring loaded in one direction to hold the blocks together. The armature rotates about the pivot, being forced in one direction by the adjusting spring force and the other direction by the magnetic force.

When the entire assembly is subjected to vibration perpendicular to the base, the peak acceleration times the effective mass of the armature produces an inertial force, aided by the adjustable spring tending to force the armature away from the stop pin and the restraining force of the magnet. When the peak acceleration exceeds the set point level, the armature leaves the stop pin, increasing the air gap and decreasing the magnetic force with the armature continuing to move up until it reaches the latch magnet, actuating the switch during its upward travel. The effect of temperature in the mechanism is negligible as the elastic modulus of the adjusting spring and magnetic flux through the air gap both decrease slightly with increasing temperature thereby compensating each other.

Electronic Operation

"Start Delay Only" models hold the Vibraswitch armature in its "reset" position for a preset starting time after application of supply voltage to the instrument. This prevents the Vibraswitch from tripping out during machine startup. Fixed timing periods of 15, 30, 60 or 90 seconds are available. After the time period, the Vibraswitch functions as normal with shutdown or alarm functions provided by utilizing the SPDT switch contacts in the unit.

"Monitor Delay Only" models prevent nuisance shutdowns due to tripping-out of the Vibraswitch during high level short term transient vibration conditions by automatically resetting the Vibraswitch. Under continuing high vibration, the Vibraswitch trips, is immediately reset, trips out again and is reset; this "sampling" process continuing until the time delay period has elapsed, after

which the unit remains "tripped" out. An AC output by means of a solid state "TRIAC" switch can be used for either ALARM or SHUTDOWN. The "TRIAC" switch can be set for either NO or NC operation by repositioning the jumper plug located on the circuit board.

"Start and Monitor Delay" models provide the control functions of both START delay and MONITOR delay in a single instrument. The "Start and Monitor Delay" models employ the same "TRIAC" switch found in the "Monitor Delay Only" models.

Specifications

Enclosure:

375A	Aluminum, unpainted (standard) FM Approved for Class I, Division 1, Groups C & D; Class II, Division 1, Groups E, F & G hazardous locations Aluminum, epoxy painted (optional)
376A	Aluminum base, unpainted (standard) with ABS thermoplastic cover & Kraton thermoplastic gasket, NEMA 4. Epoxy painted base (optional), NEMA 4X

Switch Contacts:

Start Delay Only Models:

SPDT (dry contacts)
5 A at 120 or 240 VAC

Monitor or Start & Monitor Delay Models:

SPST Triac (solid state contacts)
2 A maximum, 50 mA minimum at
120 VAC only (will not switch DC)
Field selectable for NO or NC operation

Set Point Range:

Mounted Horizontal	0 to 4.5 G (peak)
Mounted Vertical	0 to 3.5 G (peak)

Frequency Range 0 to 300 Hz

Set Point Adjustment 1 G per turn (approximate)

Temperature limits:

Storage	-40° to +160° F (-40° to +71° C)
Operating	-20 to +140° F (-29° to +60° C)

Shock 75 G @ 11 ms maximum

Supply Voltage: 120 VAC ±10%, 50/60 Hz

Supply Power: 15 W maximum

Delay Time Accuracy: ±30%

Net weight:

375A	6.5 lbs (2.9 kg)
376A	2.25 lbs (1 kg)

Shipping weight:

375A	7 lbs (3.2 kg)
376A	3 lbs (1.4 kg)

Agency Certification:

