FUNCIONAMIENTO, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS SISTEMAS DE CONTROL ANTISURGE Y COMPARTIMENTO DE CARGA DE LOS COMPRESORES CENTRIFUGOS NUOVE PIGNONE PARA LOS CAMPOS DE CUPIAGUA Y CUSIANA

JUAN CARLOS GRANADOS PUENTES

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERIA TECNOLOGICA
PROGRAMA ELECTRONICA
BOGOTÁ D.C.
2007

FUNCIONAMIENTO, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS SISTEMAS DE CONTROL ANTISURGE Y COMPARTIMENTO DE CARGA DE LOS COMPRESORES CENTRIFUGOS NUOVE PIGNONE PARA LOS CAMPOS DE CUPIAGUA Y CUSIANA

JUAN CARLOS GRANADOS PUENTES

Trabajo de grado para optar al título de
Tecnólogo en electrónica

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERIA TECNOLOGICA
PROGRAMA ELECTRONICA
BOGOTÁ D.C.
2007

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad, institución que nos abrió las puertas del conocimiento y nos enseño a pensar mejor.

A los profesores, quienes siempre han creído y nos han apoyado incondicionalmente durante estos años, nos han visto crecer tanto personal como profesionalmente.

Juan Carlos

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	10
1. PROBLEMA	11
1.1 PLANTEAMIENTO	11
1.2 FORMULACIÓN	11
1.3 TÍTULO	11
1.4 TEMA	11
1.5 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	11
1.6 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	12
1.7 ALCANCES	12
1.8 LIMITACIONES	12
2. OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GENERAL	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3. JUSTIFICACIÓN	14
4. MARCO TEÓRICO	16
4.1 RESEÑA HISTÓRICA	16
4.2 ANTECEDENTES	19
5. LOS COMPRESORES CENTRÍFUGOS	21
5.1 GENERAL	21
5.2 CONSIDERACIONES DE PROCESO	22
5.2.1 Principios	22
5.2.2 Datos De Carga	23
5.3 DESCRIPCIÓN DEL COMPRESOR CENTRÍFUGO NUOVO PIGNONE	25
6. SISTEMA DE CONTROL ANTISURGE	29
6.1 VISIÓN GENERAL	29
6.2 OBJETIVOS DEL SISTEMA DE CONTROL ANTISURGE	30
6.3 EL FENÓMENO DEL SURGE	31

6.4 COMUNICACIÓN Y CONTROL DEL COMPUTADOR 52
6.5 VARIABLES CALCULADAS 56
7. PRINCIPIOS DE OPERACIÓN CONTROLADOR ANTISURGE 68
7.1 INTERFACE CON EL OPERADOR 68
7.2 OPERACIÓN CONTINUA 69
7.3. SECUENCIA DE OPERACIÓN 74
7.4 OPERACIÓN EN MANUAL 75
7.5 INDICACIONES DE FALLAS 78
8. CARACTERÍSTICAS DE ENTRADAS Y SALIDAS 83
8.1 OPCIONES DE HARDWARE
83
9. CERCANÍA Y CONTROL ANTISURGE 98
9.1 GENERAL 98
9.2 FUNCIÓN DE APLICACIÓN 98
9.2.1 Funciones de Caracterización 100
9.2.2 Los sistemas de 3 coordenadas 102
9.3 ESTRATEGIAS FALLBACK 103
9.4 CONTROL ANTISURGE 111
9.4.1 General 111
9.4.2 Líneas de control 112
9.4.3 Respuesta derivativa 116
9.4.4. Respuesta Safety On 117
9.4.5 Respuesta del control antisurge 120
9.5 PROTECCIÓN DE COMPRESORES DE MÚLTIPLES ETAPAS 127
9.5.1 General 127
9.5.2 Compresores Multietapas 127
9.5.3. Redes de compresor 132
10. CONTROL DE PERFORMANCE (OPERACIÓN) 135
10.1 ALGORITMO PID GENERAL 135

10.2 ZONA MUERTA 136
10.3 DIRECCIÓN DE LAZO DE CONTROL 137
10.4 RAMPA EN EL SETPOINT 138
10.5 CONTROL DE CAPACIDAD 139
10.6 CONTROL DE CAPACIDAD ALTERNO 139
10.7 RESPUESTA DE CONTROL DE PERFORMANCE 140
10.8 COORDINACIÓN DE CONTROL 143
10.8.1 Desacople de lazos
143
10.8.2 Desacople de ganancias 145
10.9 LIMITE DE RECICLO 147
10.9.1 Respuesta de sobre posición de presión 147
10.9.2 Prediciendo sobre posición de presión 148
10.10 SEGUIMIENTO DE LA VELOCIDAD 148
10.10.1 Seguimiento de velocidad serial 149
10.10.2 Seguimiento de velocidad análoga 151
11. CONTROL DE COMPARTIMENTO DE CARGA 152
11.1. DISTRIBUCIÓN DE CARGA 153
12. COMPORTAMIENTO DE LA VARIABLE DE SALIDA 165
12.1. POSICIÓN DE LA VÁLVULA PREVISTA 165
12.1.1 Salidas fijas 166
12.1.2 Caracterización de la válvula de flujo 167
12.2 SEÑAL DE CONTROL DEL ACTUADOR 168
13. CONCLUSIONES 170
BIBLIOGRAFÍA 174
ANEXOS

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. El compresor centrífugo 21
Figura 2. Diagrama básico de un sistema de control de un compresor 29
Figura 3. El fenómeno del surge 32
Figura 4. Efectos del Surge 34
Figura 5. Acciones del controlador antisurge 35
Figura 6. Diagrama del punto operativo 36
Figura 7. Línea de control de surge y el margen de seguridad 40
Figura 8. Diagrama funcional simplificado del controlador antisurge 46
Figura 9 Comunicación y control del sistema antisurge 52
Figura 10. Cara del controlador antisurge 70
Figura 11. Cara del controlador antisurge (CONT.) 72
Figura 12. El controlador SERIES 3 PLUS y sus componentes principales 86
Figura 13 Ensamble de tarjeta CPU PCB 88
Figura 14. Tarjeta de ensamble CPB auxiliar 91
Figura 15. Ensamble de tarjeta análoga del controlador series 3 PLUS 93
Figura 16 Definiendo el x mínimo segura como función de Y 98
Figura 17. Cálculo de Ss como una función de las 3 variables de coordenadas 101
Figura 18 Definiendo la forma de las áreas entre las líneas de control 111
Figura 19. Disparo de reciclo 123
Figura 20. Selección de Respuesta de Control 140
Figura 21. Diagrama funcional simplificado de una aplicación de un compresor 143
Figura 22. Diagrama funcional de algoritmos de compartimiento de carga en paralelo 142
Figura 23. Diagrama funcional de algoritmo de LOAD SHARING en serie 157
Figura 24. Transformaciones de salida 165

Figura 25. Caracterización de la válvula de flujo 166
Figura 26. Compensación de banda muerta de la válvula 167

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Condición de carga, capacidad y potencia disponible en turbinas a gas para compresores de media presión 24
Tabla 2 Condición de carga, capacidad y potencia disponible en turbinas a gas para compresores de alta presión 24
Tabla 3. Asignación de datos 38
Tabla 4. Asignamiento de salidas Análogas 48
Tabla 5 Asignamiento de entrada discreta 50
Tabla 6. Estados Operativos 74
Tabla 7. Códigos de función de salida discreta 103

INTRODUCCIÓN

Los compresores centrífugos tienen gran aplicación en el ámbito industrial, son construidos de tal forma que aún cuando manejan bajos caudales, pueden ser utilizados para inyectar altas presiones (del orden de 6000-10000 libras por pulgada cuadrada Puig y 400 millones de pies cúbicos estándar MSCF y una potencia entregada de 22 megavatios). Tienen su mayor aplicación en campos de reinyección de gas en los cuales, el gas que viene de los pozos productores mezclado con crudo, agua y lodos, se somete a varias etapas de separación y aumento de presión, y después de subir la presión hasta 6.300 psig, es reinyectado a los pozos denominados inyectores para permitir extraer una mayor cantidad de crudo y a la vez mantener presurizado el yacimiento.

Los compresores centrífugos son máquinas de alto rendimiento y alta eficiencia, pero debido a su condición dinámica, pues, está sujeto a altas velocidades (alrededor de 10.000 rpm) y altas presiones, como consecuencia de cambios operacionales ,por ejemplo, cierre intempestivo de un pozo de inyección, o caída súbita de presión de suministro, o aumento de temperatura del gas de proceso, puede sufrir eventos que ponen en riesgo no solo la continuidad de la operación sino también la integridad misma del compresor , al estar sujetos al fenómeno conocido como SURGE, el cual se podría producir en cualquier momento, cuando una de las causas de proceso anteriores se presente.

De la misma manera, debido a que los compresores son utilizados normalmente en paralelo, con el fin de aumentar la capacidad de inyección de gas, la carga y la presión a la cual están sometidos deben ser equivalentes, pues estas diferencias

pueden también ser causa de SURGE e inestabilidad del proceso así como también de pérdida de eficiencia.

Por anterior, los compresores de inyección de gas y otras aplicaciones industriales también importantes, constan de sistemas de control y su principal función es mantener los equipos operando en óptimas condiciones de eficiencia y protegerlos en caso de eventos operacionales o dinámicos que puedan ocasionar el fenómeno del SURGE. Los sistemas de control ANTISURGE y de compartimiento de carga LOAD SHARING de los compresores centrífugos fueron desarrollados hace 20 años y se han transformado de sistemas manuales a sistemas de control complejos y multivariables en las nuevas épocas.

El propósito de éste documento es realizar una evaluación del funcionamiento de los sistemas de control antisurge y load sharing de los compresores centrífugos Nuovo Pignone localizados en las plantas de producción de petróleo de Cusiana y Cupiagua con el fin de adquirir el conocimiento fundamental para suministrar el soporte técnico necesario a las plantas de BP Exploration. Esta investigación servirá además de guía al personal de mantenimiento y operaciones para el correcto análisis, evaluación y seguimiento de fallas con el fin de minimizar tiempos muertos por causas de daños en los compresores y así mismo convertirse en una herramienta de optimización de la operación.

Este documento presenta una descripción de los siguientes temas : Teoría de control de surge, Estrategias de control, Elementos del sistema de control antisurge, Configuración, sintonización, y operación de controladores de antisurge. Así mismo se darán los procedimientos necesarios para realizar labores de mantenimiento y las guías para desarrollar los análisis de fallas que permitan en últimas mantener la operación de las máquinas y minimizar los tiempos muertos en casos de paradas no programadas.

1. PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Toda la información relacionada a la operación, funcionamiento y mantenimiento de los turbocompresores Modelo MS-500C, llegó al campo petrolero CPF CUPIAGUA en inglés. Esta información es tan técnica que solo personal experto puede acceder a interpretarla, la asesoría extranjera se terminó en la empresa debido al alto costo que genera el traer al país una persona especializada en este campo, dejando sin posibilidad a los operarios de conocer principios operacionales básicos, de esta manera también se dificulta una respuesta adecuada a la solución de problemas sencillos generando pérdidas de tiempo y dinero.

1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Cómo es el funcionamiento, operación y mantenimiento de los sistemas de control antisurge y compartimiento de carga de los compresores centrífugos nuovo pignone para los campos petroleros de Cupiagua y Cusiana?

1.3 TITULO

FUNCIONAMIENTO, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS SISTEMAS DE CONTROL ANTISURGE Y COMPARTIMENTO DE CARGA DE LOS COMPRESORES CENTRIFUGOS NUOVO PIGNONE PARA LOS CAMPOS DE CUPIAGUA Y CUSIANA

1.4 TEMA

Sistemas de control

1.5 LINEA DE INVESTIGACION

Instrumentación y control de procesos

1.6 DELIMITACION DEL PROBLEMA

La investigación sobre el funcionamiento, mantenimiento y operación de los sistemas de control antisurge y compartimiento de carga de los compresores centrífugos Nuovo Pignone se delimita al modelo de compresor MS500C ubicados en los campos petroleros de Cupiagua y Cusiana.

1.7 ALCANCES

- Obtener información pertinente y disponible para capacitar a los operarios de los posos petroleros en mención, con el fin de reducir costos de manejo y mantenimiento de los sistemas de control antisurge y compartimiento.

- Disponer del material de la investigación para capacitar en otras empresas que utilicen este tipo de compresor.

- Manejar lenguaje técnico acorde con el tipo de trabajo que ejecuta el compresor al alcance de las necesidades de los usuarios mas cercanos, en este caso el personal de los campos petroleros de Cupiagua y Cusiana que en su gran mayoría son de nacionalidad colombiana.

1.8 LIMITACIONES

La presente investigación se limita a un tipo específico de sistema de control de un compresor determinado, que se usa exclusivamente en la exploración petrolera, por lo tanto este material es útil para este tipo de elemento y en poco aplica a otros similares.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar un texto guía de operación y mantenimiento del sistema de Control Automático, CCC (Centrifugal Compresor Control) y Control Antisurge de los turbocompresores de media y alta presión en los campos Cupiagua y Cusiana con el fin de capacitar a los operarios de los mencionados campos.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Reunir bibliografía técnica en español e ingles acerca de los turbocompresores.

- Recopilar diagramas unifilares y de control actualizados, indicando los cambios realizados y así ofrecer una mayor confiabilidad del trabajo.

- Analizar la información encontrada y desarrollar una tabla de contenido que sea ideal para un buen entrenamiento de los operadores del CPF de Cupiagua y/o cualquier persona interesada en turbocompresores.

- Realizar un documento en copia electrónica y copia dura de todo el texto guía que se está proponiendo elaborar.

- Implementar este documento como base de estudio a los operadores del área de crudo que van a entrenar en turbocompresores.

3. JUSTIFICACIÓN

El llevar a cabo el desarrollo de este proyecto permite capacitar de manera didáctica al personal local de los campos petroleros de Cupiagua y Cusiana con respecto a la operación y funcionamiento de los turbocompresores. De esta manera, se suple un vacío de capacitación y se beneficia la empresa a través de la generación de un ahorro significativo por costos de entrenamiento. También se hace más fácil el acceso a la información y la correcta apropiación del conocimiento a todo nivel.

El entrenamiento en el exterior para un curso de C.C.C ó de MARK V por persona está alrededor de US 6.500 dólares sin incluir logística. La manera en la cual se basa el entrenamiento es tener como soporte el texto guía a elaborar, y adicionalmente se contratará a uno de los operadores que ya no se encuentra vinculado a la empresa contratista, pero que por su vasta experiencia y habilidades, se convertirá en el tutor de entrenamiento de las 4 personas que inicialmente pretende certificar la empresa como operadores de turbocompresores.

Actualmente trabajan personas con salarios que oscilan entre los US 4.500 dólares al mes, por lo que al año la empresa está pagando alrededor de US 216.000 dólares por la operación de los equipos.

La inversión va a tener la empresa por entrenamiento bajo los resultados del presente proyecto, es de US 8.800 dólares, lo cual incluye 4 personas que serán entrenadas a lo largo de cuatro meses.

La empresa después de esta primera fase y según sea el desempeño de estas personas, continuará con la certificación del resto de personal de operaciones (8 personas mas)

4. MARCO TEORICO

4.1 RESENA HISTORICA

Los egipcios y los chinos, con el invento del fuelle con válvulas para inyectar aire a los hornos, hacían vacío sin saberlo: al abrir el fuelle, se llenaba de aire por el vacío que se provocaba dentro de éste.

En el siglo XVII, Otto von Guericke hizo una contribución importante a la ciencia con su invención de la bomba de aire, considerada como una de las cuatro invenciones del siglo (los otros inventos fueron: el telescopio, el microscopio y el reloj de péndulo).

Von Guericke adaptó en 1640 a un tonel de madera una bomba de agua, después lo llenó con agua y lo clausuró. Con la ayuda de varios hombres procedió a sacar el agua. El bombeo se prolongó después de vaciado el tonel, lo que causó la precipitación del aire a través de los poros de la madera. Este suceso lo motivó a ocuparse en otro experimento: la fabricación de una esfera de cobre a la que se le podía colocar una bomba. Omitió el agua y bombeó directamente el aire. Cuando había extraído aparentemente todo el aire, la esfera se deformó de manera repentina (sufrió un efecto de compresión) debido a la presión atmosférica.

A partir de estos experimentos se llegó a crear el compresor de aire, el cual tuvo diversas aplicaciones, hasta que se inventó el compresor eléctrico hacia 1906. A partir de entonces este compresor ha presentado la siguiente evolución:

- 1906 – Ingersoll-Rand Company lanza el compresor Clase J, el primer compresor impulsado por motor eléctrico, con conexión directa.

- 1910 – Se lanza el compresor de cuatro etapas, Clase OC, para acumular presiones más altas para trabajo de procesos.

- 1915 – Se lanza el compresor impulsado por vapor Tipo XPV que utiliza un solo bastidor para el motor y compresor, incrementando la eficiencia.

- 1917 – Ingersoll-Rand Company ofrece el primer compresor centrífugo impulsado por turbina de alta presión para el servicio de la Marina de los Estados Unidos.

- 1925 – El compresor Tipo XG incorpora un motor de gas de cuatro ciclos conectado directamente a los cilindros de compresión para usar en campos petrolíferos y servicio industrial.

- 1929 – Se construye el primer compresor intermitente Tipo 30 de Ingersoll-Rand en Painted Post, Nueva York. (IR ya está celebrando 76 años de construir compresores Tipo 30).

- 1961 – Lanzamiento de los compresores de aire con rotor cicloide Spiro-Flo que suministran mayores volúmenes de aire de una manera más económica que los diseños antiguos.

- 1968 – Ingersoll-Rand Company lanza el compresor de aire centrífugo de 4 etapas sincronizadas integralmente.

- 1984 – Soluciones de Aire lanza los compresores rotativos serie "U". Esta innovación fue definida por un diseño una única fundición que incorpora todos los componentes del compresor y reguladores. La meta era eliminar fugas de lubricante y minimizar el tamaño del compresor.

- 2001 – Se lanza la línea de productos de compresores de aire NIRVANA. Esta innovación incorpora el uso de un Motor Híbrido de Magneto Constante (Irbid Permanent Magnet Motor®) y un VFD para ofrece un control preciso del compresor y ahorros de energía significativos comparado con los compresores tradicionales con velocidad constante.

- 2003 – Introducción del primer compresor centrífugo de alta presión para la industria del moldeado de plástico soplado.[1]

Compresor de aire, también llamado bomba de aire, máquina que disminuye el volumen de una determinada cantidad de aire y aumenta su presión por procedimientos mecánicos. El aire comprimido posee una gran energía potencial, ya que si eliminamos la presión exterior, se expandiría rápidamente. El control de esta fuerza expansiva proporciona la fuerza motriz de muchas máquinas y herramientas, como martillos neumáticos, taladradoras, limpiadoras de chorro de arena y pistolas de pintura.

En general hay dos tipos de compresores: alternativos y rotatorios. Los compresores alternativos o de desplazamiento se utilizan para generar presiones altas mediante un cilindro y un pistón. Cuando el pistón se mueve hacia la derecha, el aire entra al cilindro por la válvula de admisión; cuando se mueve

[1] Disponible en Internet: http://www.irco.com/assets/irworldpdf/72320.pdf

hacia la izquierda, el aire se comprime y pasa a un depósito por un conducto muy fino.

Los rotativos producen presiones medias y bajas. Están compuestos por una rueda con palas que gira en el interior de un recinto circular cerrado. El aire se introduce por el centro de la rueda y es acelerado por la fuerza centrífuga que produce el giro de las palas. La energía del aire en movimiento se transforma en un aumento de presión en el difusor y el aire comprimido pasa al depósito por un conducto fino.

El aire, al comprimirlo, también se calienta. Las moléculas de aire chocan con más frecuencia unas con otras si están más apretadas, y la energía producida por estas colisiones se manifiesta en forma de calor. Para evitar este calentamiento hay que enfriar el aire con agua o aire frío antes de llevarlo al depósito. La producción de aire comprimido a alta presión sigue varias etapas de compresión; en cada cilindro se va comprimiendo más el aire y se enfría entre etapa y etapa.[2]

4.2 ANTECEDENTES

El CPF CUPIAGUA inicia operaciones como planta de recibo, separación e inyección de gas en 1998. Para lo cual se hizo necesario la utilización de turbocompresores que pudieran elevar la presión del gas de 700 psig a 6000 psig en dos etapas de compresión.

Los compresores seleccionados para esta operación fueron de marca Nuovo Pignone BLC 504 y turbinas General Electric MS-500C. Cada compresor cuenta

[2] Biblioteca de consulta Encarta. 2005.

con capacidad de manejo de 500 mmscfd (millones de estándar cubic feet per day), generado 38,000 HP (Horse Power).

Para la puesta en marcha fue necesario traer personal extranjero especializado en la instalación, operación y mantenimiento, ya que en ese momento eran únicos en el país y no se contaba con el personal idóneo para realizar las labores antes mencionadas.

Los turbocompresores instalados en el inicio, al día de hoy, han cambiado en buena forma, pero muchos de estos cambios no se encuentran totalmente registrados, creando inconsistencias en la información dada por el vendor y la que se tiene en la realidad.

A lo largo de la operación, los operadores Colombianos, encargados de esta área han venido aprendiendo día a día de la operación de estos equipos, pero a un costo elevado por que las capacitaciones se han venido realizando en el extranjero(EE.UU. ,Alaska, Venezuela etc.) ,en parte debido a que la información no se ha podido clasificar o priorizar y además se encuentra en un idioma extranjero,

Todas estas personas son contratistas y que la empresa donde yo trabajo las ha ido capacitando a costos elevados,además de esto , los salarios de estas personas es demasiado alto y en tiempos de reducción de costos la empresa se ve en la necesidad y optó por no prescindir mas de sus servicios a mediano plazo(mientras nos certificamos como operadores), BP retomará estos cargos para suplir las necesidades que ahora se nos presentan,como es la de operar estos equipos pero el entrenamiento lo debemos hacer localmente a precios muy bajos.

5. LOS COMPRESORES CENTRÍFUGOS

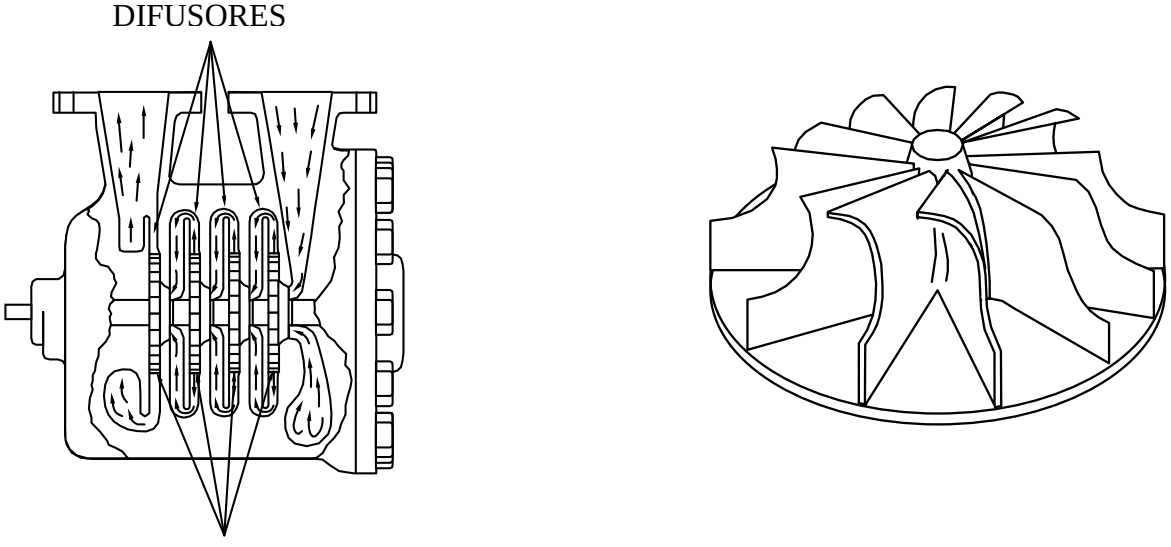
5.1 GENERAL

En la determinación del funcionamiento de los compresores centrífugos aplican, entre otros, los siguientes principios:

El compresor centrífugo maneja un rango de flujo entre 50 y 600 MCFM (Millones de pies cúbicos). Los compresores operan a velocidades de 3000 rpm. en adelante llegando hasta 40000 rpm. Es un factor limitante el esfuerzo del impulsor como también las limitaciones de velocidad de 0.8 y 0.85 de número Mach en condiciones del ojo y la boquilla del impulsor.

El compresor centrífugo se aproxima a las maquinas de cabeza constante y volumen variable, mientras que el reciprocante es volumen constante y cabeza variable. El compresor de flujo axial, de baja cabeza, cae entre los dos tipos. Ver figura 1.

Figura 1. El compresor centrífugo



IMPULSOR CENTRÍFUGO

IMPULSORES

El compresor es parte de un sistema, en este caso de reinyección de gas, y su funcionamiento es determinado por la resistencia (Presión) del sistema de inyección. La curva de funcionamiento del comprensor es similar a la curva característica de cabeza vs. Volumen de las bombas centrífugas. La forma de la curva es afectada por algunas variables como la relación de comprensión, tipo de gas, número de impulsores, dimensionamiento del compresor.

Básicamente el funcionamiento del compresor centrífugo, a velocidad distinta a la de diseño, es tal que la velocidad varia directamente con la velocidad, la cabeza desarrollada varia directamente con el cuadrado de la velocidad, y la potencia necesaria con el cubo de la velocidad. Son las leyes denominadas de afinidad.

Variando la velocidad el compresor centrífugo puede satisfacer cualquier condición de carga y presión demandada por el sistema de proceso dentro de los límites de operación del compresor y el motor o de la turbina. Normalmente esto se alcanza con máxima eficiencia puesto que solo la cabeza del proceso es desarrollada por el compresor.

5.2 CONSIDERACIONES DE PROCESO

En general la función del sistema de compresión de gas de reinyección es manejar el gas que sale de las plantas de deshidratación y entregarlo comprimido a 6300 psig (en Cusiana a 5800 psig,) Los compresores de media y alta presión funcionan en serie y esto corresponde a un tren, así mismo existen tres trenes de reinyección en cada campo que van conectados en paralelo y aumentan la carga desde 400 MSCFM a 1100 MSCFM.

5.2.1 Principios. Típicamente cada compresor de media presión está diseñado para entregar 430 MMSCFD de gas a presión de descarga 2465 psig a la succión del compresor de alta presión, a temperatura ambiente de 95 grados Fahrenheit. Para incrementar la capacidad de manejo del compresor de alta presión, el enfriador de descarga del compresor de media presión está previsto para enfriar el gas comprimido hasta la temperatura de 120 Fahrenheit.

Los compresores de alta presión están diseñados para manejar 430 MMSCFD a una presión de descarga de 6285 psig. Están provistos de cabezales comunes de succión, interetapas y descarga, para permitir el cruce de flujo desde los compresores de media presión en una serie, hasta los compresores de alta presión en otra serie.

5.2.2 Datos De Carga. Las condiciones de carga y el flujo de gas al sistema de reinyección, dependen de las condiciones de operación de las corrientes durante la vida útil de la producción. A una temperatura ambiente de 95 grados Fahrenheit, la carga está a 875 psig y 117.4 grados a la succión, para los compresores de media presión, y a una temperatura de 120 grados y 2475 psig para los compresores de alta presión.

Las siguientes tablas resumen las condiciones típicas incluyendo la capacidad, velocidad, y potencia disponible en la turbina a una temperatura ambiente específica de los diferentes casos.

Tabla 1. Condición de carga, capacidad y potencia disponible en turbinas a gas para compresores de media presión.

Caso	T. Ambiente	Flujo MMFSD	Presión Succión Psig	Temp.. Succión. OF	Presión Descarga Psig	Velocidad %	Eficiencia Politropica %	Potencia en Turbina HP	Perdidas de potencia %	Potencia requerida BHP
Nominal	95	408.8	875	117.4	2462	94	75.5	30020	91	27280
Normal (1)	95	390	875	117.4	2449	93	75.5	29880	87	25920
A	75	484.3	875	98	2543	96	75.3	32800	97	31990
B	59	516	875	85	2616	97	75.1	34980	98	34275
2MP/HP	95	266	875	117.4	2800	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)

Tabla 2 Condición de carga, capacidad y potencia disponible en turbinas a gas para compresores de alta presión

Caso	T.Ambiente	Flujo MMFSD	Presión Succión Psig	Temp. Succión OF	Presión Descarga Psig	Velocidad %	Eficiencia Politropica %	Potencia en Turbina HP	Perdidas de potencia %	Potencia requerida BHP
Nominal	95	390	2431	120	6300	93	71.8	29880	88	26290
A	75	484.3	2517	120	6300	98	70	33100	98	32415

B	59	516	2588	120	6300	99	68.7	35310	98	34490
2MP/HP	95	266	2780	120	6300	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)

(1) este dato está basado en la hoja de datos preliminar del compresor. Condición de operación basado en 340 MMSCFD.

(2) Los datos de garantía de funcionamiento son dados por el vendedor.

5.3 DESCRPCION DEL COMPRESOR CENTRÍFUGO NUOVO PIGNONE

Los compresores centrífugos Nuevo Pignone instalados en las plantas de Cusiana y Cupiagua, son accionados por turbinas a gas tipo MS 5002, las cuales van acopladas a los compresores por medio de una caja de engranajes y acoples.

El compresor consta de dos partes: Una parte móvil denominada rotor o bundle, en el cual van instalados los impulsores (impellers) y el tambor de balance, una parte estática denominada carcaza, en la cual van las acopladas las ígneas de succión de gas y de descarga, que permite mantener en equilibrio el rotor cuando empieza a ejercer presión debido a la presión de descarga.

5.3.1 El rotor. Consiste de un eje con impulsores y espaciadores. Los espaciadores están soportados en el eje y posicionan axialmente los impulsores y protegen las secciones del eje entre impulsores, evitando el contacto con el gas. El impulsor es la parte del compresor centrífugo que comunica velocidad al gas. Los impulsores son del tipo cuchillas hacia atrás encerradas y están soportadas y aseguradas en el eje.

Antes de ser montados sobre el eje, cada impulsor debe ser balanceado dinámicamente y probado a una velocidad 15 % más alta que la velocidad continua máxima.

Durante la operación del compresor el rotor está sometido a un empuje axial en la dirección de la succión y generando por la diferencia de presión que actúan sobre los soportes y discos de cada impulsor. La mayor parte del empuje se equilibra con el tambor de balance. El empuje axial resultante es absorbido por las chumaceras de empuje.

5.3.2 El Tambor de Balance. El rotor del compresor centrífugo está sujeto a un empuje axial hacia el extremo de succión debido a la presión diferencial generada entre el disco y la tapa de cada impulsor.

La mayor parte del empuje está contrarrestado por el tambor de balance montado en el extremo del eje adyacente al impulsor de la última etapa. El tambor de balance y el sello de laberinto relevante forman junto con el sello del laberinto extremo del eje la cámara de balanceo.

Esto es realizado sometiendo el área del lado externo del tambor de balance a una presión baja (aproximadamente la presión de succión), por consiguiente creando una presión diferencial opuesta en dirección a la de los impulsores.

El tamaño del tambor es tal que el empuje axial, aunque no es completamente compensado, se reduce considerablemente, el empuje remanente es absorbido por la chumacera de empuje, lo cual asegura que el rotor no puede moverse en dirección axial. El tambor de balance es puesto térmicamente sobre el eje. Los impulsores, las mangas de esparcimiento y la estructura del tambor de balance se sostienen sobre el eje por medio de un collar de aseguramiento. Después de que

el tambor de balance esta acopiado al rotor, el conjunto debe balancearse nuevamente.

5.3.3 La Carcaza. La carcaza del compresor es en forma de barril cerrada y terminada por dos bridas verticales (cabezas de la carcaza).

Las cabezas de la carcaza y los acabados de las superficies de la misma están realizados para facilitar el ensamblaje. Las boquillas de succión y descarga están soldadas a la carcaza. Dos cabezas de la carcaza instaladas en sus extremos contienen las chumaceras del motor y la protección para los sellos extremos lo cual previene el escape de gas de la carcaza. Las cabezas de la carcaza instaladas en los extremos cubren las chumaceras del rotor y los sellos de los extremos los cuales evitan el escape de gas de la misma.

5.3.4 Los Diafragmas. La montura de los diafragmas alrededor de la estructura del rotor forman partes estacionarias de las etapas de compresión. Los pasos anulares a través de los diafragmas constituyen los difusores, donde la energía cinética del gas a la salida del impulsor se convierte en presión. Estos pasos constituyen también canales de retorno que convergen eficientemente el gas al ojo de los impulsores. Todos los diafragmas están divididos en mitades por la línea del centro horizontal; las mitades a su vez están repartidas en una contra la carcaza constituyendo dos haces de mitades separadas.

Las mitades superiores de los diafragmas están puestas en su sitio en la contra carcaza por un grupo de tornillos en la línea del centro, lo cual permite levantar la mitad superior de la carcaza sin dañar los diafragmas.

Los sellos de laberinto están instalados en los diafragmas en todos los puntos internos de tolerancia estrecha con el fin de minimizar los pases de gas desde la descarga hasta las áreas de presión de los impulsores.

Los sellos de tipo anillo, instalados en las ranuras maquinadas en la periferia de la contra carcaza evitan el paso de gas de alta presión a áreas de presión menor.

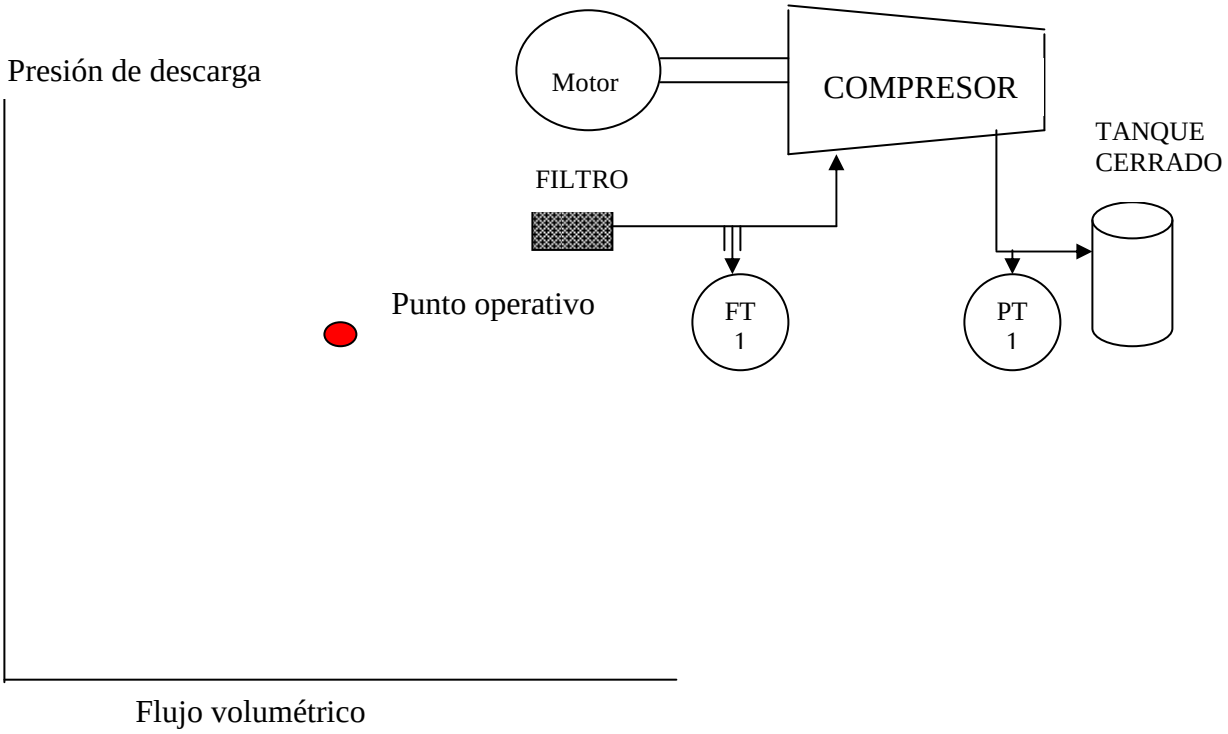
Adicional a estas partes mencionadas anteriormente el compresor cuenta con: las chumaceras de tapas y de empuje, los sellos de laberinto interno, sellos de extremo del eje o sello de aceite, el sistema de aceite lubricante, el sistema de aceite de sellos, las líneas de igualación de presión y la instrumentación adecuada para su normal funcionamiento, cuya descripción se encuentra más detallada en el manual del fabricante.

6. SISTEMA DE CONTROL ANTISURGE

6.1 VISION GENERAL

Este capitulo del proyecto describe las capacidades generales y aplicaciones principales del sistema de control antisurge desarrollado por Compresor Control Corporación mediante la utilización del controlador Serie 3 plus. En la figura 2, se puede observar el diagrama básico de un compresor.

Figura 2. Diagrama básico de un sistema de control de un compresor.



Fuente: Fuente: OGATA, Katsushiko. Discrete Time Control Systems

6.2 OBJETIVOS DEL SISTEMA DE CONTROL ANTISURGE

Los objetivos principales de un sistema de protección de surge de un compresor centrífugo son:

6.2.1 Aumento de la contabilidad de la maquinaria y del proceso. Para lograr esto el sistema debe cumplir con los siguientes objetivos:

- Prever disparos de proceso innecesarios y tiempo improductivo
- Minimizar perturbaciones de proceso
- Prever el fenómeno de surge y sus daños
- Simplificar y automatizar el arranque y paro de los compresores
- Evitar daños al compresor centrífugo inducido por el fenómeno del surge y ocasionar daños al proceso sin sacrificar la eficiencia de energía o la capacidad del sistema.

6.2.2 Aumento de la eficiencia de la maquinaria y el proceso. Para llevar a cabo el aumento en la eficiencia se debe cumplir:

- Operar en los niveles de energía mas bajo posibles
- Minimizar la recirculación o venteo antisurge
- Minimizar la desviación del punto de ajuste
- Maximizar la productividad usando toda la potencia disponible

- Mantener variables limitantes del proceso seleccionadas dentro de los rangos seguros y aceptables.

6.2.3 Principales desafíos del sistema de control. Los principales retos del sistema de control son:

- Optimizar la repartición de carga de unidades múltiples
- Ubicación de la línea limite de surge
- Alta velocidad de acercamiento de surge
- Interacciones de los lazos de control
- Repartición de carga para sistemas múltiples de compresores
- Coordinación del control del compresor y del impulsor.

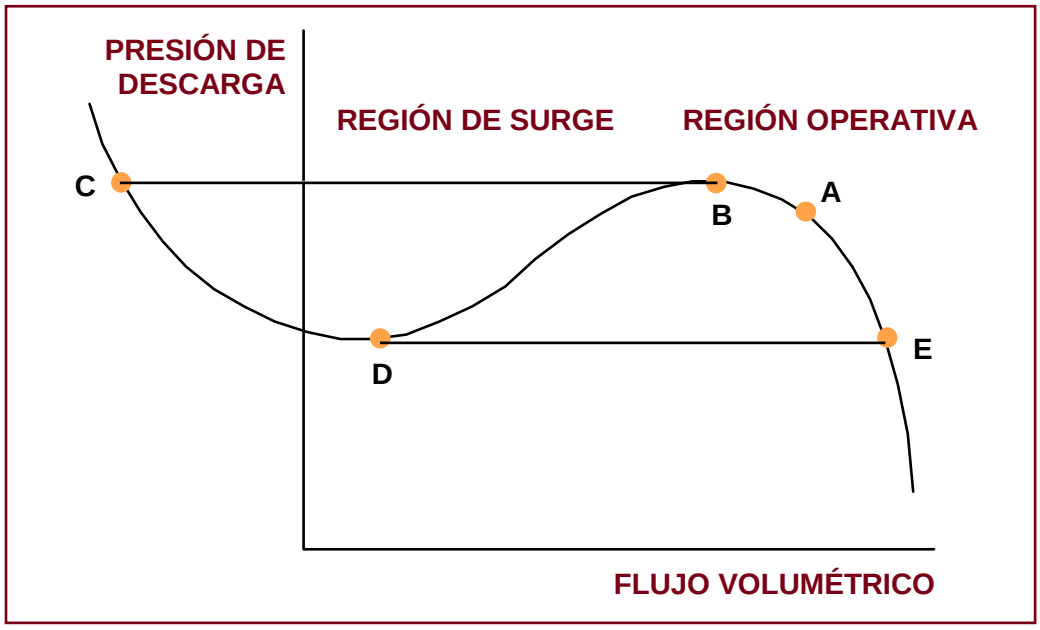
Para lograr estos objetivos, el sistema de control antisurge maneja la posición de una válvula de reciclo denominada también válvula de purga con el fin de mantener la rata de flujo volumétrica por encima de un nivel seguro mínimo.

El surge ocurre cuando la rata de flujo cae por debajo de un nivel mínimo que corresponde a la presión máxima de descarga de los compresores. Una vez inducidas, la rata y presión de flujo oscilaran drásticamente hasta que se retire la causa, los dispositivos de protección apaguen la maquina o se presente una falla catastrófica. Las cargas excesivas al rodamiento de empuje e impeler la vibración y el aumento de temperatura del gas asociado con el surge pueden producir descomprensaciones del proceso y causar daño severo al compresor si se experimentan mas de un poco de ciclos de surge.

6.3 EL FENÓMENO DEL SURGE

6.3.1. Definición del surge. Es la auto-oscilación de la presión y del flujo, que incluye una reversión de flujo. La reversión de flujo en surge es el único punto de la curva en que la presión y flujo caen simultáneamente. En la figura 3, se puede observar que el flujo invierte su movimiento en aproximadamente 20 a 50 milisegundos, es decir, pasa de B a C en ese tiempo. Los ciclos de surge (de B a B) son a razón de 1/3 a 3 hertz.

Figura 3. El fenómeno del surge.



Fuente: Fuente: OGATA, Katsushiko. Discrete Time Control Systems

6.3.2 Efecto surge. Los resultados sobre un compresor después de que sucede un ciclo de surge se pueden observar en la Fig. 4, sin embargo, estos pueden llegar a ser catastróficos en cuanto al daño del compresor mismo y las pérdidas de producción asociadas pueden ser muy grandes.

Los efectos del efecto surge se pueden observar también sobre el compresor en el momento en que ocurre porque se presentan algunas de las siguientes condiciones:

- El compresor vibra. La reversión de flujo crea un contra flujo que unido a la velocidad del compresor y a la capacidad de carga en ese momento hace que el compresor sufra Vibraciones axiales y radiales.

.

- La temperatura aumenta, al tratar de regresarse el flujo de gas, sin pasar por los acroenfriadores respectivos se ocasiona un aumento en la temperatura del mismo.

- Ruido impetuoso del compresor. El ruido agudo que se presenta debido al contra flujo y a la reversión son característicos del momento y el estrés que sufre el compresor en el momento del surge.

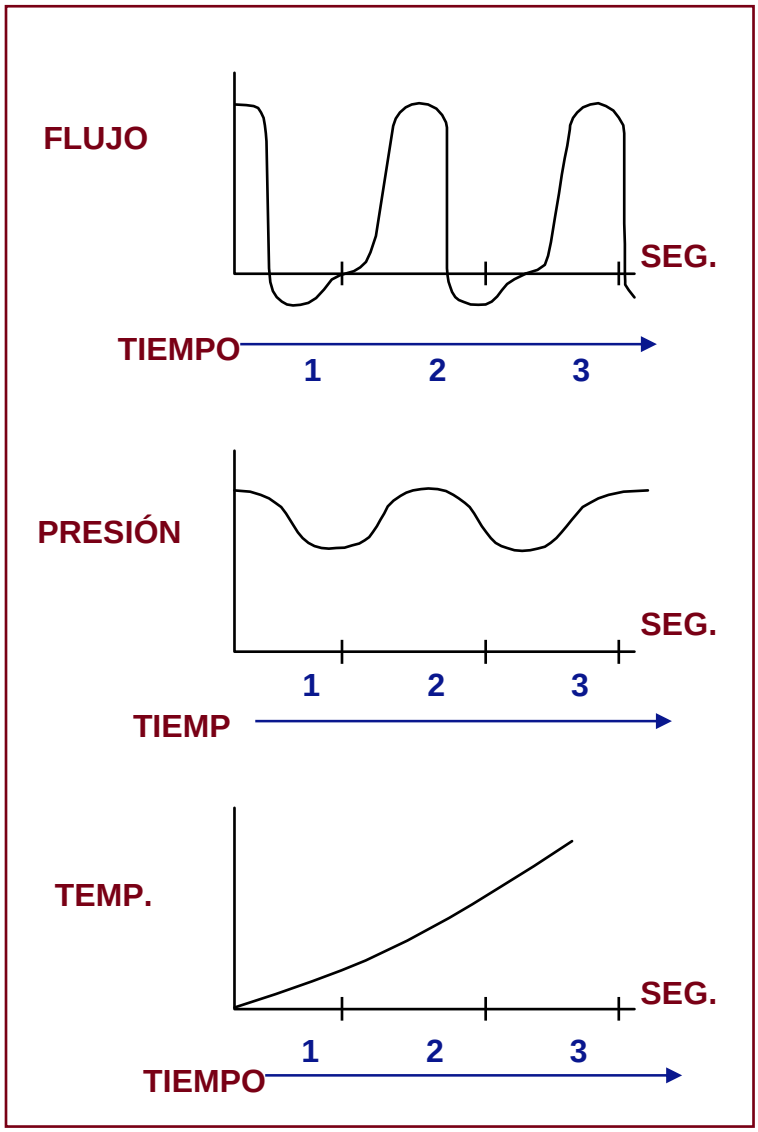
- Flujo y presión inestables. Como es de esperarse el surge al cumplir un ciclo de disminución y aumento intempestivo del flujo y de la presión contribuye a que todo el sistema se vuelva inestable y ocasione en algunos casos disparos de otros compresores.

El fenómeno del surge en el compresor, las condiciones bajo las cuales este ocurre y los métodos para evitarlo se ilustran mejor graficando los mapas de eficiencia del compresor en las coordenadas de la cabeza poli trópica (HP) contra el flujo volumétrico en la succión al cuadrado (Q52).

La cantidad de energía adicionada al gas (y por consiguiente la magnitud del incremento resultante de la presión) se pueden relacionar con la rata de flujo por medio de las curvas de eficiencia, cada una correspondiendo con una combinación específica de velocidad rotacional y geometría del compresor.

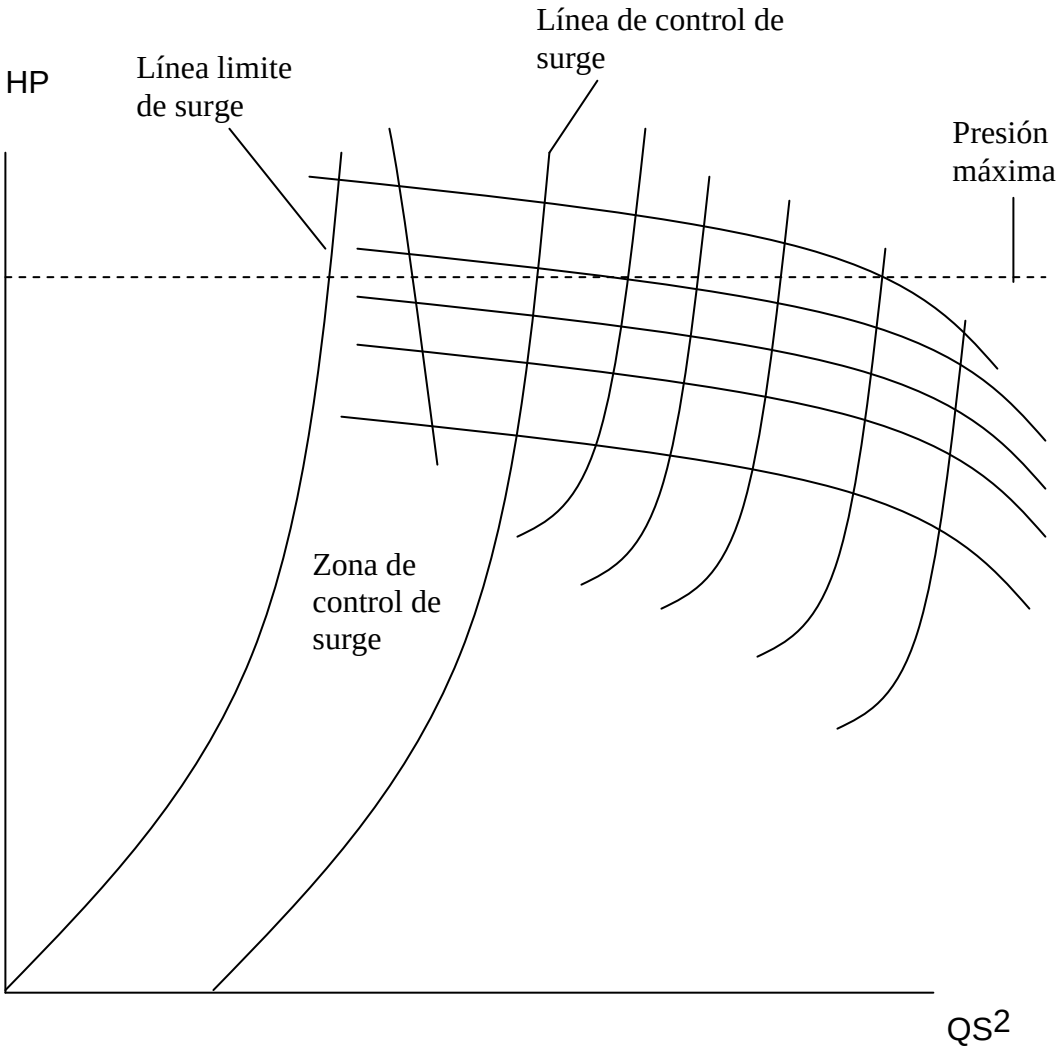
Similarmente las líneas de resistencia constantes se relacionan con la rata de flujo y la cantidad de energía requerida para superar la resistencia de las diferentes combinaciones de la tubería de entrada y salida, válvulas de control, contrapresiones y dispositivos de operación.

Figura 4. Efectos del Surge



Fuente: Fuente: OGATA, Katsushiko. Discrete Time Control Systems

Figura 5. Acciones del controlador antisurge



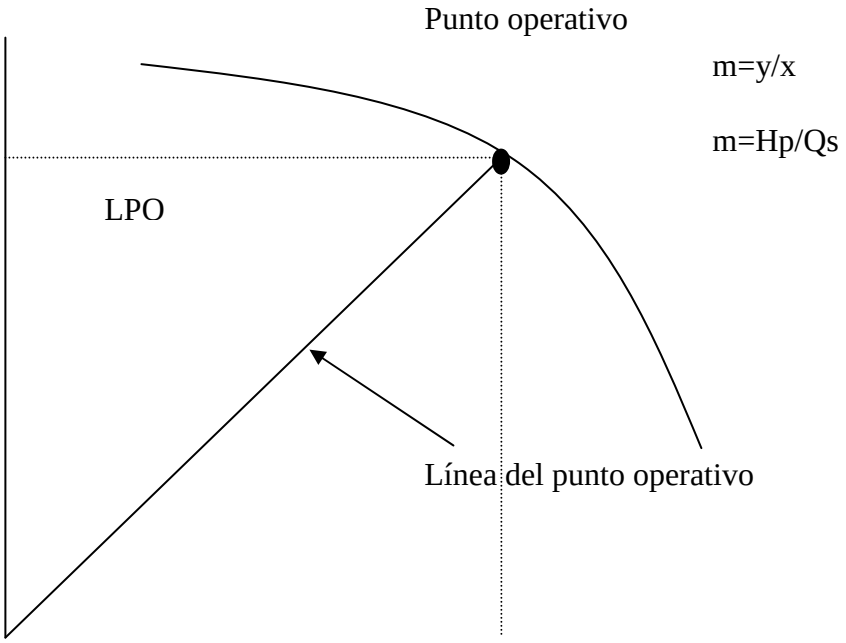
Fuente: OGATA, Katsushiko. Discrete Time Control Systems

En cualquier instante dado, la eficiencia del compresor puede estar representada por una curva sencilla de eficiencia y la resistencia de la red de trabajo se puede representar en una línea sencilla de resistencia constante. La intersección de estas dos curvas se denomina punto de operación.

A medida que se incrementa la resistencia de la red, el punto de operación se moverá a lo largo de la curva de eficiencia hacia la izquierda. Eventualmente, un punto de flujo mínimo estable y de aumento máximo de presión es encontrado-operando el compresor al lado izquierdo de este punto se puede inducir al surge. Para cualquier curva de eficienciaada, el punto de flujo mínimo y presión máxima se conoce como el punto límite de surge. La localización de tales puntos define una curva conocida como la línea límite de surge (SLL) como se muestra en la figura 5.

La tarea del controlador antisurge es mantener el punto de operación a la derecha De la línea límite de surge. Esto se lleva a cabo abriendo una válvula de reciclo para purgar suficiente gas para mantener la rata de flujo mínima requerida y las condiciones de proceso estables. Ver figura 6.

Figura 6. Diagrama del punto operativo.



Fuente: OGATA, Katsushiko. Discrete Time Control Systems

Sin embargo, puesto que las dinámicas del sistema son inherentemente lentas, esta acción de control debe ser comenzada antes que el punto de operación llegue al límite del surge. El punto al cual el controlador comienza a abrir la válvula se conoce como el punto de control de surge. La localización de todos estos puntos define una línea de control de surge (SCL) , la distancia entre la SCL y SLL, se denomina como el margen de seguridad, y la región a la izquierda de la SCL , se conoce como la zona de control de surge. Ver figura 5. La apertura de la válvula de reciclo debe ser incrementada siempre que el punto de operación se encuentre en la zona de control de surge.

Por ejemplo, supongamos que el compresor de la figura 5 se encuentra operando en el punto 1 con la válvula antisurge completamente cerrada. Si se incrementa la resistencia de la red de trabajo sin cambiar la velocidad rotacional o la posición del alabe guía, el punto de operación se moverá a la izquierda a lo largo de la curva de eficiencia a través del punto 1.

Si la resistencia de la red de trabajo se incrementa suficientemente alto, el punto de operación se moverá a la izquierda de la línea de control de surge (quizás al punto 1'). En este punto, el sistema de control podría no reaccionar suficientemente rápido para evitar un disturbio repentino que produzca el surge. Con el fin de restaurar un margen adecuado de seguridad, el controlador debe abrir la válvula antisurge lo suficiente para mover el punto de operación a 1".

En forma contraria, si el compresor se encuentra operando en el punto 1 con la válvula de reciclo parcialmente abierta, la energía utilizada para comprimir el gas que pasa a través de esta válvula necesariamente se está malgastando. Por consiguiente, el controlador debe cerrar la válvula todo lo que sea posible sin mover el punto de operación dentro de la zona de control de surge. En algunos casos la válvula puede ser cerrada completamente, produciendo un nuevo punto de operación tal como 1''' , en otros casos, el punto de operación alcanzará la línea de control de surge mientras la válvula se encuentra parcialmente abierta, resultando un nuevo punto de operación en 1''.

En algunas aplicaciones, posiblemente sea necesario utilizar el controlador antisurge para regular la variable limitadora de proceso (tal como la presión de descarga). En tales casos, la válvula antisurge ocasionalmente será abierta mas de lo necesario para evitar el surge, sacrificando por consiguiente la eficiencia de la energía con el fin de lograr el control limitante deseado. Como se puede observar en el punto 2", satisfaciendo ambos objetivos de control.

Tabla 3. Asignación de datos

GRUPO DE DATOS	**PAGINA DE DATOS**	**ABREVIATURA**
PID	ANTISURGE	PID:A
RESPUESTA	ANTISURGE	SPEC:A
ESPECIAL	ANTISURGE	MODO:A
MODO	DISPOSITIVO	MODO: D
	ANTISURGE	COND: A
CONDICIONAMIENTO	DISPOSITIVO	COND: D

Por ejemplo, asumamos que el compresor en la figura 4. se encuentra operando en el punto 2. Si se incrementa la resistencia de la red de trabajo, la cabeza poli trópica (y por consiguiente la presión de descarga) también aumentara, quizás

hasta el punto 2". Bajo tales condiciones, la válvula antisurge se abrirá para reducir la presión, aunque no exista peligro de surge en el compresor. Se establecerá un nuevo punto de operación den el punto 2".

6.3.3 Aplicaciones del controlador antisurge. Para una protección de surge adecuada, cada sección de un compresor centrífugo debe estar protegida por u propio controlador antisurge. La disponibilidad del proceso puede entonces ser mejorada adicionalmente utilizando controladores redundantes (es decir en línea).

Cuando una maquina multisección tenga solamente una válvula de reciclo o purga se deben proporcionar controladores antisurge separados para cada sección. La válvula sencilla debe entonces ser abierta adicionalmente para satisfacer los requerimientos de protección de bombeo de la sección más cercana a su limite de surge. Con los controladores antisurge, esto se puede llevar acabo utilizando la característica de la válvula compartida.

En una aplicación multicompresor (carga compartida), los controladores no solamente protegen los compresores individuales del surge, sino también:

- Adicionan una respuesta de carga compartida a sus salidas cuando abrir válvulas de reciclo es la mejor forma de lograr una reducción requerida en el producido general.

- Calcular las variables que el sistema general utiliza para mantener todos los compresores equidistantes del bombeo. (Balanceo de cargas).