375A	FM Files 0Q7A3.AE & 0R1H7.AE
376A	None

D. Datos diarios recolectados por RECOPE para el mes de Octubre de 2009.

TRABAJO DE LA UNIDAD		FECHA:	01-oct-09	02-oct-09	03-oct-09	04-oct-09	05-oct-09	06-oct-09	07-oct-09	08-oct-09	09-oct-09	10 oct 09	11 oct 09	12 oct 09	13 oct 09	14 oct 09
Horas Reales Diarias (h/d)			24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Tiempo Total de Trabajo (días)			63.2	64.2	65.2	66.2	67.2	68.2	69.2	70.2	71.2	72.2	73.2	74.2	75.2	76.2
INFORMACIÓN DE LOS FLUJOS		744	24497.0	4861.4	120.0	30812.0	30812.0	4967007.0								
PIFC-25307	Carga a Unifinig (kg/h)	191959	6299	6300	6300	6317	5596	6300	6300	6300	6300	6300	6300	6299	6300	6300
	Gravedad Especifica, S.G.	0.751	0.746	0.747	0.750	0.749	0.744	0.752	0.750	0.748	0.747	0.756	0.748	0.748	0.754	0.753
	Carga a Unifinig (bbl/d)	190228	202.8	202.4	201.7	202.5	180.4	201.0	201.6	202.0	202.4	200.0	202.2	202.0	200.5	200.7
	Carga a Unifinig (m3/h)		1.34	1.34	1.34	1.34	1.20	1.33	1.34	1.34	1.34	1.32	1.34	1.34	1.33	1.33
	Carga a Unifinig (kg/d)	4607016	151176.0	151200.0	151200.0	151608.0	134304.0	151200.0	151200.0	151200.0	151200.0	151200.0	151200.0	151176.0	151200.0	151200.0
	FACTOR CAPACIDAD: Nafta Unifinig	6136	106.2%	106.0%	105.6%	106.0%	94.5%	105.2%	105.5%	105.8%	106.0%	104.7%	105.8%	105.8%	105.0%	105.1%
PIFI-25402	Nafta Unificada a Almacenam. (kg/h)		113.0	62.0	38.0	14.0	107.0	179.0	298.0	418.0	248.0	221.0	220.0	274.0	451.0	472.0
	Gravedad Especifica, S.G.	0.758	0.758	0.761	0.763	0.764	0.756	0.760	0.759	0.761	0.754	0.765	0.756	0.757	0.759	0.760
PIFC-25357	Carga a Platformado (kg/h)	744	5000	5000	5000	5000	4497	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
	Gravedad Especifica, S.G.	0.758	0.758	0.761	0.763	0.764	0.756	0.760	0.759	0.761	0.754	0.765	0.756	0.757	0.759	0.760
	Carga a Platformado (bbl/d)	154316	995.2	991.7	989.2	987.4	897.8	993.7	993.9	992.3	1000.6	986.4	998.0	997.6	994.4	993.1
	Carga a Platformado (kg/d)	3703584	120000.0	120000.0	120000.0	120000.0	107928.0	120000.0	120000.0	120000.0	120000.0	120000.0	120000.0	120000.0	120000.0	120000.0
	Carga Acumulada (kg/d)	151436	7363045	7483045	7603045	7723045	7830973	7950973	8070973	8190973	8310973	8430973	8550973	8670973	8790973	8910973
	Carga Acumulada (bbl/d)		60119.2	61110.9	62100.1	63087.6	63985.4	64979.0	65973.0	66965.3	67965.9	68952.3	69950.3	70947.9	71942.3	72935.5
	Vida del Catalítico (kg_{cat}/kg_{cat})	4885	3560.15	3618.18	3676.20	3734.22	3786.40	3844.43	3902.45	3960.47	4018.49	4076.51	4134.54	4192.56	4250.58	4308.60
	Vida del Catalítico (bbl/lb)		13.21	13.43	13.65	13.87	14.06	14.28	14.50	14.72	14.94	15.15	15.37	15.59	15.81	16.03
	LHSV (1/h)		2.42	2.42	2.42	2.42	2.18	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42
	FACTOR CAPACIDAD: Platformado		1.00	0.99	0.99	0.99	0.90	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	0.99	1.00	0.99	0.99
PIFI-25381	Producto Platformado (kg/h)		4809	4792	4773	4620	4323	4761	4775	4768	4757	4788	4777	4758	4741	4739
	Gravedad Especifica, S.G.	0.772	0.773	0.775	0.775	0.778	0.768	0.772	0.771	0.772	0.772	0.779	0.771	0.771	0.773	0.772
	Producto Platformado (bbl/d)		938.9	933.2	930.2	896.8	849.7	930.4	935.4	932.4	930.7	927.9	935.1	931.5	926.3	927.0
	Rendim. Prod. Platformado (%Vol)		96.18	95.84	95.46	92.40	96.13	95.22	95.50	95.36	95.14	95.76	95.54	95.16	94.82	94.78
PIFI-25366	Gas de Reciclo a Unifinig (kg/h)		172	167	159	157	118	147	152	151	152	154	157	157	152	150
	Schilling, Gases de Reciclo		0.27	0.26	0.27	0.27	0.27	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.27
	Gas de Reciclo a Unifinig (Mscfd)		440.8	444.5	407.5	402.4	302.4	391.3	420.7	418.0	420.7	426.3	434.6	434.6	420.7	384.5
	Pureza H₂, Gas Reciclo (%mol)		80.90	82.08	80.75	80.73	80.28	81.84	83.13	83.12	83.13	83.15	83.19	83.19	83.13	80.65
	Razón Molar H₂/HC															
	Razón Molar H₂/HC (UOP)		6.44	6.90	6.68	6.83	7.13	6.89	7.19	7.19	7.08	7.16	7.11	7.13	7.27	6.48
PIFI-25356	Gas de Reciclo a Platformado (kg/h)		2603	2638	2690	2745	2620	2646	2617	2612	2595	2585	2596	2602	2648	2624
	Schilling, Gases de Reciclo		0.27	0.26	0.27	0.27	0.27	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.27
	Gas de Reciclo a Platformado (Mscfd)		6672	7021	6895	7035	6715	7043	7244	7230	7183	7155	7186	7202	7330	6725
PIFI-25396	FG / Blowdown, Estabilizadora (kg/h)		4	2	6	2	4	0	1	19	8	1	11	22	18	62
PIFI-25390	Líquido Tope, Estabilizadora (kg/h)		235.0	250.0	231.0	306.0	255.0	224.0	214.0	233.0	268.0	252.0	263.0	267.0	270.0	268.0
PIFC-25391	Reflujo de la Estabilizadora (gpm)		1.0	81.0	6.0	0.0	315.0	344.0	256.0	202.0	33.0	111.0	182.0	227.0	192.0	206.0
	Reflujo de la Estabilizadora (m³/h)		0.2	18.4	1.4	0.0	71.5	78.1	58.1	45.9	7.5	25.2	41.3	51.6	43.6	46.8
	(SG) Reflujo de la Estabilizadora (kg/d)		4.2	4.2	0.3	0.0	16.2	17.7	13.2	10.4	1.7	5.7	9.4	11.7	9.9	10.6
PIFI-25368	Gases de Tope, Acumulador PV-302 (kg/h)		346.0	334.0	325.0	319.0	247.0	302.0	320.0	321.0	323.0	324.0	323.0	322.0	311.0	305.0
PIFI-25373	Fuel-Gas, Tope Acumulador PV-302 (kg/h)		146.0	139.0	124.0	116.0	91.0	110.0	123.0	125.0	125.0	125.0	130.0	129.0	119.0	119.0
PIFI-25334	Fuel Gas, Acumulador PV-304, (kg/h)		25.0	26.0	27.0	32.0	21.0	27.0	27.0	26.0	25.0	27.0	27.0	27.0	23.0	21.0
PIFC-25326	Reflujo del Stripper (kg/h)															