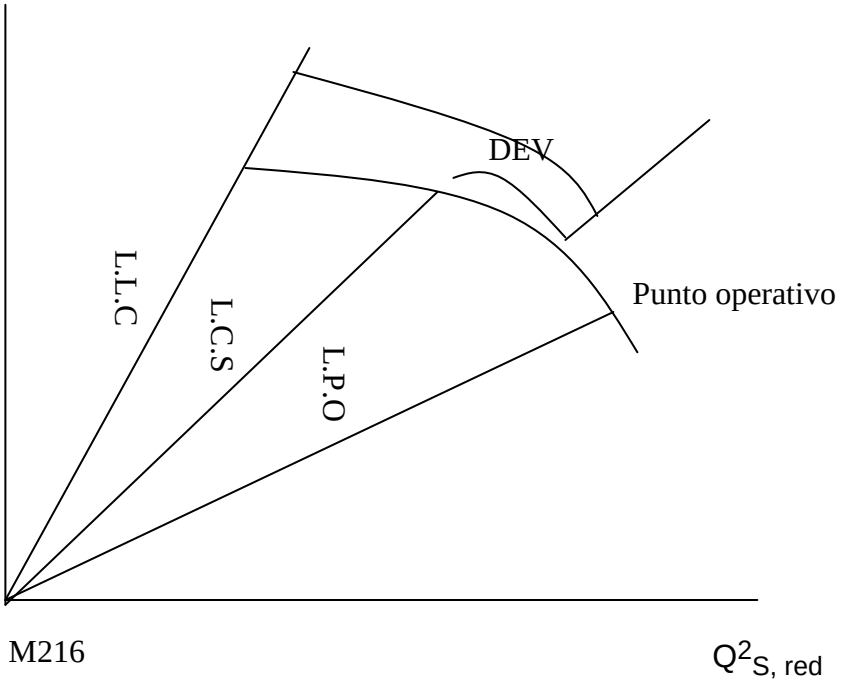
- Cooperar para mantener las ratas de reciclo relativas del compresor en forma igual. (Balanceo de reciclo).

En aplicaciones de carga compartida en paralelo, se puede utilizar los controladores antisurge adicionales como un controlador de reciclo frío que regule las ratas de flujo a través de un intercambiador de calor de reciclo compartido.

En todas las demás aplicaciones, los controladores antisurge también pueden proporcionar control limitante de sus presiones de descarga máxima y de succión mínima. Si una válvula antibombeo también fuese el mejor elemento de control para otra variable limitante, se puede utilizar un controlador de eficiencia para adicionar un anillo de control limitante auxiliar a un controlador antisurge.

6.3.4 Distancia al surge (Desviación). Con el fin de proteger un compresor del bombeo con un reciclo de desgaste mínimo, un controlador antisurge debe tener la capacidad de determinar de manera precisa que tan cerca está operando el compresor a su límite de surge. Ver figura 7.

Figura 7. Línea de control de surge y el margen de seguridad.



Línea de control de Surge y el márgen de seguridad

Fuente: CHEN, Cffl TSONG, Linear System Theory and Design.

Sin embargo esta distancia no puede algunas veces ser medida, tal como la relación de compresión o la caída de presión a través del medidor de flujo 1 En lugar de esto, esta es una función compleja de aquellas variables, más la composición del gas, temperatura de succión y la presión, velocidad rotacional y ángulo del alabe guía.

El sistema de control antisurge, calcula la proximidad al bombeo utilizando una función multivariable que no varía con los cambios en todas las condiciones. La variable de control resultante, la cual es esencialmente la pendiente normalizada de una línea desde el origen del mapa de eficiencia hasta el punto de operación se denomina como Ss:

Ss=K. F (Hp, red) Qs2, red

Cuando el compresor se encuentra operando a su límite de surge, Ss será uno. Si Ss excede ese nivel, el compresor causará surge. Por consiguiente, la localización de los puntos para los cuáles Ss = 1 es conocido como la línea límite de surge (SLL).

Puesto que este cómputo inicial con frecuencia puede ser simplificado (es decir asumiendo una velocidad rotacional constante), el controlador ofrece una variedad de funciones de aplicación (a.k.a, modos fA), cada uno de los cuales requiere una combinación especifica de señales de entrada.

El controlador antisurge ofrece también numerosas estrategias de FALLBACK para calcular la proximidad al surge cuando las fallas de comunicación seriales o de entrada análoga impidan utilizar el algoritmo de computo inicial seleccionado. Esto lo habilita para continuar protegiendo su compresor del surge hasta que se pueda restaurar la entrada que presenta fallas.
Para propósitos de control y presentación en pantalla, Ss se convierte entonces en una variable de desviación (DEV9, adicionando un margen de seguridad de la variable, complementando el resultado y aplicando un bias de la zona muerta.

Cuando la distancia entre el punto de operación y el limite de surge sea igual al margen de seguridad deseado, la desviación es cero. Una desviación negativa significa que la rata de flujo necesita ser incrementada, mientras que una desviación positiva significa que se puede disminuir (si esta no es ya de cero). Por consiguiente, la localización de los puntos para los cuales DEV=0 se conoce como la línea de control surge (SCL).

Cuando se utiliza para el control de reciclo frió (fA 000), un controlador antisurge utiliza el valor mas alto de S reportando por cualquiera de los controladores antisurge compañeros, en lugar de calcular un Ss de sus propias entradas análogas.

6.3.5 Respuestas del control de surge. El controlador antisurge emplea una combinación única de respuesta de control que pueden evitar el surge sin descompensar innecesariamente su proceso o requerir un margen de seguridad grande, con mal gasto de energía.

Para perturbaciones pequeñas, lentas, una respuesta generalmente proporcional integral (PI) usualmente es suficiente para proteger el compresor se mueva hacia

el surge. También sirve para cerrar la válvula antisurge cuando la maquina se retire del limite de surge.

El algoritmo PI se utiliza en lugar del PID debido a que una respuesta derivativa estándar abriría la válvula antisurge en cualquier momento que el compresor se mueva hacia el surge. Inclusive si no existiera real peligro de surge. Esto resultaría en un reciclo que produzca un malgasto innecesario de energía.

En consecuencia los controladores antisurge utilizan una respuesta derivada especial para tener en cuenta las perturbaciones rápidas incrementando el margen de seguridad (en lugar de la respuesta de control). Esto resulta en una rata de reciclo incrementada solamente cuando el punto de operación se encuentre en o cerca de la línea de control de surge.

Si las respuestas combinadas PI y respuestas derivadas se encuentran habilitadas para mantener un margen adecuado de seguridad, los escalones de respuesta de disparos de reciclo de lazo abierto adaptables abrirán la válvula antisurge en pasos rápidos, y repetidos que están basados en la rata instantánea de acercamiento al limite del surge. Esto proporciona el flujo agregado suficiente para evitar el surge. Esto proporciona el flujo agregado suficiente para evitar el surge sin interrumpir innecesariamente el proceso.

Finalmente si las circunstancias anticipadas producen un surge, la respuesta Safety On Define nuevamente el limite de surge para suspenderlo después de un ciclo sencillo. Para evitar surges futuros, este margen de seguridad permanece efectivo hasta que el operador lo reposiciones.

6.3.6 Selección de la señal PI y RT. Puesto que con frecuencia existen varios objetivos de control que se pueden incumplir abriendo una válvula antisurge, cada

controlador de antisurge puede ser configurado para seleccionar de varias respuestas proporcionales, integrales y de disparo de reciclo (recycle trip) diferentes:

- Respuestas de control proporcional recycle trip y control antisurge
- Respuestas de control proporcional, integral y de control limitante
- La respuesta P y 1 de un controlador de eficiencia de control limitante auxiliar
- La respuesta Proporcional Integral de una respuesta de control de desconocimiento de presión del controlador
- Las respuestas P,1 yRT de cualquier controlador de válvula compartían acompañante

Seleccionando individualmente las respuestas mas altas, P, Integral y RT de estas fuentes diversas, el controlador antisurge mantiene automáticamente la rata de reciclo suficientemente alta para cumplir sus objetivos de control sin comprometer la protección de bombeo que este proporciona para su propio compresor.

6.3.7 Control variable limitante. El controlador puede ser configurado para limitar cualquiera de las presiones de máxima descarga y de mínima succión. Si se habilita la limitación de la presión de descarga, se utiliza el algoritmo PI para calcular una respuesta tomando como base su desviación por encima del umbral de control, esta respuesta será cero.

Si se habilita la limitación de la presión de la succión, se utiliza el mismo mecanismo básico para controlar la variable cuando esta cae por debajo de un umbral mínimo definido por el usuario. Cuando existen otras restricciones del proceso que puedan ser cumplidas operando una válvula antisurge, un controlador

de eficiencia puede ser configurado para regularlas llevando su salida a un pool de selección PI del controlador antisurge.

6.3.8 Control de desconocimiento de la presión. Cuando la presión de descarga o flujo sea mínima o la presión de succión muy baja, se puede lograr el control acelerado abriendo las válvulas de reciclo seleccionadas. En los controladores antisurge en estudio, esto se implementa como un algoritmo cooperativo que se denomina control de desconocimiento de presión (POC). Se puede utilizar en aplicaciones de compresor sencillo o múltiple.

El controlador de eficiencia o estación utiliza un algoritmo lateral, proporcional-integral (PI) para calcular una respuesta POC que siempre es cero, al menos que su variable de control primaria vaya más allá del punto de ajuste del POC. Esta respuesta se lleva entonces al puerto 2. Cualquier controlador antisurge que haya sido configurado para utilizar esta señal la incluirá entonces en su algoritmo de selección de señal PI.

6.3.9 Válvula compartida. Cuando un compresor multisección tiene solamente una válvula de reciclo, se debe instalar un controlador antisurg dedicado para cada sección. La válvula compartida puede entonces ser utilizada para mantener la rata de reciclo lo suficientemente para proteger siempre que la sección se encuentre más cerca de su límite de surge.

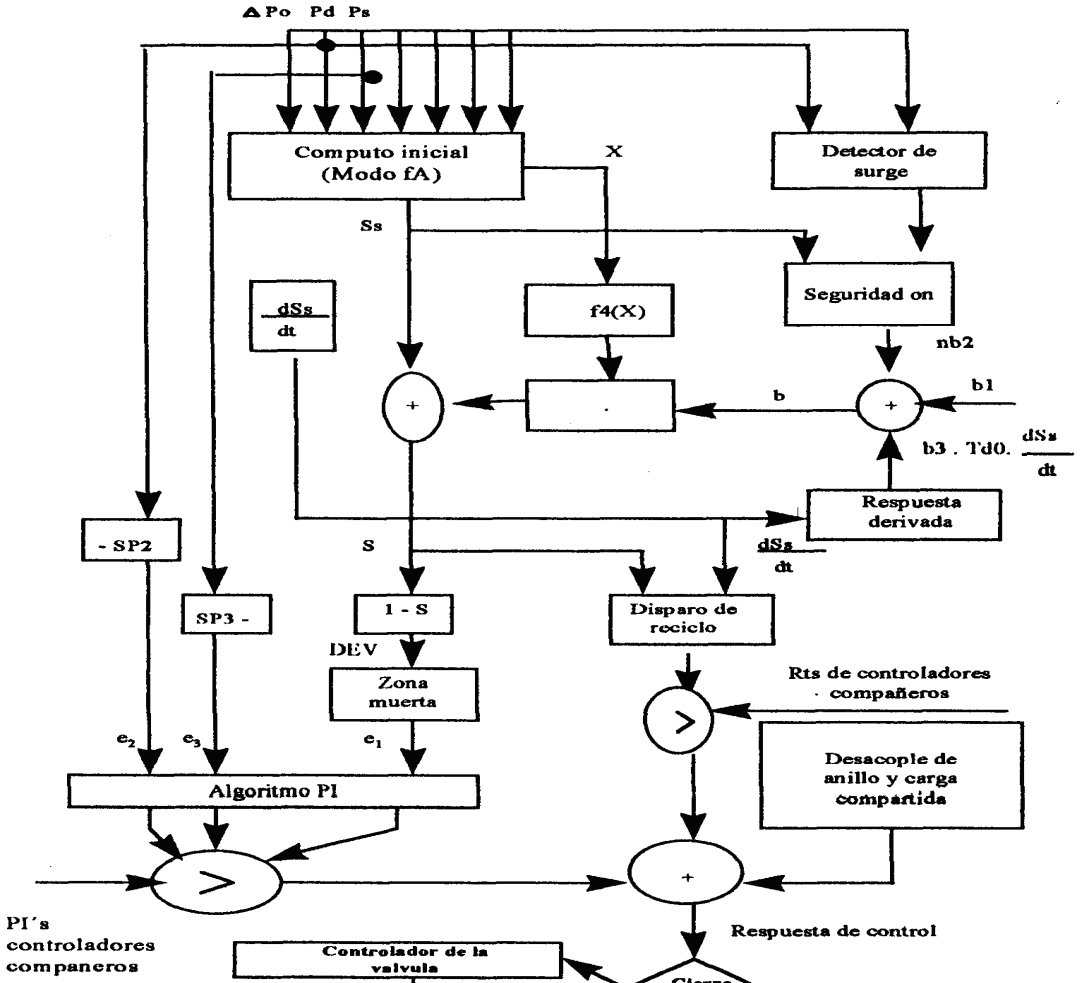
En una aplicación de carga compartida, el controlador de estación regula la salida general (es decir presión de cabezal o rata de flujo) de los compresores manipulando indirectamente sus elementos de control regulación y antisurge. Esto se realiza por medio de cambios en la respuesta de control hacia los controladores de carga compartida y antisurge, la cual lo utiliza como base para su respuesta de carga compartida. La respuesta de carga compartida de los controladores de antisurge es solamente diferente de cero cuando el controlador de la estación requiere una salida reducida y los compresores se encuentran

operando ya cerca en sus límites de control de surge. Adicionando esta respuesta a las respuestas seleccionadas PI y RT entonces se reduce la presión de descarga general o el flujo incrementando la rata d reciclo.

Además el algoritmo de balanceo de carga implementado en los controladores de estación y de carga compartida se basa en una variable de distancia desde el bombeo o flujo de masa calculada por el controlador antisurge. Para compresores en paralelo, los controladores antisurge también pueden ser configurados para igualar las ratas de reciclo (cuando no son cero utilizando una variación del algoritmo de selección de señal PI y RT). Ver figura 8.

En tales aplicaciones, el controlador que manipula directamente la válvula de control se denomina como el controlador antisurge primario. Los controladores antisurge secundario entonces llevan la respuesta de control al pool de selección PI y RT del controlador primario.

Figura 8. Diagrama funcional simplificado del controlador antisurge



6.3.10 Desacople de lazos. Un máximo de ocho controladores puede ser utilizados para controlar y proteger cualquier tren de turbo maquinaria. Los efectos destabilizadores potenciales que podrían resultar de las interacciones entre estos

Fuente: OGATA, Katsushiko. Discrete Time Control Systems

un desacople de lazo. Cada controlador comunica sus acciones de control a los demás a través del puerto 1 serial. Cada controlador antisurge calcula entonces una respuesta de desacople de lazo (LD) tomando como base las acciones de control de sus compañeros.

6.3.11 Respuesta y señal de control. La respuesta de control se calcula combinando las respuestas seleccionadas PI y RT con las respuestas de carga compartida y de desacople de lazo (donde sea aplicable).

CR = PI + RT + LS + LD

Si es necesario la porción integral de la respuesta PI se ajusta para mantener la respuesta de control total dentro del rango definido por el aseguramiento de salida (lo cual también evita un desenlace integral).

Se calcula entonces la señal de control aplicando cualquiera de las siguientes transformaciones opcionales para comprensar características no deseadas de su elemento de control.

- La salida inversa adapta la señal de control a una válvula de falla en la posición abierta

- Las características de la válvula de lineal adaptan el controlador a las válvulas de apertura rápida o igual porcentaje

- La compensación de banda muerta de la válvula contrarresta cualquier banda muerta de la válvula de control resultante del desgaste i imperfecciones de diseño

- El cierre hermético compensa escapes de las válvulas o características de flujo erróneo cuando se abren raramente.

Si no se habilita ninguna de estas características, la respuesta de señal y de control será igual.

6.3.12 Entradas análogas y directas. El controlador antisurge tiene ocho entradas análogas (CH1 hasta CH8) y siete entradas discretas D1 hasta D7). La unidad de procedimiento central del controlador CPU comienza cada ciclo de Scan leyendo sus valores actuales.

Las entradas análogas son escalonadas para obtener la señal y las variables del proceso requeridas por los algoritmos de control. La prueba del trasmisor determina entonces cual de sus entradas se encuentran por fuera de sus rangos aceptables definidos por el usuario.

Tabla 4. Asignamiento de salidas Análogas

Fa	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7

00	Po	Pc					
01	Po	Pc					
02[2]	Po	Pd		N			
31	Po	Pd	Ps				
32	Po	Pd	Ps	N			
33[3]	Po	Pd	Ps	N			
34	Po	Pd	Ps	N	Ps-		
35	Po	Pd	Ps	N			
36	Pos	Pd	Ps		Td	Ts	
37	Pod	Pd	Ps		Td	Ts	
38	Poac	Pd	Ps		Td	Ts	
39	Pos	Pd	Ps	N	Td	Ts	
40	Pod	Pd	Ps	N	Td	Ts	
41	Poac	Pd	Ps	N	Td	Ts	Tac
42[2]	Pos	Pd	Ps	N	Td	Ts	
43[2]	Pod	Pd	Ps	N	Td	Ts	
44[2]	Poac	Pd	Ps	N	Td	Ts	Tac
45		Pd	Ps	N	Td	Ts	
46		Pd	Ps	N		Ts	
47		Pd	Ps	N	Td	Ts	
48				N	Td	Ts	
50[2]		Pd	Ps	N	Td	Ts	
51[3]		Pd	Ps	N			
52[2]	Pos	Pd	Ps	N	Td	Ts	
53[2]	Pod	Pd	Ps	N	Td	Ts	

Donde:

Pd: Presión de descarga

Ps: Presión de succión

Td: Temperatura de descarga

Ts: Temperatura de succión

Pos: Diferencial de presión de succión

Pod: Diferencial de presión de descarga

N: No aplica

Las entradas análogas utilizadas para calcular las variables de proximidad al surge con fijadas por el modo fA escogido. (Ver tabla 4.) Algunas características opcionales también utilizan entradas específicas. Pero la mayoría pueden utilizar cualquier canal apropiado o no utilizado. Por consiguiente, se puede utilizar una señal para más de un algoritmo cuando sea apropiado.

Las entradas discretas son utilizadas básicamente para disparar los modos de operación especiales del controlador (Ver tabla 5.)

Tabla 5 Asignamiento de entrada discreta

D1	Tracking del controlador redundante
D2	Solicitud de paralelo
D3	Solicitud de purga
D4	Tracking de salida
D5	
D6	

D7 Paquete de parámetros alternos seleccionados

6.3.13 Salidas Análogas. El controlador antisurge tiene dos salidas análogas (OUTI y OUT2) OUT1 usualmente se utiliza para regular la válvula de reciclo del compresor, mientras que la salida OUT2 se utiliza para controlar una pantalla remota.

El auto prueba de salida puede ser utilizado para disparar una salida discreta cuando SV8 (es decir la entra CH8) difiere de la señal de control para más del 5% Esta característica puede ser utilizada para implementar una prueba de retroalimentación de la salida.

6.3.14 Salidas discretas. El controlador antisurge proporciona cinco salidas discretas (es decir los relays de control CR1 hasta CR5). Estos pueden ser utilizados para controlar las alarmas externas que llaman la atención del operador para cualquiera de las condiciones listadas en la tabla.

El CR1 es alimentado con cables como una relay normalmente energizado. Los otros pueden ser configurados o normalmente desenergizados. Cada relay, incluyendo el CR1, puede ser configurado para normalmente abierto (NO) normalmente cerrado (NC).

6.3.15 Pantallas del operador. La lectura DEV del tablero frontal muestra la desviación actual antisurge (1-5), mientras que la lectura OUT revela cuanto se encuentra abierta la válvula de reciclo. Las desviaciones positivas indican que el punto de operación se encuentra más allá del límite de surge necesario para evitar el mismo. La señal OUT se inclinará hacia cero al menos que se requiera que el

flujo de reciclo cumpla algún otro objetivo de control (es decir límite de presión o POC).

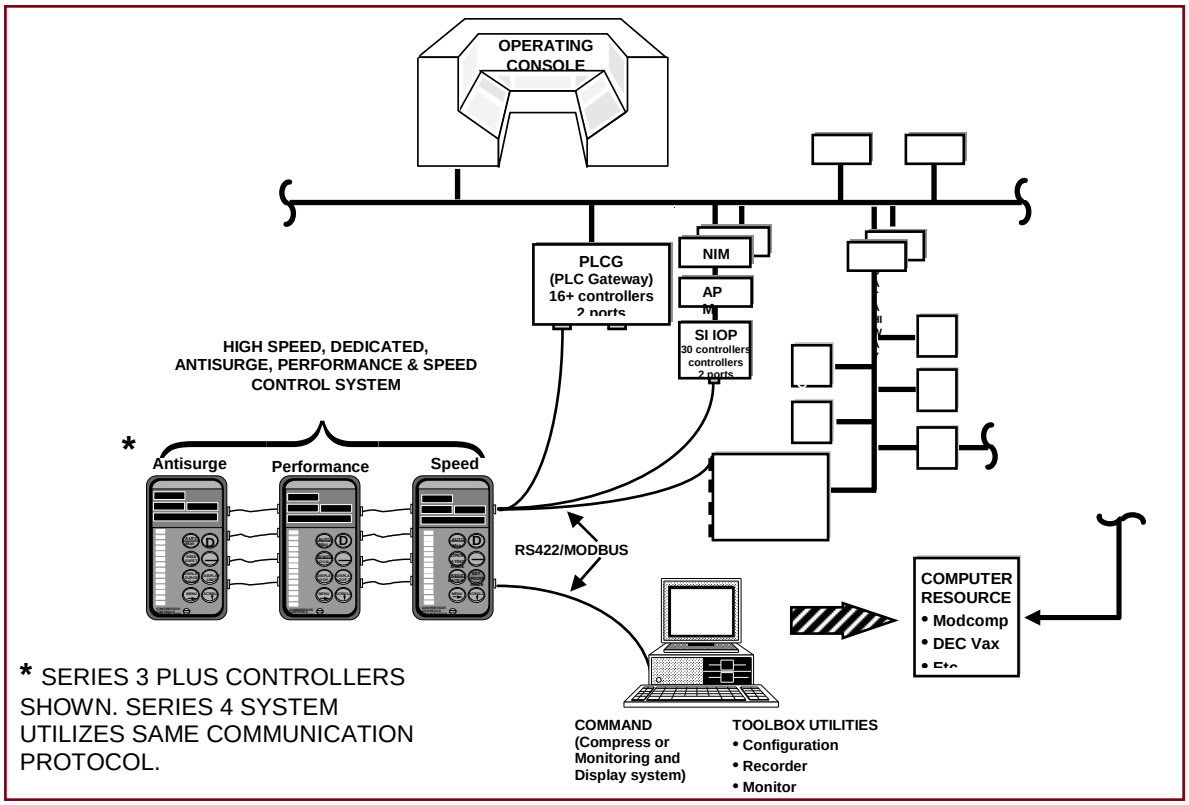
Las desviaciones negativas indican que el punto de operación se encuentra a la izquierda de la línea de control de surge, lo cual significa que el compresor se encuentra muy cerca de su límite de surge. La señal OUT entonces debe estar disminuyendo.

La lectura ALT normalmente se encuentra en blanco, pero puede ser utilizada para mostrar el conteo del surge. La lectura AUX también puede ser utilizada para mostrar bien sea el estado de operación o cualquiera de las variables medidas y calculadas.

6.4 COMUNICACIÓN Y CONTROL DEL COMPUTADOR

Los controladores antisurge tienen cuatro puertos seriales, ver figura 9, dos de los cuales se utilizan para conectarse entre si y los otros dos pueden ser utilizados para las comunicaciones y control del computador, utilizando los comandos RTU del modbus:

Figura 9 Comunicación y control del sistema antisurge.



Fuente: compressor control corporation

- El puerto 3 se utiliza para monitorear o inclusive controlar el controlador antisurge desde un computador receptor o un sistema de control.

- El puerto 4 es funcionalmente equivalente al puerto 3, pero está pretendido primariamente para la comunicación con un microcomputador operando uno de nuestros paquetes de soporte del software (paquete COMMAND).

Para utilizar estas características se debe fijar el número ID del computador del controlador y los formatos de comunicación serial para estos puertos.

Los controladores de la serie 3 plus están equipados con cuatro puertos seriales para comunicarse no solamente con otros controladores sino también con sistemas supervisores.

- El puerto 1 es utilizado para circular información entre los controladores de la serie 3 plus El controlador antisurge utiliza este para coordinar el control con controladores antisurge Redundante o con los controladores de performance máximo de ocho controladores pueden ser conectados al puerto 1.

- El puerto 2 es utilizado para comunicar comportamiento de carga y control de presión.

- El puerto 3 es utilizado para comunicación y control o hacia un computador utilizando el Protocolo Modhus Modicon RTU

- El puerto 4 es funcionalmente equivalente al puerto 3, pero es utilizado primordialmente para comunicación con un computador personal que conecta uno de los paquetes de soporte (Toolbox o Command por ejemplo). A pesar de que estas características de comunicación son habilitadas cuando son requeridas las características de los controladores, es necesario ingresar los números ID que identifican el controlador de otros dispositivos en estos redes y además también identifican el rango en baudios y la paridad para varios puertos seriales.

6.4.1 Números ID. Cada controlador debe ser suministrado con el número ID del controlador (MODE.. D COMN O9 como un número del computador ID (MODE D COMNO) y esto se logra ajustando estos parámetros desde el panel de ingeniería:

- El número ID del controlador se identifica en el puerto 1. Este debe ser único entre los controladores (excepto aquellos que son back ups) en la red.
- El número ID del computador identifica este en los puertos 2,3 y 4 debe ser único entre todos los positivos conectados a cualquier de estas redes.

6.4.2 Formatos de comunicación serial. Con el fin de que estos dispositivos se comuniquen exitosamente, ambos deben ser configurados para enviar o recibir información de la misma velocidad y en el mismo formato básico (por ejemplo número de bits * caracteres).

- No hay parámetros de configuración para el puerto 1
- El rango de baudios en el puerto 2 (MODE: D COMN2) puede ser configurado a 2400. 4800 o 9600 Normalmente fija a 9600
- El rango de baudios en el puerto 3 (MODE D COMN3) pueden ser 44800, 9600 o 192 kilo baudios.
- Las mismas opciones están disponibles para el puerto 4 (MODE: D COMN4)
- Los puertos 3 y 4 utilizan un bit de arranque, ocho bits de datos y un bit de parada.

6.4.3 Errores en la comunicación serial. Un controlador de la serie 3 pues puede presentar dos tipos diferentes de errores en la comunicación serial.

Errores de nivel de hardware wu ocurre cuando el controlador no es capaz de decodificar los caracteres entrantes de la información.

Errores de nivel de control que ocurre cuando el controlador falla es detectar actividad en la comunicación serial en los puertos 1 y 2.

El controlador indica un error de nivel de hardware mediante un sonido y desplegando un mensaje de identificar en el panel de Ingeniería. Debido a que los protocolos utilizados por el controlador rechazan en falla, errores de nivel de hardware en muy pocas veces afectan la operación del controlador.

Los errores del nivel de control son indicados en el panel frontal, encendiendo el LED COMER, activando cualquiera de los relees SerC, y activando el puerto 1 Modbus o el puerto Z con un bit de falla discreta. Debido a que la interpretación de los errores de comunicación no es sencilla y dependen de la aplicación específica, el operador debe listar los controladores desde los que este controlador está recibiendo las transmisiones y especificar como controlar y proteger el compresor mientras se identifica y consigue estos errores.

El puerto está presentando problemas puede ser determinado mediante el panel de Ingeniería realizando las siguientes evaluaciones:

- La prueba del puerto serial 1 (MODE COMN-3) indican (en el número ID del controlador) Los controladores desde los cuales las transmisiones del puerto 1 no están siendo recibidos (dependiendo de si tales transmisiones son requeridos o esperados). El estatus de los controladores que están transmitiendo desplegará como “bueno” mientras que el estado de los controladores que están fallando se desplegarán como “mala” un error de comunicación serial es indicando solamente si el estado de un controlador del cual requiere la información es malo.

La interpretación de un error en el puerto serial 1 depende sobre cual de las características que utiliza ese puerto es empleado. Recordemos que se pueden tener las siguientes características: Desacople de lazos, límite auxiliar, compresores en multiarreglo, redes de compresores y control redundante.

La prueba de puerto serial 2 (MODE COMN-2) revelará si alguna actividad de comunicación serial esta llevándose a cabo en este puerto si efectivamente se está llevando a cabo, el resultado se desplegará como “PT2bueno” de lo contrario lo hará como “PT2 malo”.

6.4.4 Configuración del modbus. La interfase modbus puede ser utilizada para monitorear la operación del compresor y el controlador.

Se puede limitar el acceso al Modbus acondicionando los parámetros Read and write inhibit (MODE D LOCK 1) Y WRITE INHI BIT ONLY (MODE D LOCK 2).

6.5 VARIABLES CALCULADAS

Esta parte explica como se llevan a cabo los cálculos de presión, temperatura, cabezal de presión, velocidad, potencia y rango de flujo.

6.5.1 Presión. Debido a que los algoritmos de control usualmente requiere de presiones absolutas, tales condiciones se consiguen midiendo las mediante las variables de proceso (entradas análogas en la sección). En la mayor parte de las aplicaciones la presión de presión descarga (Pd) es PV2, la presión de succión (Ps) es PV3, y la diferencial de presión pc (MODE : A SS G1) debe ser en estado OFF, pero también se puede configurar el controlador para sustituir el aumento (pc) por algunas de las siguientes entradas: Si se conecta pc al canal CH3 el

parámetro sustitución de pc es fijado en bajo, la presión de sucesión se calcula como:

Ps= Pd - pc = Pv2 – Pv3

Si se conecta la señal pc al CH2 y el parámetro sustitución de APC es fijado en alto, la presión de descarga es calculada como:

PA = Ps + APC = PV3 + Pv2

Tales calcular son validos solamente si ambos presiones PV2 y PV3) son escalizados a la misma unidad de medida los algoritmos de control aplicados a estas presiones resultan de alguna forma no afectada por las sustituciones. Por ejemplo, la limitación de control siempre es aplicada a las presiones de sucesión y descarga y la relación de comprensión (RC) está siempre determinada por Pd/Ps.

6.5.2 Temperaturas. Debido a que los algoritmos de control requieren de temperaturas absolutas, estas variables también son medidas utilizando las variables de proceso entradas análogas (sección). En la mayor parte de las aplicaciones la temperatura de descarga es PV5, la temperatura de succión PV6, y la substitución Tc (MODE A SS 62) debe estar en estado OFF, pero se puede configurar el controlador para sustituir el incremento de temperatura del compresor (Tc) por cualquiera de las siguientes entradas:

V: Voltaje diferencial entre las variables traspuestas de succión y descarga.

F5: Características general: [ICOND: A f(X) 5 # y x5#]

Ts: Medida condicionada de una temperatura de succión separada.

Si selecciona uno de estos modos, se puede habilitar la substitución TC por T d [SS 6 2 Hig4] y conectar v al CH5.

6.5.3 Cabezal reducido Exponente cabezal poli trópico. Las funciones de aplicación que calculan el cabezal poli trópico reducido usualmente utilizan la siguiente ecuación:

Donde:
Hr: cabezal reducido
Rc: Relación de compresión (Pd/Ps)
T : Exponente cabezal politrópico (sigma)

En algunos modos FA, este cálculo utiliza el valor sigma * defecto (COND: A CONST 4)

Siempre que la constante sigma (MODE: Af c2) sea habilitada. De otra forma, el exponente del cabezal politrópico es calculado por medio de las relaciones de temperatura y de compresión: T= Log (Td/Ts)/ Logf (Pd/Ps)

El exponente resultante es luego pasada a través de un filtro d primer orden gobernada por el filtro constante de sigma (PID: A T12) debido a que RCI Es aproximadamente igual a Td/Ts para la comprensión politrópico, algunas funciones de aplicación y el cabezal politrópico casado en la temperatura calcula el Cabezal reducido por intermedio del incremento de temperatura a través del compresor.

Durante el arranque, la temperatura se estabilizaran más lentamente que las presiones así, los modos FA que calculan el exponente del cabezal politrópico utiliza el parámetro sigma y defecto al arranque, después de lo cual los filtros de la variable sustituirán gradualmente el valor calculado actual.

6.5.4 Velocidad Rotacional y velocidad equivalente. La fuente de la velocidad rotacional (MODE: A AN1N4) especifica si el controlador de medir velocidad rotacional (N) utilizando el CH4 entrada análoga (AN IN 4 Off) u obtener ésta mediante comunicación serial desde un controlador de la serie 3 plus compañero (AN IN 4= Número ID del controlador compañero).

- Si la fuente es también especificada como el controlador compañero en compartimiento encarga (MODE A SS 4) mediante la fijación de parámetro igual al número ID del controlador este debe un controlador de performanse que utiliza una entrada análoga para monitorear la velocidad. En aplicaciones sin comportamiento de carga, la ganancia del reciglo (COND : AM O) debe ser fijada a 0.

- Si la fuente no es especificada como controlador compañero de comportamiento de carga (SS 4 # su ID) esta debe ser un controlador de combustible o velocidad que estaría regulando la velocidad rotacional del compresor.

NOTA. Debido a la dificultad de determinar la causa de un surge si la velocidad rotacional no es conocida, la velocidad de cada compresor debe ser medida por un controlador al menos.

La velocidad equivalente (En) está definida por:

$En^2 = N^2 / (Zs.R.Ts/N)$

Donde:

M= peso molecular

R= constante de los gases

Ts= temperatura de succión

Zs= compresibilidad de succión

Debido a que el peso molecular y la compresibilidad no pueden ser medidas en línea, los modos fA utilizando que se debe asumir composición de gas constante. De esta forma los modos calcular la velocidad equivalente:

$$En^2 = N^2 / Ts = \frac{PV1}{f3(N).Ts}$$

Si se ha definido una fuente de velocidad serial o se ha conectado una señal de velocidad al CH4, se deb definir PV1 como constante y definir el caracterizador de la coordenada x (COND: A f(x) 3 # and x 3 #] como el inverso cuadrado de este argumento:

$N^2 = {}^1 / F3(N)$ $\qquad$ $F3(N) = N^2$

Sin embargo se podría conectar una señal análoga de velocidad tanto al CH1 como al CH4, lo cual podría permitir que el detector de Safety On utilizara las fluctuaciones rápidas de velocidad como una inclinación de surge. En este caso, f3 debe ser definido como una función inversa sencilla.

$N^2 = N / F3(N)$ $\qquad$ $F3(N) = N^2$

6.5.5 Potencia reducida y potencias de manejo. El algoritmo de potencia (fA51) calcula la proximidad asurge desde la relación de compresión y la potencia reducida (jr). Utiliza el caracterizador de la ordenada x (COND: A f (x) 3 # y x 3 #) la definir la dependencia de la potencia reducida en la velocidad rotacional, lo que significa que esa función normalmente debe ser igual:

$$Jr = \frac{J}{} = \frac{PV1}{}$$

N. Ps F3(N). F5 (Z). Ps

La señal de potencia en el eje (J) es normalmente conectada al serial CH1 (J = PV1), de esta forma la detección de safety On puede utilizar las fluctuaciones de potencias rápidas como una indicación de surge. Sin embargo, esa señal puede ser conectada, a alguna entrada no utilizada si se define como: f5 argumento (MODE: A SS gl y el caracterizador general COND: A f(x 5 # y x 5 #) se define como una función inversa sencilla:

J = 1/ f 5 (j) f5(j) = J^1

En este caso PV1 debe ser definida como una constante fijando la ganancia de variable de proceso a cero y su Vías de variable de proceso al valor de constante de escala. Debido a que el controlador detecta surge monitoreando 5V1.

Debido a que el controlador detecta surge monitoreando SV1 (que es la señal variable del canal la cual no es afectada por la escala de PV1), se puede configurar para detectar surge monitoreando cualquier señal que se conecte al CH1, lo cual en el fondo no tendrá ningún efecto sobre el calculo de proximidad antisurge.

Se puede para compensar para formulas mecánicas definiendo la potencia neta como una función de la velocidad o de la potencia:

- Para definir una potencia neta como una función de la velocidad, se incorpora esta conexión en el caracterizador F3:

Jneta / N = Jbruta / f3 (N)

F3 (N0 = N.Jbruta / Jneta

- Para definir la potencia neta como una función de potencia bruta se incorpora esta corrección en caracterizador f5

Jneta / N = PV1/ f5 (Jbruta)

PV1 = f5 (J bruta)

PV1 = f5 (J bruta) = 1 / Jneta

Si se requiere compensar las perdidas de potencia se puede definir la potencia neta como la relación de cualquier variable de entrada sencilla y una función de otra:

Jneta / N = PV1 / f5 (z)

Para una turbina de vapor que mueve un compresor PV1 puede ser una variable de flujo de vapor y f5 una función de la temperatura del vapor.

6.5.6 Rangos de flujo. Una variedad de flujos sin ediciones son calculada para propósito de control e información. La aproximación a un surge (capitulo 5) es normalmente calculada de una medición de flujo basada en un flujo reducido aunque unos modos fA utilizan relación de flujo reducido.
Los cálculos de flujo mas complejos que se pueden requerir, en aplicaciones de compresores de secciones múltiples, (capitulo 5) se discuten mas adelante.

- **Flujo reducido.** El flujo reducido al cuadrado (q^2 r) es igual a:

q^2 r = Apo, v/P

Donde:

Apo,,c = Medición de flujo calculado

P = Presión de descargar o de succión

El flujo y la presión de ser medidas en el mismo lugar si por algun motivo ellos lo son, se puede referir a su relación de flujo reducido a la succión (qr.s) o descarga (qr,d):

$q^2 r, s = \Delta$ po, s /Ps $\qquad$ $q^2 r, d = \Delta$ po, d/ Pd

- **Calculo de flujo medido.** El controlador antisurge computa la aproximación al surge a partir de una medición de flujo calculada (0,c) la cual es a menudo la variable de proceso CH1 (po,c =PV1) con rangos diferentes.

- **Utilización de transmisores de flujos duales.** Generalmente no se dispone de transmisores de presión diferencial para objetivo del control debido a que por debajo del 10% del Span de transmisor no se comporta de manera confiable. De ésta manera, en aplicaciones se requieren operaciones constantes en platinas de oficio, el controlador Antisurge se puede cambiar a una segunda entrad que es conectada a un transmisor con rangos mas bajo del que está conectado al CH1.

La característica es particularmente útil cuando la caída de presión a través de la platina de oficio son más altas que las encontradas mientras el compresor esta arrancando, parando o en vacío.

- **Válvula de control de compensación.** Si el flujo es medido en la succión del compresor y hay una válvula de control el elemento primario del medidor de flujo y la entrada al compresor, el controlador puede ser configurado para compensar la

medición de flujo calculado por el cambio de la presión y el volumen a través de la restricción:

$\Delta Po,c = \Delta Po,s = \Delta Po.\ Pfe/Ps$ $\Delta Po = PV1$

Primero se conecta la señal de presión (medida en la entrada del compresor) a la entrada análoga CH3 Luego se conecta una segunda señal de presión (Pfe, medida en el elemento de la medición de flujo, aguas arriba de la válvula) a cualquier entrada análoga no utilizada finalmente configura la entrada de presión del elemento de flujo (MODO : A558) igual a la entrada de presión en el número de canal.

➢ **Medición de flujo de descarga.** Aunque qr, d y Rc o hr permiten comprender sistemas invariantes es algunas veces deseable calcular la aproximación a surge en el sistema de coordenadas qr,s y Rc o hr aun cuando en flujo sea medido en la descarga. La medición de flujo de succión equivalente puede ser calculado como:

$$\frac{\Delta Po,s \cdot Ps \cdot Ms}{Ts \cdot Zs} = \frac{\Delta Po,d \cdot Pd \cdot Md}{Td \cdot Zd}$$

$$\Delta Po,s = \Delta Po,d \frac{Pd}{Ps} \frac{Md}{Ms} \frac{Ts}{Td} \frac{Zs}{Zd}$$

Los pesos moleculares son iguales por lo tanto se cancelan como no se pueden medir la comprensibilidad, la que no se cancelara la medición de flujo de succión equivalente a flujo reducido en la succión es calculada como :

$\Delta Po,c = \Delta Po,d. (Pd/Ps) . (Ts/Td)$

$\Delta Po,s$

$$q^2r,s = \frac{}{Ps} = \Delta po,d \times \frac{Pd}{Ps^2} \times \frac{Ts}{Td}$$

Y el coeficiente de línea límite de surge [SPEC : A K] es configurado para la peor relación de comprensibilidad (Zs mínimo).

Zd

Este cálculo es implementado en las funciones de caracterización fA G3 y fA G7.

Debido a que Ts / Ts (Pd / Ps) t para comprensión poli trópica, el sigma escogido por defecto [cond: A CONST 4] puede ser utilizada para calcular la medición de flujo de succión equivalente a partir de las mediciones de presión solamente, de esta forma sí la constante sigma [MODO: Afc2] es habilitada, la función de caracterización fA G7 calculara A Po,s como:

Δ Po,s = Δ Po,d (Pd / Ps) / (Td / Ts)

= Δ Po,d Rc / Rc t = Δ Po,d . Rc^{1-t}

6.5.7 Ratas de flujo másico. El controlador antisurge utiliza la misma fórmula básica y las entradas de compensación para calcular varias ratas de flujo másico.

Asumiendo poca variación en la composición de gas y en la compresibilidad la rata de flujo másico (w) a través de una platina de orificio se puede calcular como:

$$W = \sqrt{\Delta Po. P/T}$$

Donde,

W = Rata de flujo másico

ΔPo = Caída de presión a través del orificio

P = Presión absoluta

T = Temperatura absoluta.

El controlador antisurge calcula su rata de flujo másico como:

$$W = \sqrt{A\,Po.\ Pc/Tc} \quad o \quad w^2 = C.\ A\,Po.\ Pc\ /\ Tc$$

Donde,

C = coeficiente de escala

A Po = medición de flujo (señal de entrada análoga o variable de proceso)

Pc = compensación de temperatura.

El coeficiente de escala debe ser proporcional al inverso de la rata de flujo máxima calculada como:

$$C = \sqrt{\frac{Tmf}{Maxtr} , \frac{Maxfr}{A\,Po,mf} . \frac{Maxpr}{Pmf}}$$

Donde,

Tmf = temperatura absoluta a máximo rata de flujo.

Maxtr = temperatura absoluta que corresponde a la máxima señal del transmisor

∆ Po, mf = caída de presión de la plantina de orificio a máximo flujo

Maxft = caída de presión de la plantina de orificio correspondiente a la máxima Señal de transmisor.

Pmf = presión absoluta a máximo flujo

Maspt = presión absoluta correspondiente a la señal máxima del transmisor

Tmf y Maxtr deben ser expresados en las mismas unidades absolutas (por ejemplo ℟ ---- grados Rankine) así como A Po,mf y Maxft (por ejemplo Psi) y Pmf y Maxptn (Psia)

6.5.8 Presión y Temperatura de compensación. Todos los cálculos de flujo másico utilizan la misma presión y temperatura de compensación el cual es calculado como:

Pc = Presión en la platina de orificio absoluta = Po + Pr

Po = variable medida.

Pr = presión absoluta cuando PO es cero

Tc = temperatura en la platina de orificio absoluta To + Tr

Tr = temperatura absoluta cuando to es cero

Si Po y To son variables unidades absolutas Pr t Tr deben ser cero

7. PRINCIPIOS DE OPERACIÓN CONTROLADOR ANTISURGE

Este capítulo resume las capacidades del controlador y describe su operación continua, operación de secuenciación y operación manual, indicaciones de fallas y estado de seguimiento.

Se hace énfasis en la explicación de los parámetros de configuración que habilitan estas características y gobiernan su operación.

7.1 INTERFACE CON EL OPERADOR

Las teclas frontales del controlador pueden ser seleccionadas para operación automática manual, además para monitorear los lazos de control de antisurge y de limitación, mostrar el número de surge y normalizarlo y además mostrar variables de proceso.

Las caracterizar I/O remotas del controlador son principalmente para la integración con otros controladores. Las entradas discretas pueden ser utilizadas para seleccionar el estado operativo, para accionar seguimiento de salidas, o para normalizar el conteo de surges. Las salidas discretas pueden ser utilizadas para implementar alarmas externas e indicaciones para diversas condiciones de operación. Las entradas análogas que representan variables de proceso, pueden ser monitoreadas directamente mediante salidas análogas.

La interfase Modbus es utilizada para seleccionar operación manual o automática, monitorear los lazos antisurge, cambiar un limitado numero de parámetros de

configuración. En la figura 10 se puede observar el controlador antisurge series 3 plus.

7.2 OPERACIÓN CONTINUA

Cuando la operación se encuentra en el estado activo (RUN), el controlador varía la posición de la válvula para satisfacer la protección de surge, las limitaciones por presión y los objetivos de compartimiento de carga. La interfase con el operador sirve como medio de monitoreo de la operación del compresor.

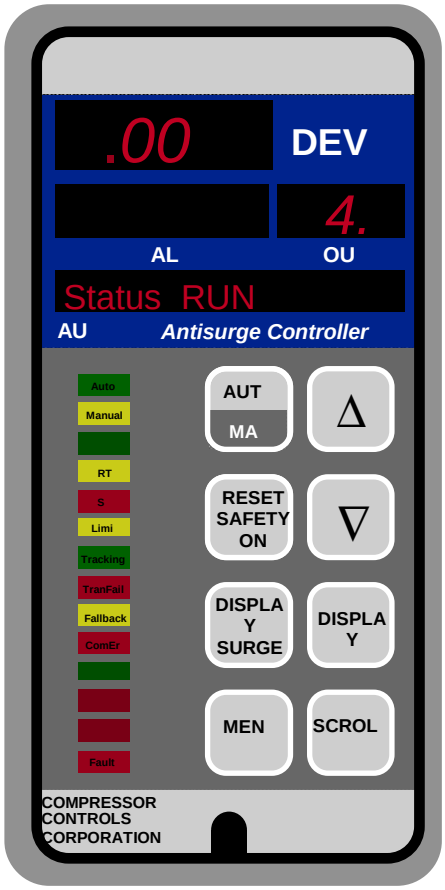
Este estado es seleccionado con cualquiera de las entradas específicas (usualmente se utiliza la velocidad, flujo y presión) indicando que la unidad está en funcionamiento.

7.2.1 Posición de la válvula. La posición de la válvula de reciclo puede ser monitoreada por medio de la lectura de la salida, o en el registro de salida del Modbus o mediante la salida analógica numero 1. La señal discreta desde el Modbus será fijada si la respuesta de la válvula se iguala al correspondiente nivel de salida, y en caso de que el valor de la válvula sea menor que el valor fijado, la válvula recibirá una señal que la abrirá o cerrara dependiendo de la salida fijada. Así mismo, si una señal remota de salida baja ha sido fijada, el Led de Tracking (seguimiento) encenderá cada vez que la entrada exceda el bajo nivel.

7.2.2 Válvula compartida. Un grupo de controladores antisurge puede proteger diferentes etapas de un compresor utilizando comunicación serial con el fin de compartir una única válvula de reciclo. El controlador que directamente manipula la válvula se denominará el controlador maestro, mientras que el resto de controladores serán denominados compartidores de válvula. La salida de estos

últimos siempre estará en blanco, y su señal de control no puede ser manipulada manualmente o por intermedio de una conexión modbus.

Figura 10. Cara del controlador antisurge



DEV Muestra la distancia a la línea de control de surge (Desviación = 1 - S)

ALT Muestra el conteo de surges (cuando ***DISPLAY SURGE COUNT*** es presionado)

OUT Muestra la señal de salida a la válvula antisurge (% apertura)

AUX Ventana Auxiliar

Auto Iluminada durante el modo de operación Automático

Manual Iluminada durante el modo de operación Manual

RT Iluminada cuando Recycle Trip está en efecto debido a un acercamiento a surge

SO Iluminada cuando el algoritmo Safety On ha detectado uno o más surges (determine la causa antes de reposicionar)

Limit Iluminada cuando la Variable de Limitación está en, o más allá de su límite

Tracking Iluminada durante el modo de Rastreo Redundante; Intermitente durante el modo de Rastreo de la Salida

TranFail Iluminada cuando una de las entradas análogas está fuera de sus límites de alarma

Fuente: compressor control corporation

Esta característica puede ser aplicada a compresores que funcionan en serie con una válvula de reciclo común. En ese caso algunos compresores pueden ser cargados mientras que otros estarán parados. El controlador maestro modulará la válvula para proteger a los compresores que están en modo funcionando. Si la etapa o el compresor del maestro se encuentra apagado, este controlador

trabajará para proteger a los demás pero mantendrá una señal de “status OFF “en su display.

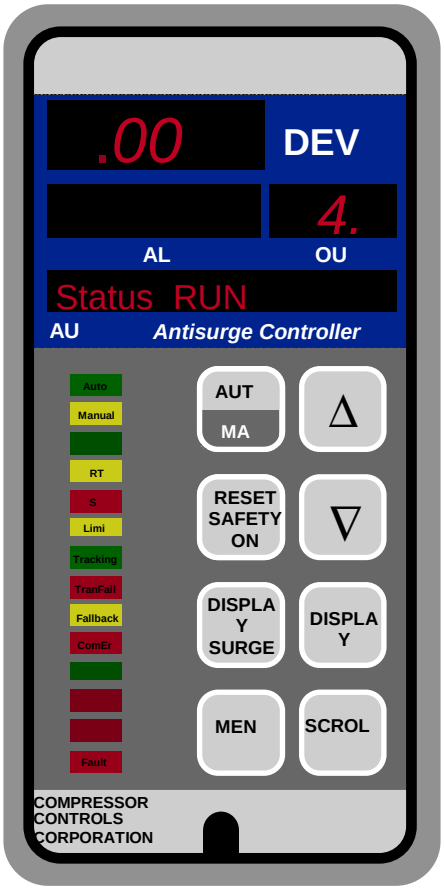
7.2.3 Protección de surge. La desviación entre el punto de operación y la línea de control de surge (SCL) puede ser monitoreada mediante la lectura de la indicación DEV, registro de desviación en Modbus, o la salida analógica número 2.

- Si la desviación está cerca de cero, el compresor está operando cerca de la línea de control de surge. Si se ha definido un a zona muerta en la zona cercana a cero, la salida debe permanecer estable. <de otra forma, está variará y será necesario mantener el punto de operación exactamente sobre esta línea.

- Cuando la desviación es positiva, el compresor está operando a la derecha de la SCL. Si la válvula de reciclo no está completamente cerrada, la característica PI del sistema de control antisurge gradualmente la cerrara.

- Si la desviación llega a ser negativa, el compresor está operando a la izquierda de la línea de control de surge SCL, donde la distancia entre el punto de operación y el limite de surge es menos que el deseado. Si el punto de operación se acerca a la línea limite de surge, el algoritmo PI del controlador deberá actuar para volver a llevar al punto de operación al nivel deseado.

Figura 11. Cara del controlador antisurge (CONT.)



Fallback	**Iluminada cuando alguna entrada o falla de comunicacivón acciona el modo Fallback**
ComErr	**Iluminada cuando mensajes esperados dejan de llegar al Puerto 1 o 2**
Fault	**Iluminada cuando el controlador ha fallado (las unidades redundantes se conectan a respaldar)**
AUTO MAN	**Intercambia entre los modos Automático y Manual**
Δ ∇	**En modo Automático: no tiene efecto En modo Manual: cambia la Senal de Salida**
RESET SAFETY ON	**Coloca en Zero la cuenta de surges, regresando la línea de control de surge a su posición inicial; temporalmente muestra el numerador y denominador de S en las ventanas ALT (cabezal) y DEV (flujo)**
DISPLAY SURGE COUNT	**Muestra temporalmente la cuenta de surges en la ventana ALT**
DISPLAY LIMIT	**Muestra temporalmente la presión de descarga o succión y su punto de ajuste límite en las ventanas DEV y ALT (AUX dice cual de ellas)**
MENU SCROLL	**Se usa para seleccionar lo que va a mostrar la ventana AUX**

Fuente: compressor control corporation

Si se produce una caída súbita de la desviación inmediatamente actuará la respuesta recicle Trip (RT). El Led amarillo RT encenderá y la señal discreta del relay y del Modbus será fijada indicando que el compresor ha tenido un disparo de reciclo, la válvula de reciclo deberá abrir inmediatamente. Cuando se haya

restablecido el sistema de señal RT será normalizada y desaparecerá del display y de la indicación discreta.

Si por alguna razón el compresor entra en surge, el controlador detectará las rápidas fluctuaciones características de presión del cabezal y/o flujo e inmediatamente indicara respuesta Safety On. El Led indicador del panel frontal encenderá una luz roja y además los SO relays y la salida discreta de Safety On en el modbus se fijarán para indicar al margen de control de surge que ha sido incrementado para prevenir eventos adicionales de surge.

Cada vez que se presenta un surge, se incrementa el contador de surges y se activa un incremento adicional del margen de control. El conteo acumulado de surge podrá observarse en la lectura ALT presionando la tecla DISPLAY SURGE COUNT y también será monitoreado por medio del registro de conteo de surges.

De cualquier manera si una respuesta Safety On es indicada, se debe determinar porque fue ocasionado y si es necesario que el controlador requiera ser configurado para suministrar un más grande y permanente margen de seguridad. Una vez que se haya tomado acción ya sea para encontrar la razón del safety on o si fuere necesario reconfigurarlo, se puede normalizar el conteo de surges a cero y restablecer el margen de control inicial de surge presionando la tecla Reset Safety On, la cual se direccionará a la entrada D5.

En un sistema de múltiples elementos de control, las acciones de cualquier controlador pueden afectar las variables de control de los otros. Para minimizar estas interacciones, Los controladores antisurge monitorear los cambios en las respuestas de control de los otros controladores y ajustan sus propias señales para mantener a los compresores operando a la misma distancia del surge.

7.2.4 Limite de Presión. Si la presión de descarga es muy alta o la presión de succión es pequeña, o ambas, y cualquier relay de limitación y la señal discreta del Modbus sea fijada, el controlador incrementará la rata de reciclo, la cual debe aumentar la presión de succión y disminuir la presión de descarga. El indicador de Límite encenderá un Led amarillo si el lazo de limitación abre la válvula de reciclo más rápido que la característica de protección de surge lo haría.
Si se presiona la tecla Display Limit, la lectura auxiliar AUX identificará la presión que se encuentra fuera de rango, la lectura de desviación mostrará este valor y la lectura ALT mostrará el set point.

7.2.5. Compartimiento de carga. En el caso de que se tenga aplicaciones de compartimiento de carga con varios compresores adicionales conectados en serio o en paralelo, se definirá una estación maestra denominada Master performance, la cual regulará los cabezales de presión o flujo mediante manipulación indirecta de los elementos de un sistema de control de los compresores individuales. En ese sistema cada controlador antisurge incrementará la rata de reciclo de su propio compresor (el cual reducirá la presión de descarga y el flujo) cuando su punto de operación esté cercano a la línea de control de surge. Bajo cualquier otra condición, los cambios en la red del compresor se realizarán manipulando los elementos de verificacion de los controladores de compartimiento de carga.

7.3. SECUENCIA DE OPERACIÓN

Las condiciones de carga o descarga de un compresor son manejadas por el controlador de operación (Performance Controller). Mientras que los arranques y shutdowns son usualmente manejados mediante el controlador de cada compresor. Un controlador antisurge participará principalmente seleccionando un punto de operación apropiado. Ver Tabla 6.

Tabla 6. Estados Operativos

Nombre	DISPLAY	DESCRIPCIÓN
RUN	RUN	El compresor es cargado y la respuesta de control varía Previniendo el surge.
	OFF	La sección del compresor es descargada y la válvula es Modulada para proteger otra sección.
STOP	STOP	Una condición normal de shutdown
	ESD	Se ha parado el compressor mediante una acción de Emergencia
PURGE	PURGE	El compresor se encuentra sin carga, pero con la válvula de reciclo cerrado.
TRACK	TRACK	La señal del actuador está siguiendo la salida de otro Dispositivo

- Mientras el compresor es cargado, un controlador antisurge opera en su estado RUN, el cual modula la válvula de reciclo para prevenir surge con un mínimo de reciclo.
- Cuando inicia un shutdown del compresor, la válvula de reciclo se abre rápidamente.
- Mientras el compresor se esta parando, un controlador antisurge se encuentra en STOP, el cual sostiene la válvula de reciclo completamente abierta.
- Si el compresor se encuentra en estado purga, un controlador antisurge sostiene la válvula completamente cerrada
- Cuando un arranque es iniciado, un controlador antisurge selecciona el estado RUN, en esos momentos el algoritmo PI lentamente cerrara la válvula de reciclo.

7.4 OPERACIÓN EN MANUAL

El operador puede tomar el control manual de la señal presionando la tecla AUTO/MAN del tablero frontal. Presionando nuevamente la tecla AUTO/MAN se volverá a la condición de operación automática. Cuando el controlador se opera manualmente, la respuesta de control se calcula incrementando (o disminuyendo) su valor previo en 0.1 por ciento cuando se presiona la tecla hacia abajo del tablero frontal.
Mientras el controlador esté en manual, continuará calculando y mostrando la desviación entre el punto de operación y la línea de control de surge, de está manera se puede observar si con los cambios en manual está afectando la salida o si esta moviendo el compresor cercano a surge observando la lectura en DEV.

Si por alguna razón se mueve el punto de operación a la izquierda de la línea de recicle trip, el Led RT se encenderá y el controlador inmediatamente revierte la operación a automático. El controlador permanecerá en automático hasta después de que el margen de seguridad del compresor se haya establecido.

Aun cuando la característica de limitación de presión es suspendida mientras se está en operación manual, la luz indicadora y cualquiera de los relays de límite continuará indicando si la presión de succión y descarga están dentro de los respectivos límites, y también se puede utilizar el DISPLAY LIMIT para mostrar las variables de control y sus set points.

Es importante anotar que a menos que se habilite el desconocimiento manual, el controlador no puede ser operado manualmente cuando el punto de operación se encuentre a la izquierda de la línea de control de disparo de reciclo (recicle trip)

7.4.1 Iniciando operación Manual. La operación en manual puede ser seleccionada en cualquier momento a menos que el controlador esté en modo Stop o purga y la operación manual en estos estados no haya sido habilitado. Sin embargo:

- Si la operación manual y la salida de seguimiento han sido seleccionadas, el dispositivo remoto controlará la señal de salida.

- En un sistema de control redundante, solamente el controlador activo puede ser manualmente operado (el backup seguirá esa selección).

La operación manual es iniciada presionando la tecla AUTO/MAN o normalizando la bobina automática del Modbus. El led manual es encendido y el automático es apagado.

➢ **Desconocimiento Manual.** La habilidad del operador para operar manualmente la válvula antisurge puede estar limitada por el desconocimiento en cuanto a las funciones en estado manual. (MODE: A MOR)

Si este modo se encuentra en OFF, el control automático será restaurado siempre que el punto de operación se mueva a la izquierda de la línea de control de disparo de reciclo. Esto evita que el operador induzca accidentalmente el surge cerrando la válvula antisurge en una condición fuera de lo normal o abandone inadvertidamente el controlador en su modo de operación manual.