15-oct-09	16-oct-09	17-oct-09	18-oct-09	19-oct-09	20-oct-09	21-oct-09	22-oct-09	23-oct-09	24-oct-09	25-oct-09	26-oct-09	27-oct-09	28-oct-09	29-oct-09	30-oct-09	31-oct-09
24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
77.2	78.2	79.2	80.2	81.2	82.2	83.2	84.2	85.2	86.2	87.2	88.2	89.2	90.2	91.2	92.2	93.2

6300	6020	6063	6150	6150	6150	6150	6150	6150	6150	6150	6150	6150	6181	6235	6235	5914
0.754	0.756	0.751	0.751	0.762	0.753	0.751	0.755	0.754	0.753	0.753	0.751	0.748	0.747	0.747	0.747	0.751
200.5	191.2	193.7	196.6	193.7	196.1	196.5	195.4	195.7	196.1	196.0	196.6	197.5	198.7	200.3	200.4	189.1
1.33	1.27	1.28	1.30	1.28	1.30	1.30	1.29	1.30	1.30	1.30	1.30	1.31	1.32	1.33	1.33	1.25
151200.0	144480.0	145512.0	147600.0	147600.0	147600.0	147600.0	147600.0	147600.0	147600.0	147600.0	147600.0	147600.0	148344.0	149640.0	149640.0	141936.0
105.0%	100.1%	101.4%	103.0%	101.4%	102.7%	102.9%	102.3%	102.4%	102.7%	102.6%	102.9%	103.4%	104.0%	104.9%	104.9%	99.0%

451.0	328.0	373.0	417.0	449.0	479.0	368.0	444.0	379.0	262.0	322.0	304.0	231.0	28.0	64.0	175.0	323.0
0.759	0.759	0.753	0.756	0.767	0.758	0.756	0.760	0.758	0.755	0.759	0.756	0.752	0.756	0.757	0.753	0.756