Por otra parte al pasar a manual, con MOR ON se desconocen completamente los algoritmos de control automático. El compresor estará completamente desprotegido contra la posibilidad de surge inadvertidos.

7.4.2 Restableciendo control automático. Presionando la tecla AUTO/MAN estando el controlador en manual, inmediatamente vuelva a su posición automático, el led de auto se encenderá.

7.4.3 Manual Override. Con el fin de prevenir que se presente surge cuando el controlador está en manual, este se volverá automático en el momento en que el punto de operación se mueve a la izquierda de la línea de recicle trip. Sin embargo, se puede hacer un override de este comportamiento, en cuyo caso el controlador permanecerá en manual hasta que el operador restablezca la operación automática (aun si el compresor sufre ciclos de surge). Para indicar peligro, el led Manual en el panel frontal encenderá y los reles asociados a la función MOR se dispararan, a exención de la desviación, cuando quiera que el modo manual sea habilitado. Si el punto de operación se mueva a la izquierda del RTL (Recycle trip Line), el led RT se encenderá y permanecerá encendido hasta que un margen de seguridad adecuado sea manualmente restablecido.

7.5 INDICACIONES DE FALLAS

Además de la señal de falla general, la cual podría estar indicada mediante los leds y los reles de fallas, el controlador puede utilizar los led del panel frontal y los bits del modbus discretos para indicar errores de comunicaciones, fallas de transmisores de entradas análogas, fallas en las salidas, y fallas en la posición de las válvulas. Esto indicará también una condición de emergencia (fallback) si las fallas en señales análogas o comunicaciones seriales previenen el sistema de realizar el cálculo de la función de proximidad a ciclo de surge.

7.5.1 Falla general. Cada controlador tiene un sistema de vigilancia que debe regularmente ser normalizado por medio del programa de control. Si no se hace a

tiempo se desenergizará el rele de falla y se reiniciará la memoria de la CPU, de esta manera causaría que el programa arranque de nuevo:

- Si el rearranque sucede, se normalizará el timer, se normalizarán los reles y temporalmente se reseteará el modbus discreto, el panel de ingeniería sonará y el display indicará reset.

- Si esto falla, el rele de falla permanecerá desenrgizado y el panel frontal encenderá el led de falla. Esto puede indicar falla en software o en el hardware del controlador.

La salida del controlador es completamente impredecible cuando se produce una falla en el sistema de vigilancia. Cambios bruscos en el proceso o danos en el compresor pueden resultar si no se desconecta inmediatamente del proceso.

7.5.2 Errores de comunicación serial. Cuando el controlador no pueda detectar fallas en las comunicaciones seriales, se encenderá la indicación ComErr y se indicará mediante el rele respectivo y en el puerto 2 de entrada discreta. Debido al exacto significado de estas condiciones depende de cuáles características han sido habilitadas, su interpretación será altamente específica.

La perdida de comunicación interrumpirá el compartimiento de carga y el override por control de presión. Una falla en el puerto 1 puede también causar una interrupción de aquellas características, como también desacoplamiento de lazos, en el caso de compresores multi-sección o multietapas, se puede presentar también perdida de comunicación con la protección de surge y el sistema de control de válvula compartida, así como también la secuencia automática y la selección del estado de operación y el control redundante.

7.5.3 Fallas del transmisor y entradas análogas. Cuando una o más de las entradas analógicas se encuentre por fuera del su rango valido, el controlador indicará falla en el transmisor Tran Fail y además activará uno de los reles de falla de transmisores en la señal discreta del Modbus.

Esta condición usualmente indica una falla en el lazo de entrada (transmisor, cableado de señal abierto, o circuito análogo) pero puede también ser utilizado para presentar fallas de alarmas en condiciones indeseadas de proceso.

7.5.4 Fallas en las señales de salida. Si el controlador detecta una diferencia de más del 5% entre el valor deseado y la respuesta del lazo, enviará una señal falla OutF, mediante la activación del rele correspondiente en la red modbus. No existe una indicación en el panel frontal para esta condición de falla.

Esta condición puede indicar descalibración del circuito de entrada o de la salida, conexiones defectuosas, falla en la tarjeta PBC analógica. Aun cuando una descalibración de la señal de salida puede no ser critica, la acción integral de controlador puede algunas veces presentar discrepancia. Tales problemas pueden prevenir que el controlador actúe abriendo o cerrando completamente el elemento final de control.

7.5.5 Fallas en la posición de las válvulas. Si el valor de la posición de la válvula de reciclo se desvía significativamente del valor deseado, el controlador activará una falla de posición (PosF). Aun cuando esta falla puede ser activada por medio de un mal funcionamiento del transmisor de posición o del posicionador de la válvula, también puede indicar descalibración o falla en el circuito de entrada o de salida, conexiones flojas en el lazo de control del actuado o en el lazo de entrada de posición o inclusiva una falla en la tarjeta análoga del controlador.

7.5.6 Condición de emergencia del controlados (fallback). Si el controlador está habilitado para calcular la función de proximidad al surge, a causa de una falla en una entrada análoga o falla en la comunicación serial, se activaráel led que indica Fallback al igual que se activará una señal discreta de la red Modbus, inmediatamente el controlador se colocaráen una función simple, manteniendo un mínimo de flujo, o sosteniendo la salida estable. En el peor de los casos, el controlador seguirá trabajando en automático pero sosteniendo la señal de control del actuador estable.

7.6 ESTADOS DE SEGUIMIENTO (Traking states)

Los controladores antisurge incluyen dos características que permiten que un dispositivo externo manipule la señal de control del actuador:

- Cuando el seguimiento de salida está activo, el controlador antisurge (ACS) sigue una señal análoga de salida desde un dispositivo remoto.

- Cuando existe un control redundante y está activo, el controlador antisurge (ACS) sigue otro controlador de las mismas características.

Si existe cualquiera de las características activa, el estado de operación se mostrará como “ en estado de seguimiento” y el indicador frontal del ASC reflejará el led de seguimiento activo.

7.6.1 Salida de seguimiento. El controlador antisurge puede ser fijado como un selector de señal para el elemento final de control, es decir, puede servir como backup o alternativa para otro controlador. En este caso la señal del actuador es mantenida igual a la señal de entrada análoga designada cuando quiera que se presenta la señal D4. Si la señal discreta D4 es escogida, el ACS mantendrá su acción igual a la señal variable de entrada (por ejemplo SV7). El estado de operación desplegara una indicación desplegara una indicación de “status TRACK”, y el indicador de seguimiento se encenderá. El controlador indicará si se volverá a cambiar su estado a operación automática o manual cuando la entrada D4 haya sido normalizada, y se pueda cambiar la selección de operación. En estos casos es conveniente tener en cuenta los siguientes tópicos:

- Cuando se está devolviendo desde salida de seguimiento a Operación manual, la señal de control permanece constante.
- Cuando el controlador retorna a operación automática, el mismo fija el valor efectivo de la desviación a cero, posteriormente la lleva hasta su valor actual (calculado utilizando las entradas análogas).

Es importante tener en cuenta que si por alguna razón la señal designada falla mientras la salida de seguimiento está activa, el controlador sostendrá su señal de salida constante.

7.6.2 Control redundante. Si el ASC ha sido instalado como un backup de otro, este utilizará comunicación serial para hacer seguimiento a los estados y salidas del controlador que está como principal.

En una conexión redundante típica, cada par de Controladores antisurge con interconectados por medio del selector de control redundante, el cual monitorea la

condición de los reles de fallas, Controla las entradas D1, y conecta el actuador de la válvula a la salida análoga seleccionada del controlador seleccionado. Si se presenta un inconveniente en el controlador principal, el selector de controlador redundante actuará y transferirá el control de la válvula de reciclo al controlador de backup. Este controlador comenzará a controlar desde las últimas condiciones recibidas desde el controlador principal.

8. CARACTERÍSTICAS DE ENTRADAS Y SALIDAS

Este capítulo comprende las opciones de hardware del controlador y como configurar las entradas análogas, Salidas análogas, Entradas y Salidas discretas y los puertos seriales.

8.1 OPCIONES DE HARDWARE

El controlador Antisurge usualmente utiliza cualquiera de las configuraciones del hardware: Controlador Básico para Compresores (BCC) o Controlador extendido para compresor (ECC).

8.1.1 Componentes y configuraciones. Todos los controladores de la Serie 3 Plus, utilizan una plataforma de hardware similsr con los siguientes componentes principales:

- El ensamble de la CPU PCB (Printed Circuit Board) suministra la arquitectura básica para el controlador e incluye comunicación serial y capacidades de entradas y salidas.

- La tarjeta de ensamble PCB análoga, suministra la mayoria de los circuitos de entrada y salida análogos.

- El ensamble PCB auxiliar, suministra las entadas/salidas adicionales y las capacidades computacionales que se requieren en caso de utilizar los controladores para aplicaciones de control de turbinas.

- El ensamble de panel frontal suministra la operación sobre los controladores además de que también suministra información acerca de las funciones de entrada al controlador.

- El panel de ingeniería suministra la configuración de los controladores y las funciones de sintonización.

- El ensamble de fuente de suministro convierte la potencia de entrada al voltaje requerido para la circuiteria interna del controlador.

- El ensamblaje de panel trasero y los ensambles de campo opcionales suministran terminales de cableado a los circuitos de entrada y de salida de los controladores.

➢ **Configuración del montaje.** Con la excepción de los ensambles opcionales de campo (FTAs), los demás componentes de los controladores son usualmente encapsulados en carcazas de aluminio para montaje en paneles de control. A eso se refiere cuando se expresa que el controlador representa una configuración de montaje del panel.

En esta configuración, el panel posterior (el cual puede causar pocos problemas de reparación o de mantenimiento), puede usualmente ser referido como parte de la carcaza. Los componentes restantes, pueden ser reemplazados desde la parte frontal de la carcaza sin remover este del panel.

Alternativamente, los componentes de uno o más controladores pueden ser encapsulados en un encerramiento que cumpla con las normas NEMA. Esto se denomina como configuración de montaje de encerramiento, una opción muy frecuentemente utilizada es en aplicaciones Air miser.

En esta configuración; los paneles frontales y de ingenierïa son montados en la puerta del enclosure y conectados a la CPU PCB por intermedio de un cable Ribbon. La CPU ylas PCB análogas, Fuente de suministro, y los paneles posteriores son montados como una unidad dentro del gabinete, adelante del con algunos FTAs, por medio de los cuales van conectados utilizando Cables de interconexión de alta densidad (HDICs-).

➢ **Configuración de componentes.** Los controladores de la serie 3 plus, pueden ser divididos en cuatro componentes de configuración básicas, dependiendo en si van equipados con Tarjeta de ensamble auxiliar PCB. Ver figura 12.

Las aplicaciones de control en compresores raramente requieren de la tarjeta PCB auxiliar, mientras que en las aplicaciones de turbina usualmente se requiere. De forma, las combinaciones de componentes que no incluyen esto son referidas como configuraciones de control para compresores y las que si lo utilizan se denominan configuración de sistemas de control de las turbinas. Sin embargo, los controladores antisurge y de operación pueden utlizar una configuración de control de turbina cuando la aplicación requiere características auxiliares. De la misma manera, una configuración de controlador puede ser utilizada para aplicaciones de controlador de extracicónn que no requiere características de Ensamble auxiliar.

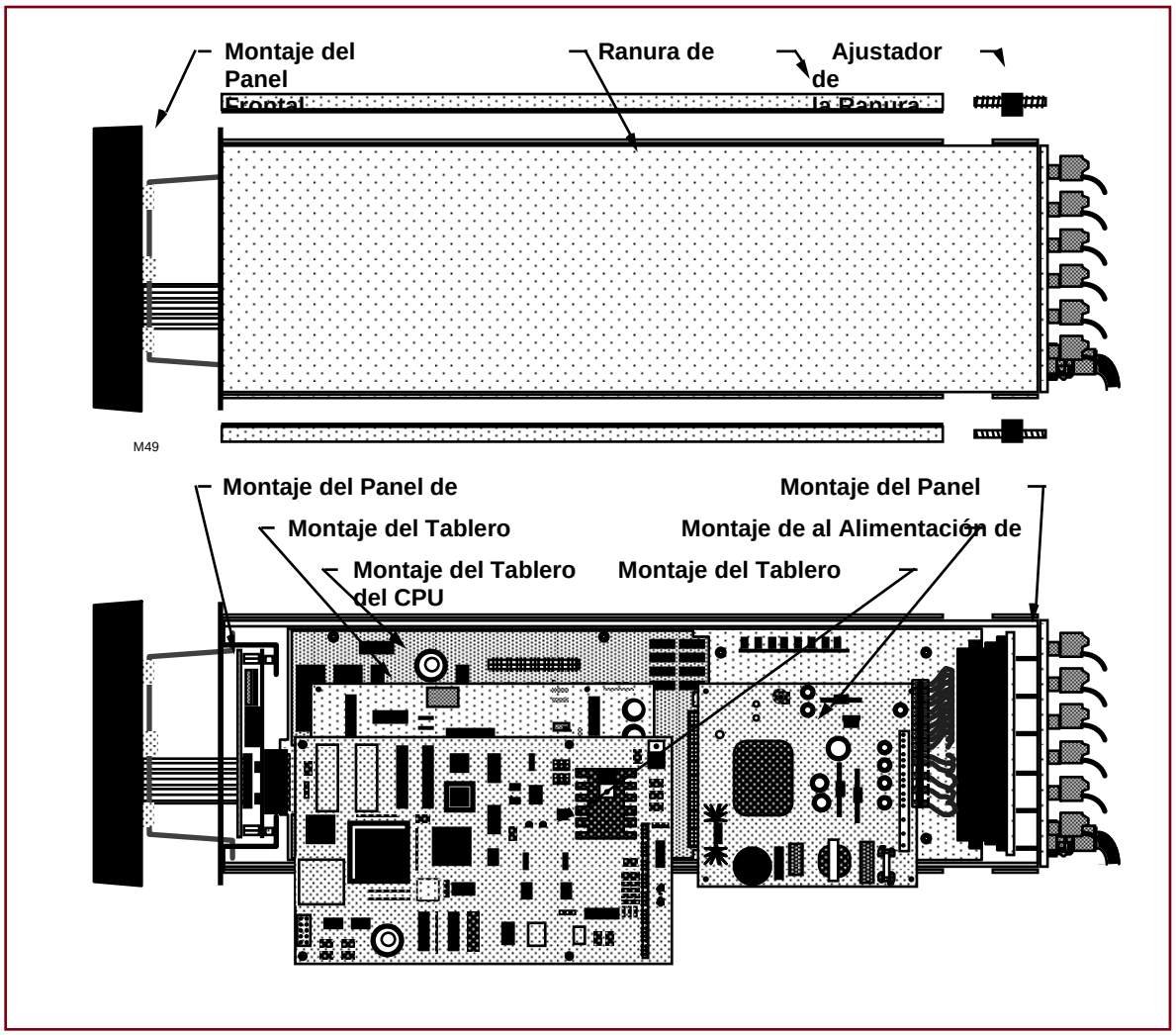
En resumen las cuatro configuraciones básicas pueden ser referidas como:

- La configuración de Controlador Básico de compresores (BBC) la cual no cuenta ni con Tarjeta de ensamble auxiliar, y tampoco con ensamble de panel posterior

- La configuración Extendida de controlador de compresor (ECC), la cual cuenta con un ensamble posterior simple, pero no con tarjeta de ensamble auxiliar.
- El controlador básico para turbinas (BTC), el cual cuenta con una tarjeta de ensamble auxiliar pero no con ensamble posterior.
- El controlador de turbina extendido (ETC), la cual cuenta tanto con tarjeta auxiliar y un sistema de ensamble posterior dula.

Cada configuración de componentes puede utlizar fuente de suministro en AC o en DC (lo cual requiere diferentes paneles posteriores) y puede ser suministrado en configuración de montaje en panel o en gabinete.

Figura 12. El controlador SERIES 3 PLUS y sus componentes principales.



Fuente: compressor control corporation

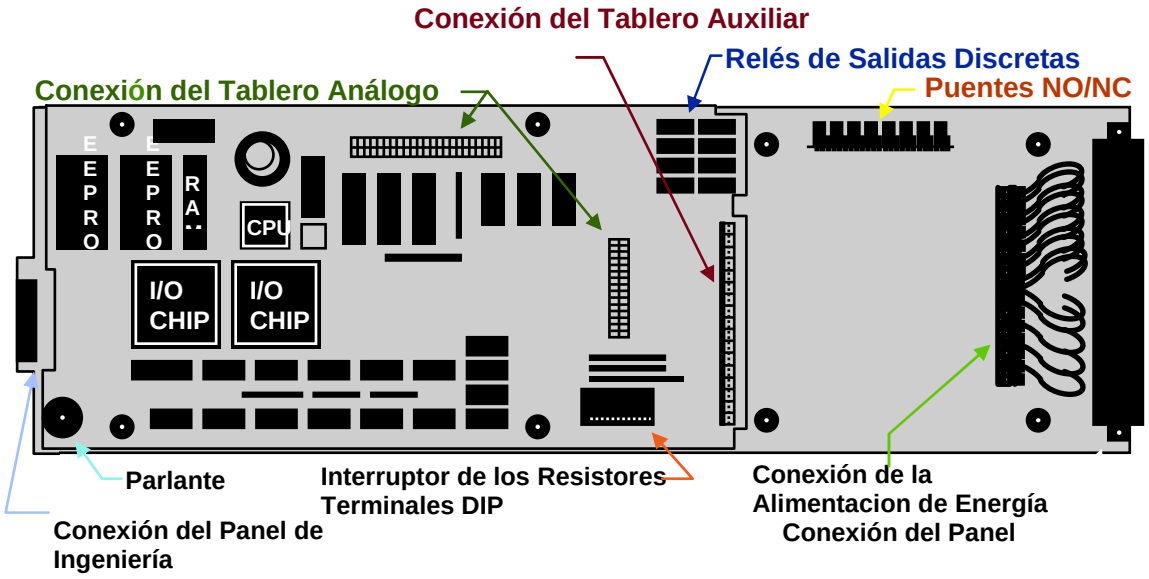
8.1.2 Ensamble de tarjeta CPU PCB. La tarjeta CPU PCB suministra el procesador central del controlador, capacidad de memoria, comunicación serial, y capacidades de I/O discretas. Los componentes más importantes de estas tarjetas son:

- Un chip CPU Zilog Z-80

- Un clip RAM, en el cual los resultados de los cálculos internos son almacenados (esto es memoria de trabajo).
- Dos clips EEPROM que almacena el programa de control y los parámetros
- Dos clips I/O que suministran cuatro puertos seriales, ocho entradas discretas y comunicación entre la CPU principal y los procesadores en el panel de Ingeniería y la tarjeta PCB auxiliar.
- Un super condensador, que energiza la memoria RAM durante periodos de fallas de suministro de energia de esta manera preservar la memoria de trabajo.
- Ocho reles electromecánicos (salidas discretas) y los puentes que fijan su configuración normalmente abierta o normalmente cerrada.
- Fuentes de suministro de voltaje aislado para los puertos seriales
- Resistencias terminales para las redes de comunicación serial, y un set de dip switches para incluirlos en los circuitos de comunicación.

Ver figura 13 para mayor ilustración de los componentes de la tarjeta.

Figura 13 Ensamble de tarjeta CPU PCB.



Fuente: compressor control corporation

Almacenando la información de los parámetros de configuración en EEPROMa permite proteger la información debido a fallas en el suministro de potencia, mientras permite ser fácilmente cambiados ya sea por intermedio del panel de ingeniería o vía comunicación serial mediante un computador de soporte de software.

Además al tener almacenados el programa de control en las memoria EEPROMs permite que en cualquier momento pueda ser actualizado desde un computador en línea descargado el programa respectivo.

La tarjeta CPU PCB se comunica con el panel anterior por medio de un conector de 120 pines, y con el panel de ingeniería por intermedio de un conector de 20 pines. En la configuración gabinete montado, la tarjeta CPU PCB y los paneles de ingeniería son conectados mediante un cable ribbon.

➢ **Puertos seriales.** Los clips de I/O de la tarjeta de la CPU suministran cuatro puertos seriales los cuales son compatibles con el RS-422 estándar.

Los puertos 1 y 2 son utilizados para comunicación con otros controladores de la serie 3 plus, mientras que los puertos 3 y 4 son utilizados para comunicación con computadores o sistemas de control que utilizan el protocolo modbus.

➢ **Entradas discretas.** Los chips de I/O de la tarjeta de CPU suministran ocho entradas discretas que son referidos como D- o DI- 1 hasta el 8:

- Los controladores de compresores tienen terminales para siete de estas entradas
- Los controladores de turbinas soportan todas las ocho entradas

➢ **Salidas Discretas.** La tarjeta CPU suministra ocho reles electromecánicos que pueden ser utilizados para controlar las alarmas externas o aquellas señales que sirvan de entrada a otro sistema de monitoreo de control. Estos son denominados DO- o CR1 al 8:

- Todos los controladores de compresores tienen terminales para soportar solamente primeros cinco de estos reles.
- Los controladores básicos de turbinas soportan los primeros siete de estos relés, mientras que los controladores extendidos soportan todos los ocho. Todos los controladores de turbinas soportan los reles de fallas (DO/CR9) en lasa tarjetas auxiliares.

8.1.3 Tarjeta de emsamble auxiliar PCB. La printed Circuit board auxiliar suministra la capacidad extra de entradas/salidas y de información computacional

necesarios para control de la velocidad y posición de la válvula de reciclo. Todos los controladores de turbinas excepto el controlador de extracción requieren de esta tarjeta. Esta también puede ser instalada en controladores de compresores que requieren el lazo de control de posición, entradas de velocidad o circuito de salida de alta corriente. Ver figura 14.

Los componentes más importantes de esta tarjeta son:

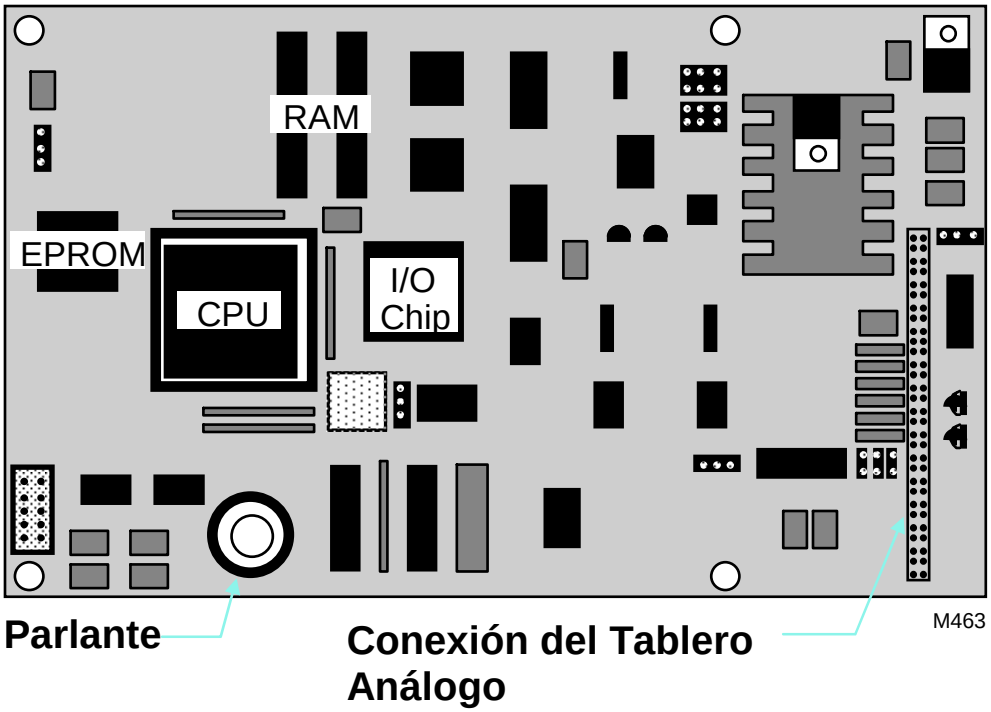
- La CPU Motorola 68332
- Dos memorias RAM
- Una memoria EEPROM
- Un super condensador que suministra energía a la memoria RAM cuando el controlador es desconectado del suministro o durante periodos de apagado largos.
- Una salida análoga que puede suministrar una señal de corriente modulada bipolar de hasta 200 miliamperios, así como también los jumpers para confugurarla.
- Un chip PIO (entrada/salida programable) que suministra ocho entradas discretas adicionales
- Un rele electromecánico (salida discreta) y un puente para configurar este como si fuera normalmente abierta o cerrada, utilizada para detección de fallas en la tarjeta auxiliar, y
- Una tarjeta que suministra las entradas de posición de velocidad.

Esta ultima tarjeta suministra:

- Seis circuitos de entrada de frecuencia, para utilizarse como entradas de velocidad rotacional;

- Una entrada para LVDT y otra para para una senal de 4 -20 miliamperios' y
- Un circuito de modulación para la senal de retroalimentación de frecuencia proveniente de un transductor Neomático Rosemount

Figura 14. Tarjeta de ensamble CPB auxiliar



Fuente: compressor control corporation

➢ **Entradas de frecuencia.** La tarjeta hija suministra seis entradas para lectura de señales de velocidad rotacional de los ejes de una turbina de gas, proveniente de los transductores magnéticos de velocidad (pickups magnéticos):

♦ Los controladores básicos tienen solamente terminales anteriores para solo tres de estas entradas (FREQ 1 3).

- Los controladores extendidos tienen terminales FOM para todos los seis de estas entradas (MPUS 1 a 6)

➢ **Salida de alta Corriente.** La tarjeta auxiliar incluye una salida análoga que puede suministrar normalmente una señal de corriente modulada (hasta 200 miliamperios) que podría ser requerida para controlar la posición de la válvula. De esta forma este circuito es comúnmente denominado la salida de Alta Corriente.

Esta salida puede ser configurada por intermedio de puentes para un máximo de corriente entre 20, 60 o 200 miliamperios. El programa de control puede luego ser configurado para configurar la señal de salida en cualquier porción del rango de corriente seleccionado.

Entradas de Posición. La tarjeta Hija suministra una señal de entrada para un LVDT (Transformador diferencial de variación lineal) y una señal de 4 a 20 miliamperios para medir la posición de las válvulas de control o de la compuerta guía de entrada de aire en la turbina. Estas señales son soportadas solamente por intermedio de Extensiones de I/0 controladores de turbina.

La tarjeta hija también incluye circuitos para descodificar una señal de frecuencia que ha sido modulada en una salida de alta corriente.

➢ **Entradas y salidas discretas.** La tarjeta auxiliar suministra ocho entradas discretas (en adición a las ocho suministradas por la CPU):

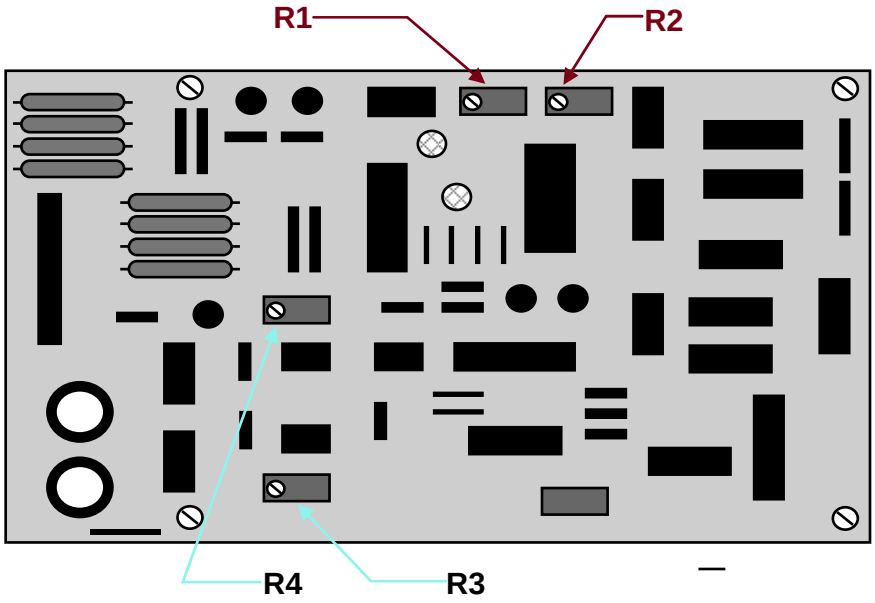
- El controlador de turbina de configuración básica soporta solamente una de estas entradas (D9)

- Los controladores de turbina con configuración extendida soportan todas las ocho (DI-9 a – 16)

La tarjeta auxiliar también tiene una salida discreta (DO/CR9)la cual indica cuando la tarjeta falla en la misma forma que DO/CR1 indica una falla de tarjeta o perdida de tensión a la CPU.