5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5012	5020	5020	5020	5020	5020	5020	4687
0.759	0.759	0.753	0.756	0.767	0.758	0.756	0.760	0.758	0.755	0.759	0.756	0.752	0.756	0.757	0.753	0.756
993.9	993.9	1002.4	998.9	984.2	995.2	998.4	992.5	996.0	1002.0	998.2	1002.1	1007.6	1002.1	1001.5	1005.8	936.0
120000.0	120000.0	120000.0	120000.0	120000.0	120000.0	120000.0	120000.0	120000.0	120288.0	120480.0	120480.0	120480.0	120480.0	120480.0	120480.0	112488.0
9030973	9150973	9270973	9390973	9510973	9630973	9750973	9870973	9990973	10111261	10231741	10352221	10472701	10593181	10713661	10834141	10946629
73929.4	74923.3	75925.7	76924.6	77908.8	78904.0	79902.4	80894.9	81890.9	82892.9	83891.0	84893.1	85900.7	86902.8	87904.3	88910.1	89846.1
4366.62	4424.65	4482.67	4540.69	4598.71	4656.73	4714.76	4772.78	4830.80	4888.96	4947.22	5005.47	5063.72	5121.98	5180.23	5238.49	5292.88
16.25	16.47	16.69	16.91	17.12	17.34	17.56	17.78	18.00	18.22	18.44	18.66	18.88	19.10	19.32	19.54	19.75
2.42	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.27
0.99	0.99	1.00	1.00	0.98	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.00	1.00	1.01	0.94

4741	4751	4786	4785	4787	4786	4788	4767	4765	4768	4764	4706	4753	4751	4745	4747	4473
0.774	0.773	0.769	0.770	0.778	0.771	0.769	0.774	0.771	0.771	0.775	0.772	0.769	0.775	0.774	0.769	0.771
924.9	927.9	939.6	938.4	928.3	936.5	940.4	929.7	932.3	933.5	927.6	919.8	933.4	924.8	925.4	932.3	876.0
94.82	95.02	95.72	95.70	95.74	95.72	95.76	95.34	95.30	95.13	94.90	93.75	94.68	94.64	94.52	94.56	95.43

152	160	172	173	175	172	159	155	160	154	156	168	172	159	156	163	134
0.24	0.25	0.25	0.27	0.25	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.26	0.26
438.3	442.9	476.1	443.4	484.4	457.8	423.2	412.5	425.9	409.9	431.8	465.0	476.1	440.1	431.8	433.8	356.7
84.36	83.23	83.38	80.92	83.42	82.14	81.98	81.93	81.99	81.92	83.18	83.33	83.38	83.22	83.18	82.03	81.68
7.69	7.01	6.83	6.17	6.95	6.56	6.57	6.64	6.63	6.67	6.94	6.74	6.56	6.65	6.71	6.38	6.84

2648	2548	2498	2504	2496	2515	2531	2546	2548	2581	2533	2467	2414	2436	2459	2476	2482
0.24	0.25	0.25	0.27	0.25	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.26	0.26
7635	7053	6915	6418	6909	6694	6737	6776	6782	6870	7012	6829	6682	6743	6807	6590	6606

18	25	17	19	9	0	17	21	17	18	10	11	11	8	11	32	17
270.0	266.0	260.0	258.0	253.0	251.0	255.0	261.0	254.0	248.0	251.0	261.0	258.0	268.0	264.0	251.0	247.0
192.0	177.0	270.0	261.0	279.0	279.0	303.0	306.0	291.0	213.0	252.0	292.0	285.0	310.0	239.0	307.0	319.0
43.6	40.2	61.3	59.3	63.4	63.4	68.8	69.5	66.1	48.4	57.2	66.3	64.7	70.4	54.3	69.7	72.4
9.9	9.1	13.9	13.5	14.4	14.4	15.6	15.8	15.0	11.0	13.0	15.1	14.7	16.0	12.3	15.8	16.5

311.0	321.0	344.0	344.0	347.0	338.0	324.0	321.0	319.0	319.0	320.0	325.0	331.0	326.0	321.0	332.0	269.0
119.0	137.0	154.0	156.0	160.0	153.0	135.0	128.0	135.0	124.0	130.0	150.0	157.0	136.0	132.0	140.0	125.0
23.0	22.0	23.0	24.0	25.0	26.0	23.0	21.0	21.0	20.0	21.0	19.0	20.0	19.0	21.0	21.0	20.0