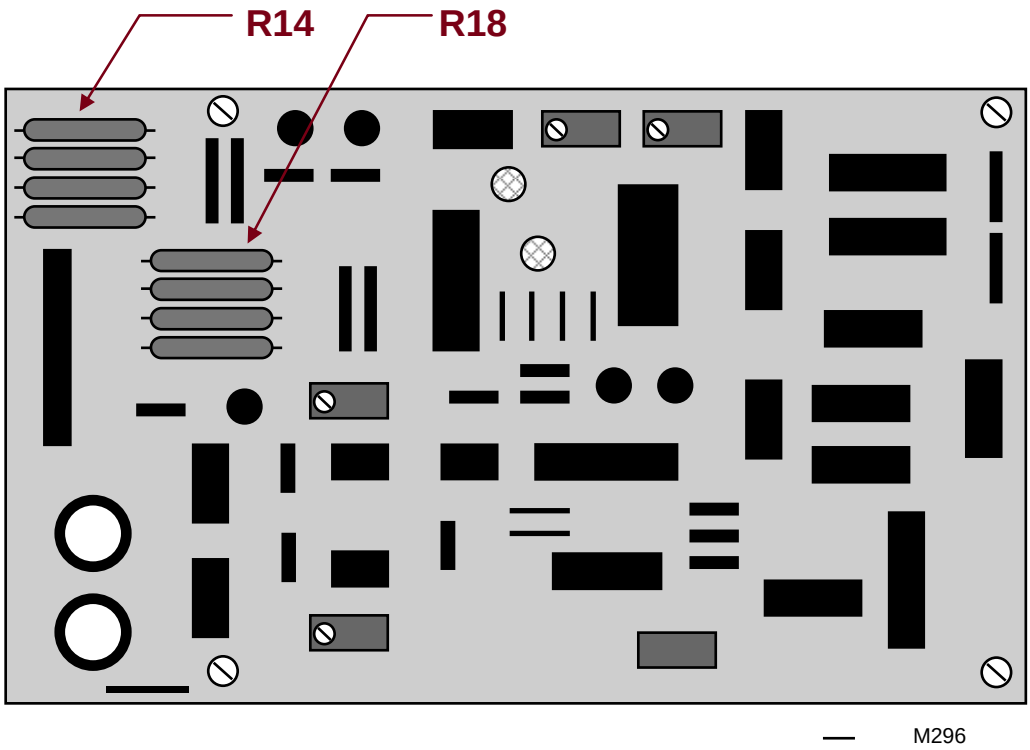
8.1.4 Tarjeta de ensamble PCB análoga. La tarjeta análoga de ensamble PCB suministra ocho entradas análogas y dos salidas análogas. Esta localizada junto a la CPU PCB en el panel. Ver figura 15.

Figura 15. Ensamble de tarjeta análoga del controlador series 3 PLUS.



R1 - Ganancia de Entradas
R2 - Offset de Entradas

R3 - Ganancia de Salida OUT2
R4 - Ganancia de Salida OUT1



Fuente: compressor control corporation

➢ **Entradas análogas.** Las entradas análogas a la tarjeta son denominas como Entradas análogas 1 a 8 o CH1 a CH8.

- Los controladores de turbina de configuración básica solamente soportan 4 de estas entradas (CH1 a CH4)

- Todas las demás configuraciones de controladores soportan todas las ocho señales de entradas análogas.

Todas las ocho entradas deber ser configuradas como entradas de corriente o de voltaje colocando todas los puentes de configuración ya sea en la posición C (20 Miliamperios) o en la posición V (5 Voltios d.c.)

- **Salidas Análogas.** Para los controladores de compresores, las salidas de la tarjeta PCB análoga se denominan OUT1 y OUT2. Están fijadas de fabrica bien sea 20 miliamperios o 5 voltios d.c. Cuando son fijadas para modulación de lazo de corriente, algunas veces son denominadas como 1-1 y 1-2 cuando son fijadas para modulación por voltaje, son denominadas como V-1 Y v-2.

Para controladores de tubina, estas salidas son referidas como OUT2 y OUT3 (IYT 1 es la señal de alta corriente suministrada por ka PCB auxiliar) El terminal anterior del controlador del compresor tiene un jumper que permite configurarlos como salidas de corriente (12 y 13) o salida de voltaje (V2 y V3). En contraste a esto la FOM (Modulo de salidas de campo) suministra terminales tanto para la modulación de las formas de salida de la corriente o el voltaje. Sin embargo, solamente una forma de cada salida puede ser utilizada en cualquier momento.

8.1.5 Ensamble del panel de Ingeniería. La característica de comando del panel de ingeniería es el teclado de ingeniería, el cual puede ser ulizado para ingresar y cambiar la configuración de los parámetros de ajuste y sintonía que adaptan cada controlador a su aplicación especifica.

En los controladores de la serie 3 plus, el panel de ingeniería esta equipado con un microprocesador embebido que controla tanto el teclado del panel de ingeniería como también el panel frontal. Cuando se descargan estas funciones desde la CPU principal, se puede permitir el controlador correr los algoritmos de control mientras se encuentra todavía suministrando una respuesta a las interfaces.

El panel de ingeniería esta montado frente del controlador, inmediatamente detrás del panel frontal, es accesado soltando el tornillo en el fondo del panel frontal, empujando este hacia la izquierda una pulgada y luego izando la tarjeta del panel frontal hacia la izquierda.

8.1.6 Ensamble de Panel Frontal. El panel frontal suministra la interface primaria para el operador, para el controlador Series 3 Plus. Este panel esta unido al panel de ingeniería mediante un dispositivo de izaje y esta comunicado por medio de un cable confuctor de 8 pines.

Las siguientes son las características más realtables de este panel:

- Dos lecturas de 5 digitos las cuales usualmente despliegan la variable controlada y su set point.

- Una lectura de tres digitos que despliega el valor de la salida del controlador (en porcentaje)

- Una lectura alfanumérica de 12 caracteres para desplegar variables de proceso o controladas

- 14 leds de indicación de condiciones de estado y 8 teclas de control.

8.1.7 Ensamble detrás del panel. Todos los cableados de entradas/salidas, y el cable que conecta la entrada de potencia, se conectan al ensamble detrás del panel. Cada controlador esta equipado con una de cuatro versiones básicas de este panel:

- El controlador básico del compresor con conexión detrás del panel
- El controlador extendido del compresor con concexión de entras/salidas detrás del panel
- El controlador básico de la turbina con conexión detrás del panel

- El controlador extendido de la turbina con conexión de entradas/salidas detrás del panel.

Cada uno de estos ensambles están disponibles para fuente de suministro AC o DC y en configuraciones de suministro ya sea con montaje en panel o en gabinete. Los terminales de entras/salidas para el controlador básico son montados directamente en el panel posterior. A fín de facilitar el reemplazo de estos controladores, se utilizan terminales de dos piezas.

Después se une permanentemente cada cable a la mitad removible de su conector, y se puede desconectar cada grupo de cables desconectando la mitad que se encuentra concectada al controlador.

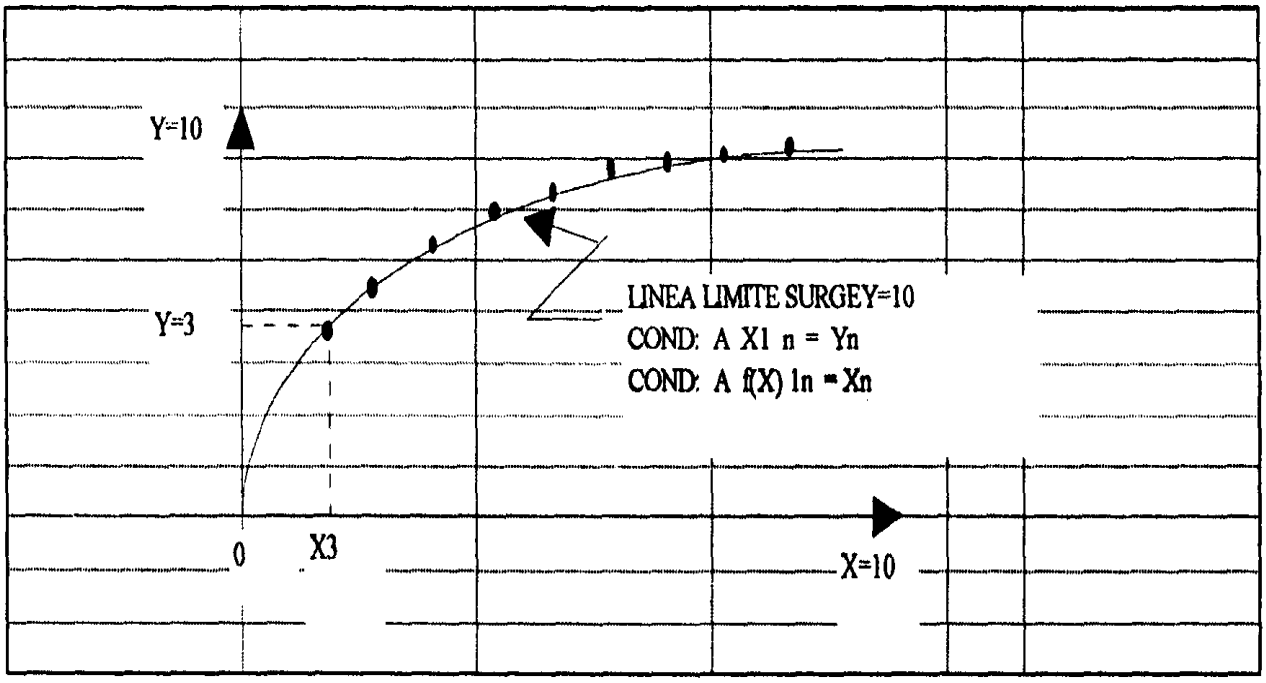
Las dos versiones de entradas/salidas del panel posterior están diseñadas para ser utilizadas con ensamble4s de conexión de campo (FTAs), a los cuales están conectados utilizando Cables de interconexión de alta densidad (HDICs), con conectores plásticos circulares (CPCs).

9. CERCANIA Y CONTROL ANTISURGE

Este capítulo discute los diferentes algoritmos que el controlador antisurge puede utilizar para regular la salida de su compresor, también como las características utilizadas para adaptar aquellos algoritmos al ambiente del hardware específico.

9.1 GENERAL

Figura 16 Definiendo el x mínimo segura como función de Y



Fuente: CHEN, Cffl TSONG, Linear System Theory and Design.

9.2 FUNCION DE APLICACIÓN

El límite de surge de un compresor puede ser cuantificado como el valor mínimo seguro de un mapa de operación de coordenadas variables (X), expresada como una función de una o dos variables (Y y Z)

$$X \min = f(Y \cdot Z)$$

La cercanía a surge puede ser calculada dividiendo el valor mínimo de la variable en su valor actual. Esta relación (Ss) será menor que uno a no ser que el compresor este operando en o por debajo de su límite de surge.

El método especifico que el controlador de la serie 3 plus utiliza para calcular la proximidad de un compresor al surge es definido configurando la “función de aplicación “MODE. A fA), la cual selecciona uno de varias “fA Modos” ecuaciones que comparten la formula general:

$$Ss = K. f1(Y). f5(Z) / X$$

Donde:

f1(Y) = Caracterizador coordenada Y
f5(Z) = Caracterizador general
K = Coeficiente línea límite de surge
X,Y = Coeficiente primarias del mapa de operación
Z = Coeficiente secundaria específicadaa como argumento de f5

En la mayoría de los modos Fa, las coordenadas primarias (X,Y) son variables calculadas, que son derivadas usualmente de las variables de proceso del controlador y de los valores obtenidos de los controladores compañeros.
Debido a que las señales requeridas para cada modo fA, son generalmente las presiones de succión y descarga, temperatura y mediciones de flujo (y posiblemente de velocidad rotacional), las funciones de aplicación pueden ser expresada como:

$$Ss = \frac{Kxf1\ (Ps, Pd, Ts, Td) \times f5\ (Z)}{\triangle\ Po\ /\ (Pxf3\ (N)}$$

Donde:

f3 (N) = Coordenada X del catracterizador

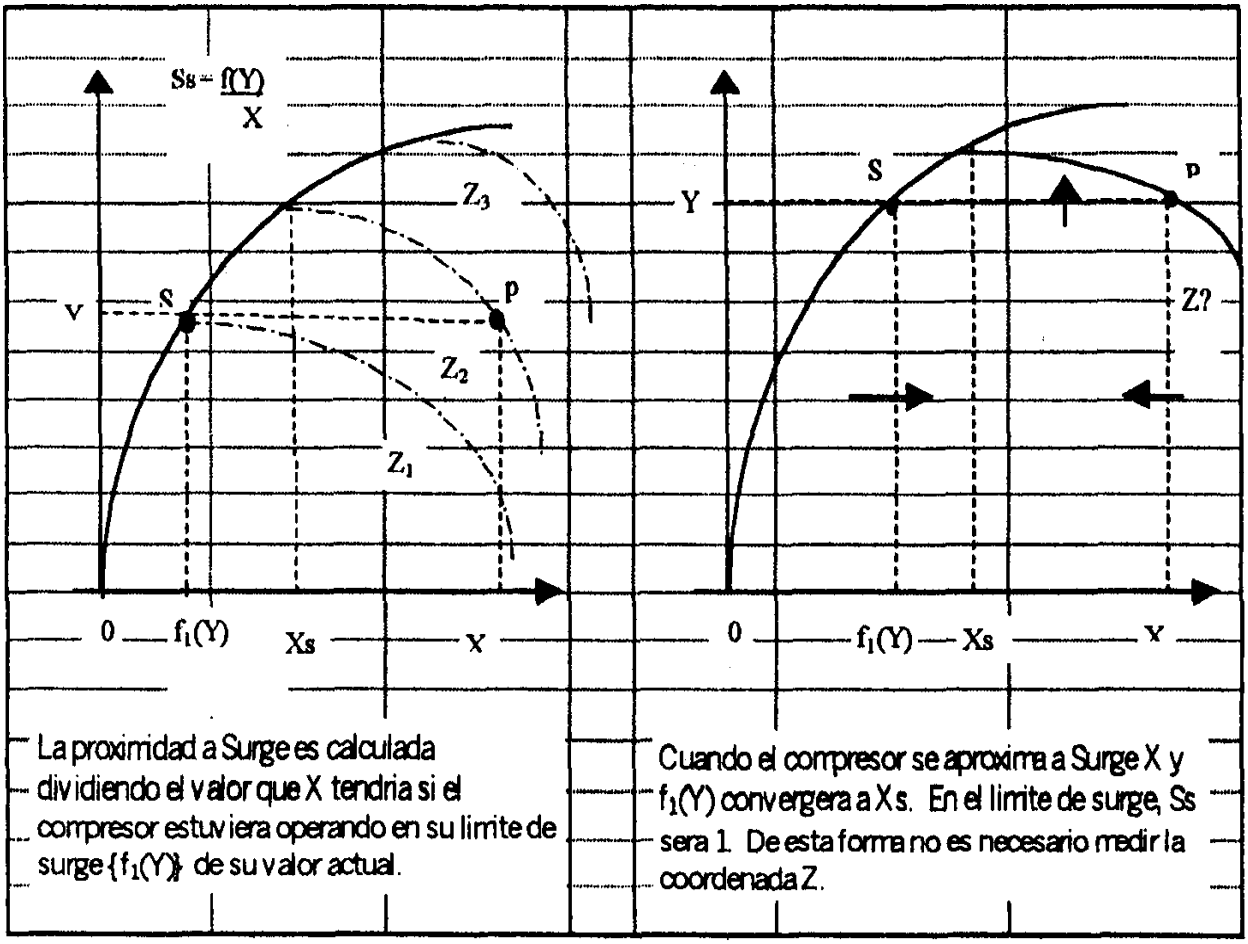
En teoría el coeficiente de la línea limite de Surge (spec:A K) podía ser uno y el valor mínimo de X podía ser definido por las funciones de caracterización. En la practica K es usualmente un valor nominal de 0.5 y las funciones son fijadas de acuerdo a esto.Menores ajustes pueden ser realizados aumentando o disminuyendo K, lo que es más fácil que resetear los 10 parámetros que definen una variable dependencia de función.

9.2.1 Funciones de Caracterización. Algunos modos fA utilizador de coordenadas X [CONO. A f (x) 3 #] para definir la variable de coordenada x como una función de otra variable (puede ser velocidad o la variable de proceso CH4). En constante con esto el caracterizador del proceso CH4. En constante con esto el caracterizador Y [COND. AF(X) 1 # AND x 1 #[define el valor seguro mínimo de la coordenada x como una función de la coordenada Y. El caracterizador general [cond: Af(x)5 #y x 5#] puede ser utilizada para fefinir las coordenadas o el límite de surge como una función de la variable definida como el argumento f5 [MODE. SAG], Ver figura 14.

- Si SS g es off, este argumento es el exponente del cabezal politrópico (T), el cual es algunas veces una buena medición de la composición del gas.

- De otra forma, este argumento es la variable del proceso correspondiente (Por ejemplo: Si Ssg = 7, ts es una función de PV7)

Figura 17. Calculo de Ss como una función de las 3 variables de coordenadas.



Fuente: CHEN, Cffl TSONG, Linear System Theory and Design.

En aplicaciones que utilizan fA 34 o f1 35, el caracterizador de flujo reportado [COND A f(X) 6# AND x 6 #] define la carga como una función de velocidad o relación de compresión. Finalmente, el caracterizador de línea de control [COND. A f(x) 4 # y x 4 #] es utilizado para varias líneas de control.

Cada una de estas funciones es definida por 10 pares de datos que representa el argumento y los valores de función correspondiente. El controlador utiliza interpolación lineal para calcular valores intermedios.
Se debe seleccionar ocho valores para cada variable independiente (X1 a X8) cada uno de los cuales deben exceder su predecesor. Estos son definidos por los parámetros correspondientes COND x # Xo a Xs son predefinidos como 0.00 y 10.00 para fl y f2 y como 0.00 y 1.00 para f3 a f6.

Se deben también determinar los 10 valores correspondientes de cada función variable dependiente [Yn = f (Xn)] Los cuales son definidos configurando los parámetros COND f(x) # correspondientes.

9.2.2 Los sistemas de 3 coordenadas. Si solo se requieren 3 variables (x,y,z) para definir un sistema de coordenada invariante Ss puede ser calculada desde dos cualquiera de ellos.

$$Ss = K. Fk(y) /X$$

Si observamos las curvas de operación que grafican Y para varios valores de Z (ver figura 50) Podemos calcular Ss comparando el valor de X en el punto de operación al valor que se podría tener si el compresor estuviera en la línea de surge con en el mismo valor de y. Como es definido por K. F1(y) en la mayoría de los casos K será igual a uno a menos que por consideraciones de escala requiera tener algún otro valor.
El valor de Z no necesita de ser conocido, aun aunque se piensa que este podría ser diferente para los dos punto:

- Si ek punto de operación se aproxima al limite de surge o lo largo de una línea de constante Z, x y fl(y) convergirán.

- Si el punto se aproxima al límite de surge a lo largo de una línea de constante y, x disminuirá a f1(y) y los dos valores de Z conversaran.
- Si todas las 3 variables cambian, la diferencia entre X y f1(y) disminuirá (y Ss aumentará todavía) si el punto de operación nuevo esta cercano a la línea limite de surge.

9.3 ESTRATEGIAS FALLBACK

El controlador antibombeo serie 3 ofrece una gran variedad de fA modos que le permite a usted confeccionar su comutación inicial para su aplicación específica. En la mayoría de las aplicaciones los algoritmos más complicados proporcionaran ahorros mayores de energía, puesto que le permiten a usted sintonizar más agresivamente el controlador.

Pero debido al requerimiento de señales de entrada adicionales, los algoritmos mas complicados también son más propensos a presentar falla en el transmisor. En muchos de los casos, es factible proporcionar una protección antibombeo continuada sustituyendo un valor constante aproximado para la entrada que se pierde (o algún calculo intermedio tomando como base esa entrada). En el pero de los casos, usualmente es mejor invertir a control mínimo de flujo que continuar controlando o tomando como base la entrada sospechosa.

Tabla 7. Códigos de función de salida discreta

Cód. Función

Auto El controlador esta operando automáticamente (vea la operación manual)

Lam La respuesta de control de uno o más de los anillos de control de limitación es mayor que cero.

Off El relay nunca se dispara (+Off para siempre desenergizado.Off para siempre energizado).

On El relay esta siempre disparado (+On para siempre energizado, -On para siempre desenergizado).

Open La válvula de control se encuentra abierta (la señal de control excede al aseguramiento de la salida baja)

Outl Falla de la auto-prueba de salida(es decir SV8 difiere de OUT1 por mas del +-5%)

RT Margen de seguridad menor que el umbral de la respuesta de disparo de ceciclo.

Ser Error de las comunicaciones serial (la actividad de comunicación serial esperada no ha sido detectada).

SO La respuesta de seguridad ON ha incrementado el margen de seguridad (al menos se ha detectado un bombeo.

Surg El conteo de bombeo de seguridad ON excede el umbral definido por el usuario (es decir n> COND. D CONST 0).

Al final de esto, una serie de estrategias Fallback ha sido introducida en el controlador antibombeo serie 3 Plus. Cada una de estas puede ser habilitada individualmente (fijando los parámetros correspondientes de MODE: A fD3) y cada uno utiliza una o más constantes, las cuales se fijan por medio de los parámetros COND. A CONST.

Dependiendo del modo fA que usted selecciona, mas de uno de estos algoritmos podría ser aplicable a una falla de entrada dada (o combinación de fallas). En tales casos, el controlador seleccionara el modo falback o los modos (de aquellos

que se encuentran habilitados) que utilicen tantas entradas validas como sea posible.

El indicador falback del tablero frontal se iluminara siempre que uno o más de estos modos falback se encuentre activo.

Además de los algoritmos opcionales discutidos a continuación, las siguientes estrategias fallback siempre se disparan cuando se detecten las condiciones indicadas:

- Si la medición de flujo calculado esta siendo compensada por una restricción de flujo, esa compensación se discontinua si falla cualquier medición de presión requerida. Puesto que la rata de flujo medida en tales aplicaciones siempre será menos que la rata de flujo verdadera, esto no compromete la protección de bombeo.

- Si la medición de flujo calculado esta siendo compensada por una restricción de flujo, corriente debajo de un enfriador posterior y la señal de temperatura del enfriador posterior se pierde, se utiliza la temperatura de la descarga. Puesto que esto también subestima deliberadamente la rata de flujo, este falback no compromete tampoco la protección de bombeo.

- El control limitante de la presión de succión o descarga se suspende si falla una entrada análoga requerida.

9.3.1 Salida constante (mod fD31). Virtualmente cada mofo fA requiere una medición de flujo para la rata de alimentación succión. Si esa entrada falla, el

único recurso es abrir la válvula antibombeo la suficiente para evitar el bombeo bajo las peores condiciones posibles del proceso.

Esa estrategia de fallback se habilita fijando MODE. A fD 3 1 a la posición ON. Entonces, cuando la señal hacia CH1 de entrada análoga se encuentra por fuera de su rango aceptable, el controlador invertirá a la posición manual. El comportamiento de la señal de control durante esta transición depende del valor de COND. A CONST 1.

Su CONST 1 es cero, el controlador calculara continuamente una versión filtrada de su señal de control. En el caso de una falla en la entrada, se pasara manual utilizando esta salida filtrada la cul provocará un trasciende que pueda haber resultado la fila de la entrada) como una señal de control manual inicial. De lo contrario, la señal de control será fijada igual a la de CONST 1.

En cualquier caso, usted puede entonces variar normalmente la señal de salida. Sin embargo, usted no debe hacerlo tomando como base la pantalla la cual muestra DEV en el tablero frontal – su valor estará basado en la entrada con fallas.

9.3.2 Control mínimo de flujo (Modo fD 32). Cuando las entradas requeridas para calcular la cabeza politrópica reducida fallen, el bombeo con frecuencia puede ser evitado manteniendo una rata de flujo mínima.

El controlador antibombeo implementa esta estrategia calculando su variable S, de proximidad al bombeo como la relación de su punto de ajuste de flujo mínimo 8COND. A CONST 2) y la medición de flujo calculado (Po,c
El controlador aumentara la rata de flujo de reciclo como sea necesario para mantener esta relación por debajo del margen de seguridad deseado:

Esta estrategia fallback de flujo mínimo se habilita fijando MODE. A fD 32 a On. Esta es usualmente disparada solo cuando fallen varias entradas de presión o temperatura. Pero podría ser disparada por la falla de una señal sencilla de presión o temperatura si ninguno de los modos falback drástico ha sido habilitado (o ninguno es apropiado para su modo fA escogido).

En la mayoría de los casos. Es simplemente la variable del proceso para la entrada del flujo (es decir PV1). Sin embargo, si esa medición se compensa para una medición de flujo, el valor compensado es utilizado en la medida que las entradas de presión requerido se encuentra dentro de sus límites de prueba del transmisor. De no ser así, el valor no compensado de PV1 es utilizado.

Para un compresor multi-sección la rata de flujo calculada se computa de la medición de flujo el valor asumido CONST7, vea MODO fD37) en este computo. El modo FA35, el cual requiere presiones de sección y descarga para calcular su medición de flujo, también utilizara la relación de comprensión Fallback si falla cualquiera de estas presiones.

No existe fallback especifico que permita que el modo f A 34 calcule su Po cuando la entrada Ps falle (CH5). Sin embargo ,esa condición causara que la función de caracterización f2 asuma el valor de su ultimo punto de definición (es decir COND : A F (X) 2 9). Un fallback adecuado puede entonces ser configurado asignando valores apropiados a ese punto caracterizador y el punto de ajuste de flujo mínimo.

9.3.3 Relación de compresión Fallback (Modo fD 33). Cuando el modo fA escogido requiera calculo de una relación de compresión tomando como base las presiones de succión y descarga ,el controlador puede subsistir una relación de compresión asumida cuando falle la entrada de la presión de descarga .Esta

estrategia Fallback se habilita fijando MODE : A fD 33 a ON y haciendo la entrada de la relación de compresión defaulkt (COND : A CONST3).

Los modos de computo inicial que calculan el exponente de la cabeza politrópica (sigma) de la relación de compresión no utilizaran esta relación de compresión default para ese propósito. En lugar de eso, MODE : A fD 34 debe ser habilitada para permitir el uso de un valor default para sigma. Además ,aquellos modos fA utilizarán el MODO : A fD 39 en lugar de fD33 (si ambos se encuentran habilitados).

Puesto que presión de succión se requiere inclusive cuando se utilice una relación de compresión default, la falla de esa entrada siempre pasa a MODE : AfD 32.

9.3.4 Sigma asumido (Modo fD34). Algunos de los modos del controlador antibombeo calculan el exponente de la cabeza politrópica (sigma) de las relaciones de temperatura y compresión. En muchas aplicaciones, esta variable será ligeramente constante y puede predecir de un conocimiento de los procesos. Por consiguiente, si la presión de descarga o una de las entradas de temperatura falla, la protección adecuada del bombeo con frecuencia puede ser lograda sustituyendo un valor constante para sigma.

Este fallback se habilita fijando MODE : fD34 a ON. El controlador puede entonces sustituir un exponente de la cabeza politrópica default (COND : A CONST 4) cuando se detecta la falla de cualquier entrada de presión.

Puesto que el valor calculado para sigma puede probar ser de poca confianza durante el arranque del compresor CONST 4, también será utilizado como el valor de arranque para sigma.

Puesto que la presión de succión se requiere inclusive cuando se utiliza el exponente de la cabeza politrópica default, la falla de esa entrada de nuevo volverá al modo A fD 32.

9.3.5 Velocidad asumida (Modo fD 35). Cuando el modo escogido fA requiera una entrada de velocidad rotacional, el controlador puede sustituir una velocidad asumida cuando falle esa entrada.

Esta estrategia fallback se habilita fijando MODE : A fD 35 a ON y haciendo la entrada de la velocidad asumida como COND : A CONST 5.

9.3.6 Angulo asumido del alabe (modo fD 36). Cuando el modo fA incluya la función de caracterización general (f5, la cual se utiliza usualmente para definir el limite de bombeo como una función del ángulo del alabe guía), el controlador puede sustituir un valor asumido para este argumento siempre que la señal de entrada asumida vaya por fuera de su rango aceptable.

Esta estrategia fallback se habilita fijando MODE: A fD 36 a ON y haciendo la entrada del valor asumido de la señal de entrada como COND: A CONST 6.

9.3.7 Rata de flujo de etapa adyacente asumida (Modo fD 37). Para compresores multi-sección, el controlador antibombeo puede basar su medición de flujo calculado sobre la medición de flujo reportado de una sección del compresor adyacente (esto es opcional en los modos fA 31 y 32 y se requiere en los modos fA 34 y 35). El algoritmo de computo inicial puede entonces sustituir un valor asumido para P+ o Po-, cuando se habilite para obtenerlo a través del canal de comunicación serial del puerto 1

Esta estrategia fallback se habilita fijando MODE : A fD 37 a ON y haciendo la entrada del P, asociado asumido como COND: A CONST 7.

9.3.8 K alterno para controladores de válvula compartida (MODO fD 38). Cuando se utilicen varios controladores antibombeo para proteger un compresor multi-sección con solamente una válvula antibombeo, el controlador básico (es decir el que manipula la válvula)puede ser configurado para utilizar un coeficiente de pendiente de la línea de bombeo diferente (K) cuando pierda la comunicación con uno o más controladores secundarios (es decir aquellos con MODE A SS 2 habilitado)

9.3.9 Cabeza poli trópica basada en la temperatura (Modo fD39). De las consideraciones termodinámicas, es posible mostrar que la ecuación para una cabeza poli trópica reducida puede también ser expresada en términos de la relación de la temperatura.

Debido a que los modos fA que calculan sigma computan la temperatura y presión, pueden utilizar cualquier expresión para calcular Hp.red. Pero, puesto que las mediciones de presión usualmente reaccionan mas rápidamente a las condiciones de cambio del proceso, el método preferido es utilizar la relación de comprensión.

Sin embargo, cuando la entrada de presión de descarga falla, el método de relación de temperatura puede ser utilizado. Esta estrategia fallback se habilita fijando MODE. A fD 39 ON. Puesto que aun será necesario utilizar el valor default para sigma (CONST 4) MODE. A fD 34 también debe ser habilitado.
Este modo fallback será utilizado en lugar de fD 33 (sin ambos se encuentran habilitados)

9.3.10 Relay con fallas. El Relay CR1 normalmente se encuentra energizado de tal manera que fallara OFF, produciendo por consiguiente una indicación automática de falla del harware o perdida de potencia. Este es controlado por un circuito detector de fallas (el cual también controla el LED de falla del tablero frontal)- si se detecta una falla, el CRI se desenergiza. Que se abran o cierren los contactos del CRI depende de la posición de su puente NO/NC.

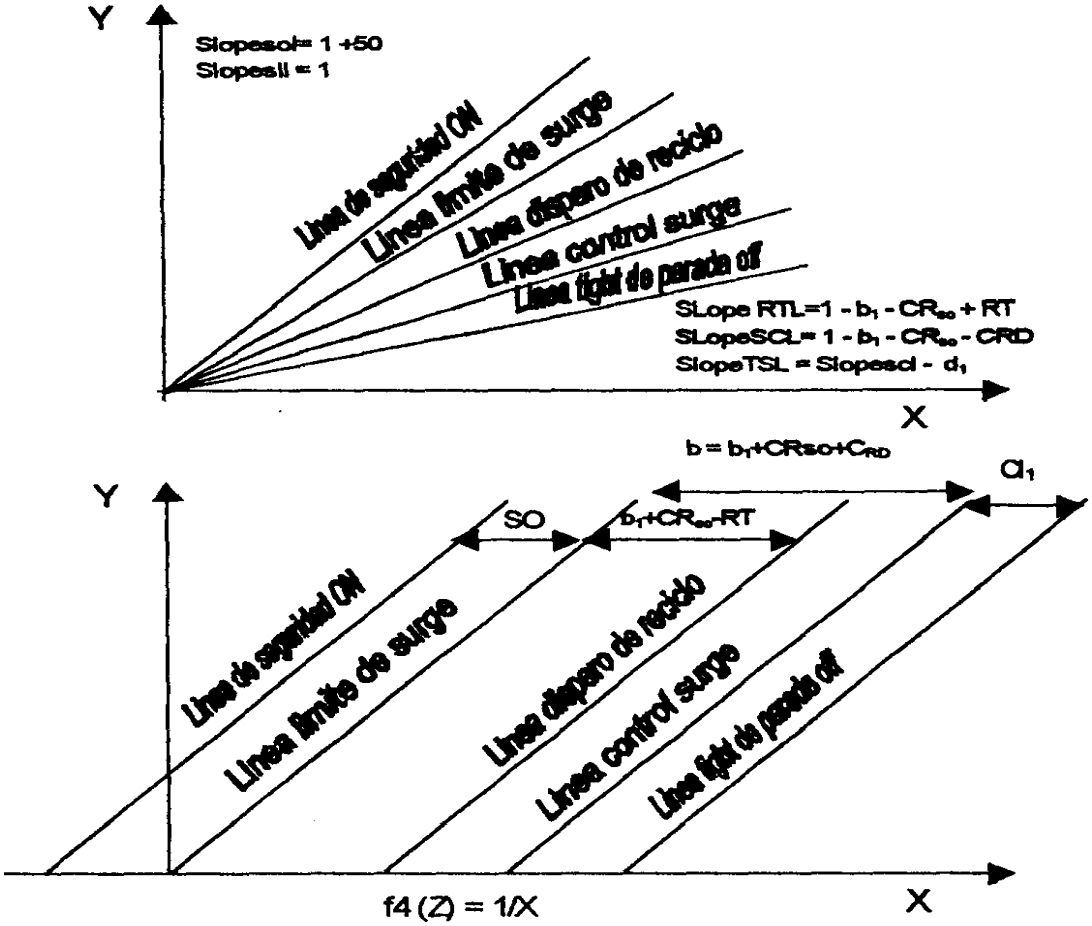
El modo: D R A 1 usualmente recibe el valor de OFF, lo cual significa que CRI nunca se dispara y por consiguiente permanecerá energizado.

Usted también puede asignar a CRI cualquier otra función de salida discreta, en la medida que se encuentre configurado o desenergizado cuando se dispare. Excepto para la función ON, esto significa que la señal del parámetro RA debe ser negativa. El relay entonces se desenergizará cuando se detecte una falla de la condición o controlador correspondiente. La operación del indicador de falla del tablero frontal no se vera afectada por una función adicional.

9.4 CONTROL ANTISURGE

9.4.1 General. Este capitulo describe como las distancias entre el punto de operación del compresor y diferentes líneas de control de antisurge son calculadas y manifiestan como la respuesta es derivada seleccionando una rata del flujo de reciclo que satisfacerá una variedad de objetivos de control. Ver figura 18.

Figura 18 Definiendo la forma de las áreas entre las líneas de control



9.4.2 Líneas de control. Varias acciones de control son activadas cuando el punto de operación cruza las líneas de control correspondiente:

- La respuesta PI (proporcional – Integral) incrementa la rata de reciclo cuando el punto de operación esta a la izquierda de la línea de control de surge y la reduce cuando ese punto esta a la derecha de esa línea.

- La respuesta de disparo de reciclo (Recycle Trip) acúan el control de la válvula cuando el punto de operación esta a la izquierda de la línea del recycle hip.

- La repuesta safety On mueve la línea de control antisurge a la derecha si el punto de operación cruza la línea de Safety O.

- La respuesta Tight Shut – off cierra completamente la válvula cuando el punto de operación esta a la derecha de la línea Tight Shut – off línea.

Así como la línea limite surge (S11) es la localización de puntos para los cuales aproximan a surge (Ss) es igual a uno cada línea de control es la localización de puntos para los cuales:

Ss = 1 + Bias f4 (z)

Donde

F4 = caracterizador de línea de control [COND : A f(x) 4 # y x 4 #]

z = Argumento lineal de control [MODE: A F (l)]

Podemos definir el margen (o distancia) entre cualquier línea de control y su línea de referencia (usualmente SLL) como:

margen = bias. f4 (z)

En adicción la desviación (devcl) del punto de operación de cualquier línea de control dada puede ser calculada como:

Devcl = 1 + bias . f4 (z) - Ss

Si una línea de control (por el ejemplo, la RTL) esta a la derecha de la SLL su bias y margen son negativas, el punto de operación cruza la línea ce control antes de

que el compresor entre surge y la desviación de la operación de la línea de control excede su desviación desde la SLL (surge limites línea).

Deshabilitando el argumento de la línea de control define estas distancias como funciones de la medición de flujo calculada (usualmente A Po,c) Dando este argumento un valor entre uno y ocho (l<fc<8) los define como funciones de la señal variable correspondiente. Sin embargo el valor 4 selecciona la velocidad rotacional.

Si el caracterizador de la línea de control es definido como una constante, las líneas de control se demostrara como en la gráfica una línea izquierda en la figura 5.4. Si el argumento de la línea de control y el denominador de Ss son los mismos (f.c. 1 off en la mayoría de f4 modos) el caracterizador esta definido como una función inversa [f4 (z) = 1/x] las líneas de control aparecerán como se muestra en la gráfica inferior de la figura 18.

- **Línea de control de surge.** La línea de control de surge (SCL) define la distancia mínima deseada en el punto de operación y la línea limite de surge. La SCL esta siempre a la derecha de la SLL el margen del control del Surge. La CL esta siempre a la derecha de la SLL en margen de control de surge (SCM) es la distancia entre esas líneas, lo cual es calculado como:

$$SCM = b.\ f4\ (z) = 1\ (bl + CR_1 + CR_{50} + CR_0\ ).\ f4\ (Z)$$

Donde,

b = Bias de la línea de control de surge

b = Bias de inicial de control de surge [SPEC: Ab]

CRo = respuesta desviación

CR_{50} = respuesta safety On

La desviación del compresor (DEV) de la CL es:

DEV = devsc = 1- b. f4 (z) - Ss

La respuesta antisurge Pl < Proporcional - Integral> incrementa la rata de reciclo cuando el punto de operación esta a la izquierda de esta línea (DEV<0) y la reduce cuando ese punto esta a la derecha de la línea (DEV 0).

La proximidad del punto de operación a esa línea se requiere como "S" el cual igualara a 1 cuando ese punto este sobre la línea de control de surge (SCL)

S=l-DEV = Ss + b.f4(z)

- **Línea de disparo de reciclo.** Se define como el limite de operación debajo del cual la respuesta de disparo de reciclo comandara la apertura de la válvula de control (esta respuesta archiva cuando el punto de operación esta a la izquierda de esa línea).

La posición de esta línea es definida relativa a la línea limite de surge. La distancia entre ellas es el margen de disparo de reciclo (RTM). El cual es calculado como:

RTM= (RT-b_1CR_5o) x f4(z)

Donde,

b = bias de control inicial de surge [SPEC : Ab 1]
CR = respuesta Safety ON
RT = distancia a la línea Recycle Trip [SPEC : ART]

La desviación del compresor ($deve_n$) desde la RTL es:

$dev_n = 1 + (Rso).\ f4\ (z) - Ss$

Así como aplica para todas las líneas de control, esta distancia es positiva cuando el compresor esta operando a la derecha de la RTL.

➢ **Línea de seguridad-ON.** La línea Safety ON (SOL) define un limite de operación por debajo del cual, el compresor se puede encontrar bajo el efecto de surge. La respuesta Safety ON incrementara la cuenta acumulativa de surge y también incrementara el bias de la línea de control (total b) cuando el punto de operación se mueve a la izquierda de esta línea.

Esta línea esta a la izquierda de la línea limite de surge. La distancia entre ellas es el margen de seguridad (SOM) . El cual es calculado como:

SOM:so- f4(z)

Donde:

50: Distancia de la línea Safety ON [SPEC : A 50]

La desviación del compresor (dev_{so}) desde SOL es:

devso = 1 + 50 . f4 (z) - Ss

Esta distancia es positiva cuando el compresor esta operando a la derecha del SOL.

➢ **Línea de parada Tignt off.** La línea TSL define la desviación mínima S.C.L. por encima del cual la respuesta TS puede reducir la señal del control del actuador a cero. Esta línea siempre esta la derecha de la línea de control de surge. La distancia entre ellas es el margen TSM_{vel} cual es calculado = dl.f4 (z)

Donde:

d1= Distancia a la línea TSL (SPEC: AD1)

La desviación compresor (dev_{ts}) es : devts = 1-(b + d1).f4 (z)-Ss
Esta distancia será positiva si el compresor esta operando a la derecha del TSL

9.4.3 Respuesta derivativa. Si la respuesta derivativa [MODE: A fc 3) es habilitada, este algoritmo varía el margen de control de surge como una función de la velocidad en el que el punto de operación esta aproximado al limite de surge. Esa margen puede de esta forma ser mantenido pequeño (para minimizar consumo de energía) a menos que el compresor se este en movimiento rápidamente hacia surge, en cuyo caso ese margen es temporalmente aumentado.
La dimensión del margen de control de surge es gobernada por el coeficiente total b, el tercer mínimo del cual es la repuesta derivativa:

$$b = b_1 = CR_{so}, + CR_D \qquad (Cr_D = b_3 \,.\, Td_o \times \frac{dSs}{dt} - r_3)$$

Donde,

b = máxima respuesta derivativa [SPEC : A b 3]
d Ss/ df = derivada de Ss con respecto al tiempo (en porcentaje del span / 160 mseg)
r3 = CDR bias zona muerta [PID : A r 3]
Tdo = CRD constante de tiempo [PID : A td O]

Sujeto a la restricción que:

$$dSs$$

$$o < Tdo \quad \left(\frac{}{dt} - r3 \right) \quad < 1$$

Lo cual indica que:

$$O_3 \, CR_D < b_3$$

Este valor calculado para esta respuesta es utilizado solamente si es mas grande que el valor de la búsqueda previa. De otra manera, esta respuesta es disminuida en rampa en la relación general de rampa [PID : A G]

Este algoritmo es suspendido [esto es, CRo es sostenido constante] cuando el punto de operación esta a la izquierda de la línea limite de surge. Como una ayuda al ajuste de esta respuesta, la respuesta derivativa máxima [pid; a td o .] ejecuta un test y opcionalmente ajusta el cero del valor derivativa mas alto detectado.

9.4.4. Respuesta Safety On. Los errores de configuración, cambios de proceso, uso del compresor, o disturbios severos puede ocasionalmente causar surge, a pesar de los esfuerzos del controlador PI, disparo de reciclo, y respuesta derivativa. Cuando eso pasa la respuesta de Safety ON limita tanto el número de surges como la posibilidad de su recurrencia.

La amplitud del margen de control de surge es gobernado por el coeficiente total b, el segundo termino de la cual es la respuesta safety ON:

$$b = b1 + CR \text{ so } CRd \qquad CRso + \sum_{j=1}^{n} bz, i$$

Donde,

n = cuenta de surge acumulativa

bzj = valor de bias incremento de safety ON [SPEC : Ab 2] cuando surge j fue detectado.

Incrementado a la cuenta de surge se mueve el CL a la derecha, así se incrementa la distancia entre el punto de operación y el limite de surge.

➢ **Detección de surge.** Si el intervalo de repetición de safety ON [SPEC: A A S] es menos que un segundo, el controlador de surge es incrementado cada vez que el punto de operación cruce a la izquierda de la línea de safety ON. De otra manera, este contador puede ser repetidamente incrementado en ese intervalo tan largo como la desviación sea negativa si el método de detección de surge [MODE: A f D2] es fijada a cero, este es el único método utilizado para detectar surge.

Si selecciona un método de detección de surge no igual a cero, el controlador también monitorea la rata de cambio de svl y lo sv2 (las cuales son las mediciones de presión y flujo de descarga) para indicaciones de surge. Un surge detectado por cualquiera de estos métodos activara también una repuesta de disparo de reciclo.

- Si f D2 es fijado a 1, una respuesta safety ON es activada cuando un cambio rápido en flujo es detectado seguido por un cambio de presión rápida dentro del " tiempo de presión después del flujo" [SPEC : A], a un cambio rápido de presión es detectado, seguido de un rápido cambio de flujo dentro del" tiempo de flujo después de la presión" [SPEC :A A2]

- Si f D2 es fijado a 2, esta respuesta se dispara cuando se produzca un cambio rápido en flujo a un cambio rápido a flujo a un cambio rápido en la presión.

- Si f D2 es fijado en 3 esta respuesta es activada con un cambio rápido de flujo.

• Si f D2 es fijado en 4 esta respuesta es activada con un cambio rápido de presión.

La derivada de SV1 es comparada a la rata de flujo de cambio umbral [SPEC: A A1], mientras que la de SV2 es comparada a la rata de presión de cambio umbral [SPEC; A A3] si uno de estos 'limites tiene un valor positivo, los controladores de surge incrementaran cuando la rata de cambio de la variante correspondiente excede ese nivel. Si este es un valor negativo los controladores se incrementaran cuando la rata de cambio sea negativa que el limite. En cualquier caso, la detección de surge es luego suspendida por el intervalo de safety ON [SPEC: A A5].

➢ **Controladores de surge, evento de surge.** El controlador puede mantener dos cuentas separadas del numero de surges que ha detectado.

La cuenta acumulada de surge es el numero total de surge que ha sido detectada. La respuesta safety ON incrementara el margen de control de surge cuando este no sea cero. Si la duración del evento de surge (COND: D CONST 1) es fijado a cero, este conteo disparara cualquiera de las salidas cuando se iguale o exceda el limite de Eventos de surge (COND: D CONST 0).

Si la duración del evento de surge no es cero, el controlador mantendrá un conteo de eventos de surge:

- Si el conteo es cero, la detección de un surge arrancara un evento temporizado.
- Cada vez que un surge incrementa esta cuenta, y se activara alguna de las salidas discretas de evento si alcanza el limite de eventos de surge.
- Este conteo es fijado en cero nuevamente y todos los relees de eventos de surge son inicializados cuando el temporizado ha transmitido por la duración del

evento de surge.

Presionando la tecla RESET SAFETY ON, configurando la entrada D5, o inicializando la bobina so mediante el MOD BVS se resetean ambos a cero.

9.4.5 Respuesta del control antisurge. La respuesta del control antisurge (ACR) representa la intención de flujo de reciclo. Debido a que incrementando este flujo, es muchas veces la mejor solución disponible para objetivos de protección y de control.

ACR es calculado agregando las mas altas respuestas proporcional, integral y disparo de reciclo de varios lazos de control.

Por ejemplo, abriendo una válvula de reciclo, puede ser no solamente la mejor manera de prevenir surge, sino también la mejor forma de limitar la presión del sistema al máximo. En otros casos, solamente una válvula de recicla puede ser instalada sobre un compresor de múltiples etapas, a fin de que el flujo de reciclo debe ser mantenido lo suficiente alto para prevenir el surge en cualquiera de las etapas del compresor.

➢ **Selección de la señal PI y RT.** El ACR es calculado agregando desacoplamiento de lazos y respuesta de control de capacidad primaría (solo en aplicaciones de compartimiento de carga) a respuestas proporcional, integral y recycle hip.

$$\Delta CR = CR\ p,max + CRL + CR\ RT, max$$

$$CRL = Cri + \Delta CR, max + \Delta CR\ LD + \Delta CR\ pc$$

Donde:

CRL = Respuesta integral acumulada.

CRi - Integral acumulada previamente.

ΔCRI,max = Respuesta integral más grande entre la respuesta antisurge PI y los lazos limitadores de presión.

ΔCRLD = Respuesta desacople de lazos.

ΔCRPC = Respuesta de control de capacidad primaria.

CRP.max = La mas grande respuesta proporcional de cualquiera de las fuentes listadas para Aimax.

CRRT,max= La mayor de su propia respuesta de recicle Trip.

Mediante la selección de la mas alta respuesta entre PI y RT, el controlador asegura que la rata de flujo de reciclo será suficiente para encontrar todos de sus objetivos de control y protección . Con el fin de prevenir cualquiera de estos lazos de control que experimenten Windup integral, el controlador antisurge los notificara si este esta siendo operado manualmente o si la válvula de control ha sido abierto completamente.

- **Algoritmo PI general.** El controlador antisurge utiliza algoritmo proporcional-Integral PI para calcular las respuestas proporcional (CRP) e integral (ACRI) desde la desviación de cada variable de control de su set point:

$$Crp = \frac{100}{PB} \quad e, \quad \Delta CRI = \frac{100}{PB} \quad .x \quad \frac{Kr}{60} \quad x\ e\ x\ \Delta t$$

Donde:

Δt = tiempo de rastro en segundos.

Kr = Rango de reset [PID: A Kr #, en repeticiones/minuto]

PB = Banda proporcional [PID. A PB #]

Los coeficientes PB y Kr son configurados independientemente para cada función de control utilizando este algoritmo.

- **Zona muerta.** El controlador antisurge puede ser configurado para ignorar las desviaciones pequeñas del punto de operación a la línea de control de surge con solo ajustar el bias DEV - Zona muerta [PID: A r 1].

El error para el lazo PI antisurge es posteriormente calculado agregando o sustrayendo ese bias de zona muerta de la desviación. Esto crea una zona muerta alrededor de CL, el ancho total de esa zona es dos veces el valor de r1 Esta zona muerta puede ser deshabilitada fijando r1 a cero. Note que r1 debe ser menor que la distancia de la línea de Recycle trip [SPEC : A RT].

- **Respuesta Antisurge PL.** Durante cada muestreo, el controlador utiliza su algoritmo de control PI para calcular de manera separada las respuestas proporcional e integral de la desviación de los puntos de operación de la línea de control de surge (CL):

• Cuando la desviación es positiva (DEV<0), la respuesta antisurge PI gradualmente sellará la válvula de reciclo para minimizar reciclo innecesario.

• Cuando la desviación es negativa (DEV<0), la respuesta PI abrirá la válvula de reciclo tanto como sea necesario para restablecer el margen de control de surge deseado.

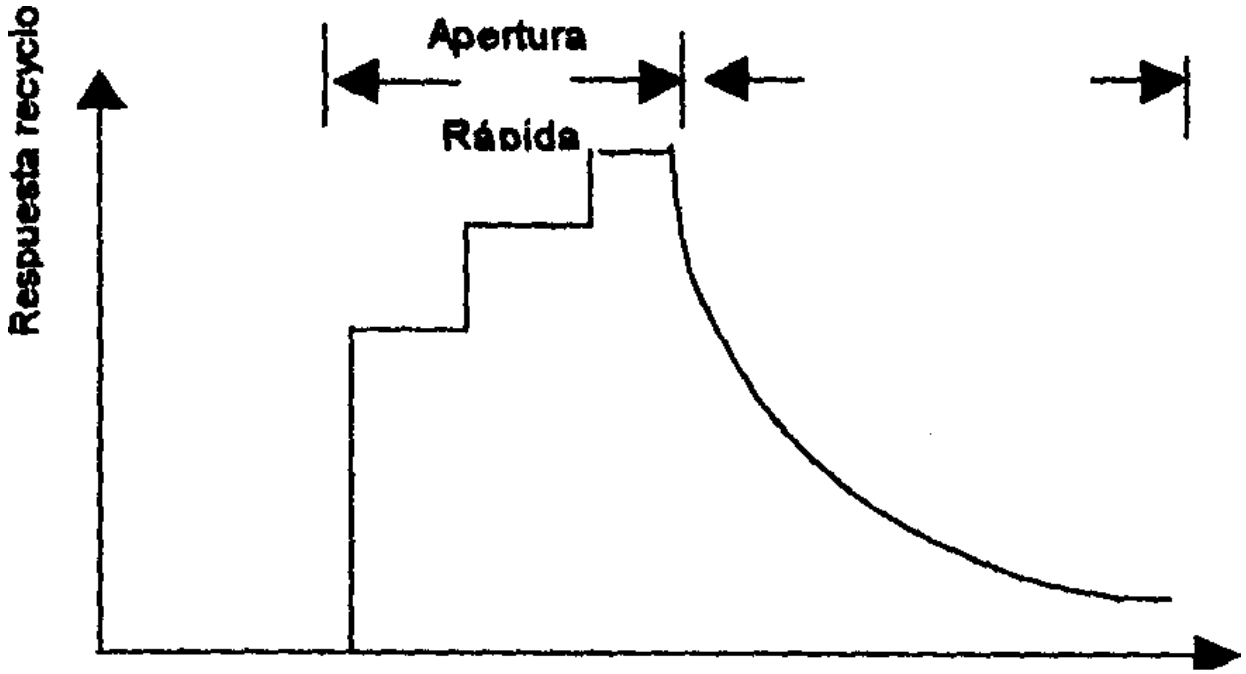
En otras palabras, la respuesta PI es utilizada para controlar disturbios de rutina manteniendo el punto de operación tanto como sea posible al SCL. Este lazo es configurado fijando la banda de desviación proporcional [PID: A PB 1], Rango DEV Reset [PID): A Kr 1], y el bias de la desviación y el bias de la zona - muerta:

e = 0.512. (DEV ± r1)

- **Respuesta Recycle Trip.** La respuesta Recycle Trip protege el compresor de disturbios muy grandes o rápidos para ser controlados por el PI y la respuesta derivativa. En esencia, Recycle Trip define un sobreimpulso máximo de Ss, si este sobreimpulso es sobrepasado, la respuesta recycle trip rápidamente activa sobre la válvula para abrirla, luego espera para que la respuesta PI forme el control nuevamente.

Esta respuesta es activada cuando el punto de operación se mueve a la izquierda de la línea de recycle Trip, o la rata de cambio SV1 o SV2 indica que un surge a ocurrido, el controlador forzara un escalón para que la válvula abra como se muestra en la figura 19

Figura 19. Disparo de reciclo



Fuente: CHEN, Cffl TSONG, Linear System Theory and Design.

Si el recyclo trip derivativo [MODE: A fc 4] es habilitada, el tamaño de cada paso (ART) es calculado como:

$$ACR_{RT} = C1 \left(Td_1 \mathbf{x} \frac{dSs}{dt} - Co \mathbf{x} \mathbf{dt} Dev_{RT}\right)$$

Donde:

Cuando el punto de operación regresa a la derecha del RTL, la respuesta de control de recycle hip disminuirá exponencialmente [SPEC : A Y L]. Esto suministra el control PI mas lento para adaptarlo a las nuevas condiciones.

El led del panel frontal marcado como RT, se encenderá cuando el punto de operación cruce RTL (cuando dev_{rt} se vuelva negativa). Si el controlador esta operando automáticamente, el Led permanecerá encendido hasta que la respuesta disminuya a cero, pero los reles de RT serán clasificados tan pronto como el punto de operación se mueva hacia la derecha del RTL.

➢ **Limitante de presión.** El controlador Antisurge puede limitar la máxima presión de descarga o la máxima presión de succión incrementando el flujo en el reciclo.

• Si la limitante de presión de descarga [MODE: A MVAR 2] es habilitada. Esa respuesta es calculada aplicando la banda proporcional Pd [PID: A PB 2] y Pd Reset Rale [PID: A Kr 2] a la desviación de Pd por encima de la máxima presión de descarga [COND : A SP 2]

e = Pd-SP2

• Si la limitante de presión [MODE : A MVAR 3] es habilitada, esa respuesta es calculada aplicando la banda proporcional Ps [PID : A PB3] y Ps Reset Rate [PID : A Kr 3] a la desviación de Ps por debajo de la mínima presión de succión { COND : A SP 3 }

$$e = SP3 - Ps$$

Incluyendo las respuestas proporcional e integral (Crp y ACR1) en la selección de la señal PI o RT, el controlador mantiene la rata de reciclo lo suficientemente alto para satisfacer los objetivos de la limitante de presión sin comprometer la protección de Surge.

➢ **Escala de límite de presión.** Cuando se esta configurando los límites de presión y los coeficiente PI, se debe tener en cuenta que ellos son porcentajes de una presión absoluta máxima.

Co: Ganancia de Disparo de reciclo { SPEC: ACO}
C_1: Tamaño máximo del paso del paso o escalón de Reciclaje Trip {SPEC: A C 1}
Dev_{rt}: Desviación de recycle hip (es negativo cundo se esta operando a la izquierda de la RTL).
$\frac{dSs}{dt}$ Derivada de Ss con respecto al tiempo (en porcentaje de Span/ 160 mseg)
Td_1: Constante de tiempo de recycle Trip {PID: A Td 1}

El tamaño de cada paso esta sujeto a la reshiccion que:

$$O < (Td, x \frac{dSs}{dt} - Co. Dev_{RT}) < 1$$

Lo cual implica que:

$O<ACR_{RT}<C1$

Estos cambios de paso serán agregados en intervalos fijados por el intervalo de repetición de disparo de reciclo {SPEC: A C 2} por el tiempo que el punto de operación se encuentre a la izquierda de la RTL y $\frac{dSs}{dt}$ sea positiva.

Si la aproximación a surge es rápido, el termino derivativo ($Td_1 \times \frac{dSs}{dt}$)

Usualmente restablece a un punto de operación seguro antes de que el término proporcional ($Co \times dev_{RT}$) llegue a ser significativo. De otra parte, si la aproximación a surge es lenta, el termino derivativo puede no llegar a ser significativo. En tales casos, el termino proporcional podría crecer hasta que la respuesta de disparo de recicle resultante fuera lo suficientemente grande para mover el punto de operación de nuevo a la CL.

Como ayuda de sintonía, la derivada máxima Ss [PID : A Td 0.] muestra el valor detectado mayor de esta derivada, adicionalmente utilizando la opción de forzar disparo de reciclo [MODO TEST] se puede evaluar la respuesta del compresor a una acción de control del recycle hip.

En aplicaciones donde la medición de flujo presenta ruido, la derivada de disparo de reciclo debe ser deshabilitada [fc 4 off). Esta respuesta generara pasos de magnitud constante C1 mientras el punto de operación se encuentre a la izquierda de la RTL. Adicionalmente se puede fijar Td1 a cero y Co a uno, lo cual permite establecer el tamaño del paso (escalón):

C_1 .x dev_{RT}

Por ejemplo, asumiendo que la presión de descarga es medida por medio de un sensor de 0-500 psig y la presión de succión por medio de un sensor de O - 50 psia. Si se ha escalizado PV2 y PV3 de manera relativa a sus máximos valores absolutos, un limite de presión de descarga de 250 Psig se podría ingresar como 52% (264,7 Psia / 514.7 Psia).

- **Desacople de Lazos.** Los efectos desestabilizantes que pudieran resultar de las interacciones entre los lazos del control antisurge y performance pueden ser contrarrestados por un algoritmo de desacople de lazos, (ver capitulo 6 compartimiento de cargas).

Para desacoplar un controlador antisurge de un compañero, se debe habilitar el parámetro Decoupling Controller [MODE: A Ss 0 #] correspondiente al numero ID del controlador y asignar un valor apropiado al correspondiente parámetro Decoupling Gain [COND: A M #]. El desacople de lazos puede ser deshabilitado completamente configurando todos los ocho parámetros Ss o off, lo cual puede ser ejecutado ingresando la secuencia MODE: A S S OO desde el panel de ingeniería.

9.5 PROTECCIÓN DE COMPRESORES DE MÚLTIPLES ETAPAS

9.5.1 General. En esta parte se describe las características adicionales utilizadas para proteger compresores multietapas y compresores conectados en red de los fenómenos del surge.

9.5.2 Compresores Multietapas. Un compresor multisección tiene uno o más puertos entre las descarga y la sección donde sidesheams pueden ser inyectados.

Generalmente se requiere el calculo de flujo equivalente para todos, o el calculo de aproximación a surge desde ratas de flujo masivo combinados. Si se utiliza una única válvula de reciclo para proteger mas de una sección del compresor, se debe utilizar el compartimiento de válvula para asegurar una adecuada protección bajo las condiciones cambiantes del proceso.

➢ **Medición del flujo equivalente.** Las ecuaciones utilizadas para calcular la medición de flujos equivalentes para flujos combinados o divididos son derivados de los balances de masas y energía. En general, rada controlador antisurge mide el flujo en su sección respectiva y agrega o sustrae del flujo reportado por el controlador de la sección adyacente.

➢ **Balance de Energía y masa.** El flujo másico a través de una platina puede ser calculado como:

$$W \propto x.\ M.P.\ \triangle po/\ (Z.T)$$

Donde:

$\triangle$ po = Caída de presión a través de la platina de orificio

M = Peso molecular.

P = Presión absoluta.

T = Temperatura absoluta.

Z = Compresibilidad.

Cuando se calcula $\triangle$ po para un flujo combinado pasando a través de un orificio imaginario, podemos asumir que la constante de proporcionalidad es 1 y escribir el balance de masa como:

$$W = w_1 \pm w_2$$

El que puede ser expuesto a:

$$\sqrt{\frac{MxPx\triangle Po}{Z.xT}} = \sqrt{\frac{9M_1P_1\triangle Po,_1}{Z_1xT_1}} \pm \sqrt{\frac{C_2M_2P_2Po_2}{Z_2 \times T_2}}$$

Donde,

C_1 ,C_2 = coeficientes constantes de escala.

Si los 3 flujos tienen la misma composición, cualquier cambio en el peso molecular tendría un efecto proporcional en las 3 mediciones de flujo. La composición de los 3 flujos debe ser igual pero no necesariamente constante. Si nosotros también asumimos igual comprensibilidad, podemos escribir el balance de masa como:

$$\triangle Po = \frac{T.\ (W_1 + W_2)^2}{P}$$

Dadas las composiciones iguales y asumiendo colores especificas constantes, el balance de energía puede ser escrito como:

$$T = \frac{T_1W_1+T_2W_2}{W_1 + W_2}$$

➢ **Flujo repartido.** Los controladores antisurge con opción de carga variable [MODE : A fcg] deshabilitada los reportes de la medición de flujo calculado de sus controladores adyacentes por medio del puerto 1.

Si los modos fA 31 o 33 son seleccionados, el flujo reportado es calculado como:

$$\triangle Po = \triangle Po,\ c.\ f_2\ (Rc)$$

Donde:

△po, = medida de flujo calculado

△po, = medida de flujo reportado

F(Rc) = caracterizador de flujo reportado {COND : A fc(x) 2# y X 2 #}

Re = relación de compresión (Pd/Ps)

Si △po,c y △po,r corresponden a la misma localización, f_2 puede ser definido como una constante:

$$\triangle Po,r = \triangle po,c \; F2(RC) = 1$$

Si no son de la misma localización, la función requerida puede ser derivada de un balance de masa:

$$Ws^2 = Wd^2$$

$$\triangle po.s. \; Ps/Ts = \triangle po,d. \; Pd / td$$

$$\triangle po.s = \triangle po,d \; . \; Rc. \; Tc. \; Ts/Td^{22}$$

De los principios termodinámicos que comandan la compresión politrópica:

$$Td/Ts = Rc^t$$

Sustituyendo estas ecuaciones en las expresiones previas, resultan los siguientes algoritmos de compensación para la medición de flujo de descarga:

$$\triangle Po,s = \triangle Po.d. \; Rc^{1-t}$$

$$F(Rc) = Rc^{1-t}$$

$$\triangle Po,d = \triangle po,s. \; Rc^{1-t} \qquad F(RC) = RC^{1-t}$$

Modo fA GA el flujo másico combinado,

$$w = b5. \triangle PO,c - Pc / Tc$$

Donde:

Bs = coeficiente de flujo másico

$\triangle$Po,c = medición de flujo calculado

Si el flujo es medido con la descarga, estos cálculos deben utilizar la presión y la temperatura de descarga. Si el es medido con la succión, se deben utilizar la presión y la temperatura de succión.

- **Compartimiento de la válvula de reciclo**. Cada etapa de un compresor debe ser equipada con su propio controlador antisurge aun cuando solo haya una válvula de reciclo para toda la maquina. En tales casos, varios controladores antisurge pueden ser configurados mediante el puerto #1 para compartir una única válvula de reciclo.

En estas aplicaciones la respuesta de un controlador maestro que comanda la válvula, es utilizada para controlar la válvula de reciclo. Todos los otros controladores que utilizan la misma válvula de reciclo, someten sus respuestas de control al controlador maestro. El controlador maestro protege al compresor completo de un evento de surge seleccionando la más alta respuesta PI y RT.

Para configurar un controlador antisurge con un controlador maestro, se debe deshabilitar el parámetro valve- shanng Master ID [MODE : A Ss 2] y también cualquier Valve shanng companion [MODE : A Ss 1 #] que no corresponde a los números ID de controladores que comparten la válvula. Para configurar el controlador como una válvula compartida, se debe fijar el controlador maestro que controla el comportamiento de la válvula con el respectivo número ID del

controlador maestro. Para deshabilitar estas características, se fijan los parámetros Ss2 ySs1 a off.

Cada uno de los controladores que comparte la válvula pueden ser configurados para seleccionar el estado de parada cuando el compresor sea apagado si cada estado de operación del controlador es configurado de esta manera, el sistema manipula la válvula como requiere para proteger los compresores que se encuentre en funcionamiento.
La señal de control al actuador de los controladores que comparte la misma válvula no son mostradas en el panel frontal, y tampoco pueden ser manejadas manualmente mediante un computador central. Sin embargo la entrada del sistema bia Modbus registra la señal de control del actuador del controlador maestro.

9.5.3. Redes de compresor. Los controladores de la serie 3 plus pueden ser utilizados para regular la capacidad y optimizar la eficiencia de valores de compresor operando en serie o paralelo (ver capitulo 6).

En estas redes los controladores pueden participar en las opciones de sobre control de presión y control primario de capacidad y además calculan la proximidad al surge relacionando aquellos variables requeridos por los algoritmos de balance de cargas. En redes de compresor en paralelo, controladores antisurge también pueden ser configurados para ser un balance del reciclo (lo que ocurre automáticamente en compresores en serie).

- **Controlador de capacidad primario.** Como se describe el capitulo 6, el objetivo de un controlador de capacidad primario en un sistema de comportamiento de carga es regular el rendimiento de un grupo de compresores,

basando las acciones de control antisurge y de operación den referencia a una señal de estación de control.

La respuesta de control de capacidad primario (∆CRpc) que es agregada a la respuesta de control antisurge se calcula como:

$$\Delta CRpC = Mo_{3,A}\ \Delta\ SCS.\ f_{A2D2A}\ (S)$$

$$FA(s) = \{1 \text{ si } s > B_{3>,A\ y}\ M_{0,8}\ .\ \Delta SCS > 0$$

$$O \text{ si } S < B_{3,A}\ oMo,\ _{A}S < 0\}$$

Donde,

$B_{3,A}$ = umbral de reciclo [COND : A b 3}

$_{MO,A}$ = ganancia de reciclo [COND : A M O]

S = S variable de proximidad de surge seleccionada por el controlador de comportamiento de carga especifica [MODE : ASS 4]

∆ SCS = cambio de la señal de control de la estación.

Si se configura como se ha escrito, esta respuesta incrementara solamente si la S seleccionada excede el umbral de reciclo. La estación de control puede entonces variar la salida de los controladores antisurge de una forma que minimice el reciclo sin comprometer la protección de surge.

➢ **Balance de carga.** Como se describe el capitulo 6, el lazo el control CV1 del controlador de compartimiento de carga, distribuye la carga mediante una igualación apropiada de las variables de balance de cargas.

Si el parámetro series load variable [MODE: Afcg] es habilitado, un controlador antisurge calculara la siguiente medida (L) de la carga total,

$$L = \frac{A.\ F6\ (cvb)}{} + \frac{(1\text{-}A)\ suser}{}$$

10 2

$$Suser = S.\ (1+Wr)$$

$$Wr = F_{2D}\ (IvP).\ F_{2A}\ (Rc)\ .\ \frac{Pd}{100\sqrt{Td}}$$

donde,

A: selector del dominio (O, < A < 1) calculado por la estación de control.
Cv_b: variable balance de carga {MODE : A f Og}
$f_{2A\backslash D}$: características de flujo repartido
[COND: Af(x)2# y x 2 #]
f2A: caracterizador de flujo de reciclo
[COND: D f(x) 2# y x2 #]
F6: caracterizador variable de balance
IvP: posición de válvula requerido
[cond: a F(X) 6 # AND X 6 #]
Pd: presión de descarga
RC:relación de presión
S: proximidad a surge
Td: temperatura de descarga
Wr : rata de flujo de reciclo

La variable de balance de carga puede ser cualquiera variable de proceso [1< fDg < 8] si se fija 4 selecciona la velocidad rotacional. Deshabilitando ese parámetro [fDg = off] selecciona la relación de compresión (Rc, en porcentaje de 10).

Para compresores paralelos al parámetro de series Load variable [MODE: A fcg] debe ser deshabilitado. Balance de carga igualara la cercanía a surge del compresor.

10. CONTROL DE PERFORMANCE (OPERACIÓN)

Este capitulo describe el algoritmo PID general que nos dice como configurar el control de capacidad, control de limitación, y los lazos de control de capacidad alternativas, y explica como aquellas respuestas individuales son combinaciones para llegar a una respuesta de control de operación general.

10.1 ALGORITMO PID GENERAL.

El controlador de performance utiliza el siguiente algoritmo PID para calcular de manera separada la respuesta proporcional (CRp), integral (ACR), y derivativa (ACRn) desde la desviación de cada variable de control de su setpoint:

$$CRp = \frac{100}{PB} x\ e;\ \triangle CR_1 = \frac{100}{PB} \times \frac{Kr}{60} x\ e.\ \triangle t;\ CR_D = Td \times \triangle e / \triangle t$$

Donde:

$\triangle t$ = tiempo de rastreo (scan) en segundos

Kr = rango reset [PID: PiD P Kr #] en repeticiones/minutos

PB = banda proporcional {PID: P PB #]

Td = coeficiente derivativo [PID : P Td #] en segundos

E = error normalizado.

Los coeficientes de sintonización y la dirección del lazo son fijados independientemente para cada lazo con el fin de suministrar un control más uniforme se puede definir una zona muerta para el lazo de control de capacidad y un set point en rampa es aplicado para cada lazo o un umbral de control.

Los coeficientes PB, Kr, Td son separados rápidamente por cada función de control utilizando este algoritmo.

- El lazo de control de capacidad es sintonizando fijando la banda proporcional CV1 [PID: P PB 1], el rango de reset CV1 {pid: P Kr 1} y el coeficiente derivativo {pid: P Td 1}.

- El lazo de control de limitación CV2 es sintonizado fijando la banda proporcional CV2 {PID: P PB 2}, Rango reset CV2 {PID: P Kr 2} y coeficiente derivativo CV2 {PID: P Td 2}.

- El lazo de control de limitación CV3 es sintonizado ajustando la banda proporcional CV3 [PID: P PB 3], rango reset CV3 [PID: P Kr2] y coeficiente derivativo CV3 [PID: P td 3]

- El control alterno de capacidad o comportamiento de carga de reserva es sintonizado fijando la banda proporcional FCV [PID: P A3 -] rango reset fcv [PID: P Kr -] y coeficiente derivativo fcv [PID:PTd].

- La respuesta de presión de sobre control es ajustada la banda proporcional POC [PID: P PB0] y rango del reset POC [PID: P Kr0}

10.2 ZONA MUERTA

El controlador de performance puede ser configurado para ignorar disturbios menores fijando el CV1 bias zonas muertas [PID: P r 1].

El controlador utiliza este bias para calcular un error modificado para el lazo de control de capacidad De esta manera se define la desviación mínima que

producirá un cambio en la respuesta del PID, lo cual crea una zona muerta alrededor de este punto, el ancho total del cual es dos veces el valor asignado a este parámetro si se fija el bias en cero, se deshabilita la zona muerta.

10.3 DIRECCIÓN DE LAZO DE CONTROL

Se debe fijar la dirección del lazo para cada control utilizando el algoritmo PID:

- El lazo del control inverso Cv1 [mode: P Rev 1] fija la relación del lazo de control de capacidad.

- El lazo de control inverso CV2 [MODE: p Rev2] y CV3 [MODE: P Rev3] establece la dirección de los lazos limitadores de control.

- El lazo inverso de FcV [MODE: P DEV-] establece la dirección del control alternativo de capacidad o comportamiento de carga suplente.

- El lazo inverso POC [MODE: P REV)] fija la dirección de la respuesta de sobre control de presión.

La acción directa [Rev off] calcula el error PID como SP - CV donde SP *es* el setpoint y cv es la variable controladora. Este error y la respuesta de control incrementarán en repuesta el incremento de un setpoint. De ésta manera, la acción directa es apropiada cuando incrementando la señal del actuador (OUT1) podría causar que la variable de control se incremente. El control de capacidad directo debe seleccionarse sin incrementar la salida lo cual causa que la variable CV1 se incremente.

10.4 RAMPA EN EL SETPOINT

Con el fin de suministrar un control uniforme, el algoritmo general PID gradualmente introduce cambios de cualquier setpoint de manera de rampa, llevando el punto del valor actual al valor fijado, bien sea por el operador o por cualquier estación remota. Mediante el parámetro de rata rampa general [PED: P G]

- Cuando el control automático es establecido o la secuencia de carga termina, el valor efectivo de cada setpoint es inicializado al valor de la variable de control y luego es llevada al valor que se requiere.

- Cuando se selecciona un setpoint remoto, el setpoint local sigue el valor. Si luego se selecciona el setpoint local, este permanecerá constante en el último valor remoto hasta que fue cambiado.

- Cuando se conmuta de setpoint local, a un setpoint análoga remoto, el valor efectivo del setpoint del lazo de control de capacidad es llevado desde su último valor local hasta el valor filtrado SV4.

- Los parámetros que establecen los umbrales del límite de control definen sus setpoint a alcanzar.

- Cuando se conmuta al setpoint vía Modbus, el registro de sp de capacidad es inicializada al setpoint local. El valor de setpoint remoto puede ser cambiado escribiendo ese registro.

10.5 CONTROL DE CAPACIDAD

La respuesta PID de control de capacidad es calculada desde la derivación de CV1 de su setpoint remoto o local. Este lazo es configurado por:

- Configuración de la variable de control de capacidad
- Configuración del setpoint CV1
- Configurando PID coeficientes de sintonización, Dirección de lazo y zona muerta.
- También se puede establecer un lazo de control de capacidad alterno y utilizar la entrada discreta D6 par conmutar entre control de CV1 y de FCV.

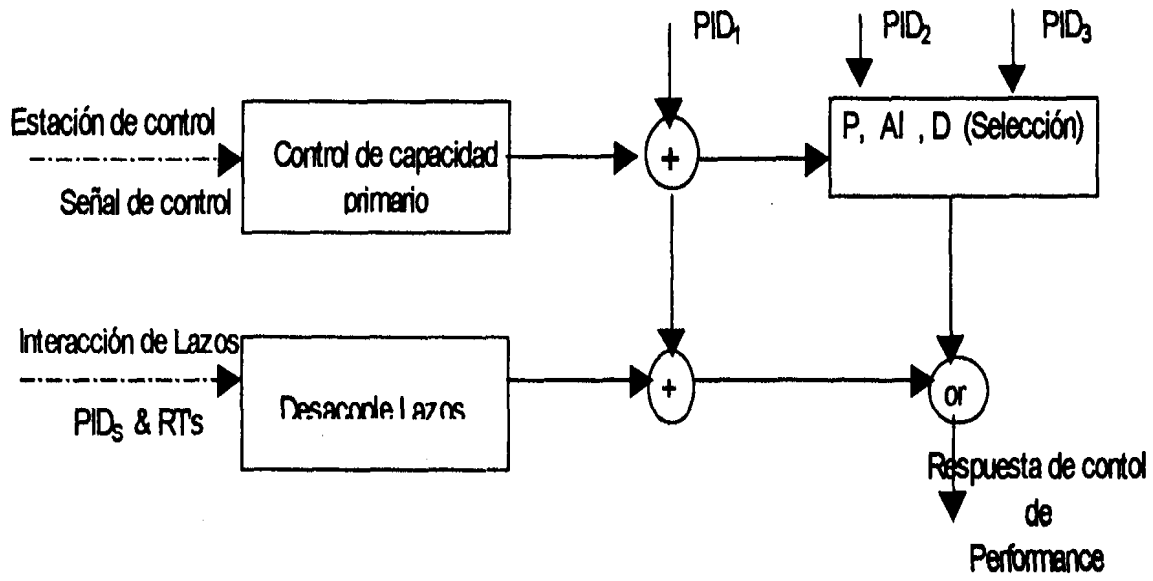
10.6 CONTROL DE CAPACIDAD ALTERNO

Si el comportamiento de carga de reserva (MODE : P f d 3 5) ha sido habilitado, el lazo de control de capacidad regulara la FCV (Fallback Control Variable) en lugar de CV1 cuando la entrada discreta D6 sea activada. Si la entrada a FCV falla, la respuesta de control de performance se sostendrá constante.

Este lazo de control siempre utiliza un setpoint local, el valor inicial del cual es definido por el setpoint inicial FCV (COND: P CONST 5). Si este parámetro es cero, el setpoint inicializará al valor de FCV. En cualquier caso, este puede ser variado presionando desde el panel frontal. Este lazo también cuenta con su propio algoritmo PID y sintonización de coeficientes y parámetros de dirección de lazos.

Cuando D6 es clasificado, el control por CV1 se restablecerá y el setpoint seleccionado será llevado desde el valor actual de la variable al valor local o remoto previo. Ver figura 20.

Figura 20. Selección de Respuesta de Control



Fuente: OGATA, Katsushiko. Discrete Time Control Systems

10.7 Respuesta de control de performance. Durante cada tiempo de búsqueda general PID calcula las respuestas proporcionales, integral y derivativo a las desviaciones de la variable de control de capacidad y también la variable de mayor prioridad que se encuentra fuera del rango de su respectivo setpoin.

Si CV2 y CV3 se encuentran dentro de los rangos especificados, la respuesta de control performance (PCT) se calcula desde la respuesta de CV1:

$$PCR = CR_{p,1} + CR_I + CR_{D,1}$$

$$CRI = CRi + \Delta CR_{I,L} + CR_{LD}$$

Donde:

$CR_{D,1}$ = Respuesta derivativa CV1

CRI = Respuesta integral acumulada

CRi = Integral acumulada previamente

$\triangle CR_{I,L}$ = Respuesta integral CV1

$\triangle CR_{LD}$ = Desacople de lazos

$CR_{p,1}$ = Respuesta proporcional CV1

En una aplicación de compartimento de carga, (fA 02 o 03) la respuesta CV1 proporcional es deshabilitada (siempre cero) entonces la respuesta completa será:

$$PCR = CR_1 + CR_{D,1}$$

$$CRI = CRi + \triangle CR_{I,1} + \triangle CR_{LD} + \triangle CR_{PC}$$

Donde,

$\triangle CR_{PC}$ = Control de capacidad primaria

Si cualquiera CV2 o CV3 están por debajo de su control umbral, se puede calcular luna respuesta PID para la variable de mayor prioridad fuera del rango. Adicionalmente, el desacople de lazos y la respuesta CV serán deshabilitadas.

La respuesta completa será:

$$PCR = (CR_{P,1} \text{ o } CR_{p,I}) + CR_{D,L}$$

$$CR_I = CRi + (\triangle CR_{I,1} \text{ o } \triangle CR_{I,L})$$

Donde:

$CR_{P,L}$ = Limitante (CV2 o CV3) respuesta derivativa

$\triangle CR_{I,L}$ = Limitante (CV2 O CV3) respuesta integral

$CR_{D,\,L}$ = Limitante (CV2 O CV3) respuesta proporcional

El controlador selecciona las respuestas proporcional o integral que podría ser más efectiva en retornar la variable limitada que ha sido seleccionada a un rango aceptable:

- Si la respuesta proporcional pasa esa variable es positiva, este selecciona el más alto CRp y ΔCR_I

- Si la respuesta proporcional para esa variable es negativa, este selecciona el mínimo CRp y ΔCR_I

Si cualquiera de las variables limitantes está por debajo del control umbral en una aplicación de compartimento de carga, la respuesta proporcional e integral del CV1 son deshabilitadas. El controlador entonces seleccionara la respuesta más efectiva de la limitación de la integral o el control de capacidad primaria:

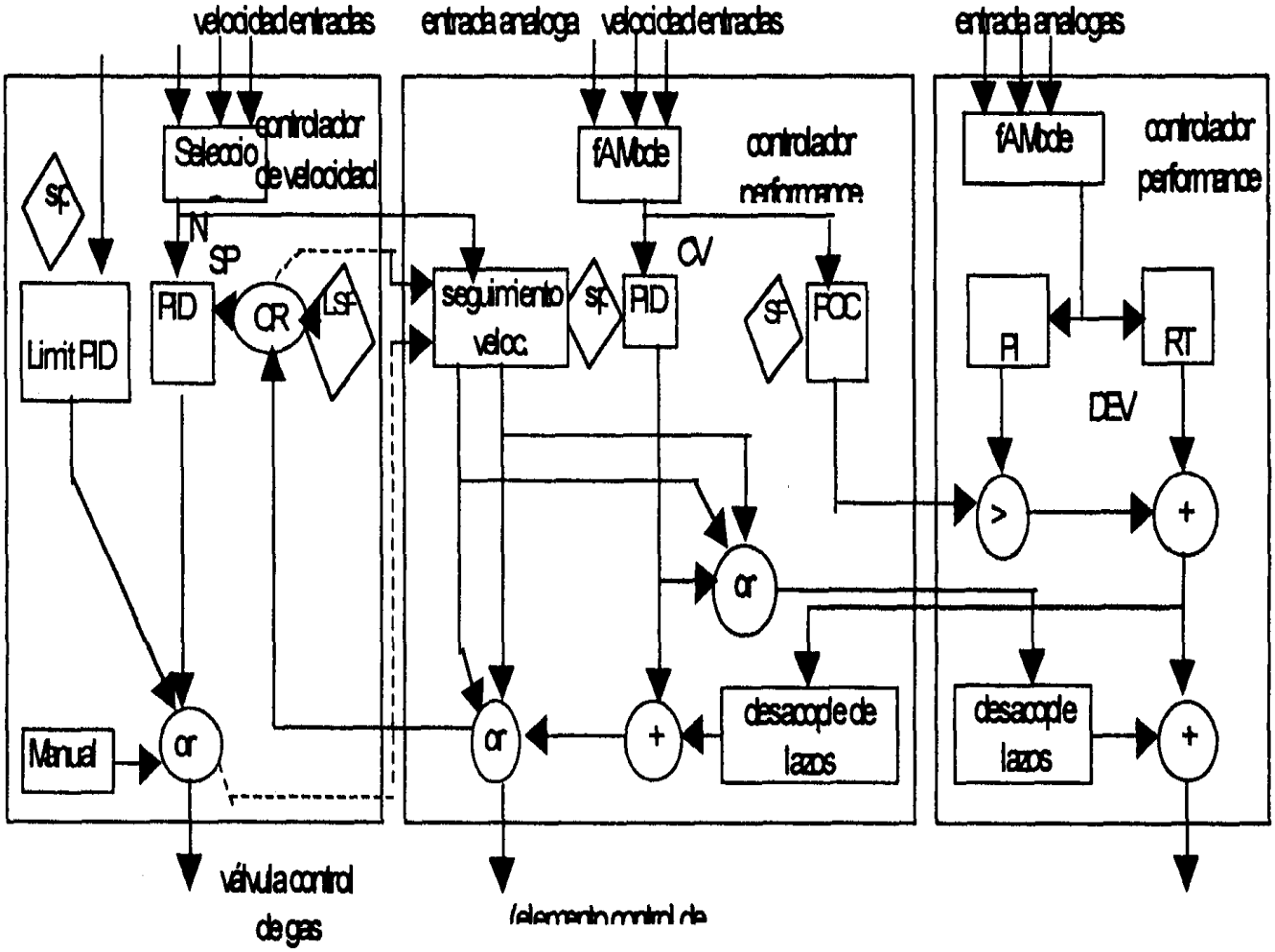
$$PCR = CR_{P,1} + CR_I + CR_{D,L}$$

$$CR_I = CR_i + (\ \Delta CR_{I,L} \text{ o } \Delta CRpc)$$

10.8 COORDINACIÓN DE CONTROL

Se va a describir el desacople de lazos, limitación de reciclo y los algoritmos de seguimiento de velocidad que un controlador de performance utiliza para coordinar sus acciones con aquellas de otros controladores que regulan el mismo compresor. Ver figura 21.

Figura 21. Diagrama funcional simplificado de una aplicación de un compresor



Fuente: CHEN, Cffl TSONG, Linear System Theory and Design.

10.8.1 Desacople de lazos. Este algoritmo puede interactuar ocasionando potenciales desestabilización entre varios lazos de control de un compresor.

Los controladores de la serie 3 plus utilizan el puesto serial 1 para comunicar sus acciones hasta 7 controladores compañeros. Los controladores antisurge, performance y controladores de doble lazo utilizan estas acciones reportadas para

calcular y agregar respuestas de desacople de lazos a sus respuestas integrales acumuladas.

El componente de desacople de un PCR, el cual es agregado solo si todas las limitantes de capacidad de las variables están dentro de los rangos aceptables, es calculado como:

$$\Delta CR_{LD}, = \sum_{i=1}^{\Theta} ssoi.\ M_{¡}\ \Delta(PI_i + RT_i)$$

Donde:

I = Número ID del controlador de la variable
Mi= Ganancia de desacople para el controlador i
Pi= Respuesta antisurge PI o de capacidad PID del controlador i
RTi= Respuesta recycle Trip
SSOi= Parámetro de desacople del controlador (off =0, On = 1)

Similarmente un conlrolador antisurge calcula la siguientes respuesta:

$$CR_{LD}, = \sum_{i=1}^{\Theta} ssoi.\ [\ (M_{i.}\ P_{i)}\ + (M_{i.}\ RT_i)\ ]$$

Sujeto a las restricciones que:

$(M_i.\ PI_i) >= O$ y $(M_i.\ RTi) >= O$

Este ajuste es agregado a la respuesta integral selecciona debido a que este puede ser polo positivo, nunca se disminuirá la rata de flujo de reciclo.

Si un controlador es operado en manual (o en un estado en el cual la intención sobre la válvula no está basada en las respuestas PID, DI, o RT), sus controladores compañeros desacoplarán los cambios de sus respuestas de control.

Para desacoplar un controlador de Performance de un compañero especifico, se habilita el parámetro desacople de controlador |MODE: p Ss O] correspondiente al número ID del controlador y accione un valor apropiado a la ganancia de desacople correspondiente. [CONO: P M #] El desacoplamiento puede ser completamente deshabilitado estableciendo todos los 8 parámetros SS O a off, pero más fácilmente ingresando MODE: A SS OO desde el panel de ingeniería.

10.8.2 Desacople de ganancias. Convención de signos. Debido a que una respuesta de control antisurge representa una intención de reciclo de flujo es fácil determinar el signo correcto para desacoplar la ganancia [COND: A M #] que un controlador antisurge aplica a la respuesta de control de otro. Este debe ser positivo si la rata de reciclo debe aumentar con la de un controlador compañero. Esta debe ser negativa si la rata de aumentar cuando la otra es reducida.

La determinación de los signos de la Ganancia de desacople es mas complicada cuando los controladores de performance están involucrados, debido a que las relaciones entre sus respuestas de control y el flujo son especificadas por sus lazos de control y las direcciones de los elementos de control.

- **Desacople de Antisurge desde Performance.** El signo que un controlador Antisurge utiliza para desacoplarse de un controlador de performance depende de los parámetros fijados en los controladores de performance REV 1 y f D1.

• Si ellos tienen el mismo valor, M i debe ser positivo si la rata de reciclo debe incrementar cuando el performance del compresor se incrementa. Será negativo cuando la rata de reciclo de reciclo aumenta y el performance disminuya.

• Si ellos tienen valores opuestos (uno on, uno off), M i debe ser positivo si la rata de reciclo incrementa cuando el performance del compresor disminuye. Será negativo si la rata de reciclo se incrementa cuando el performance incrementa.

➢ **Desacople de performance desde Antisurge.** El signo de la ganancia de un controlador performance aplica a la respuesta de control de un controlador Antisurge depende de sus propios parámetros REV 1 y fD1.

• Si ellos tienen el mismo valor, Mi debe ser positivo y la salida mostrada en el controlador de performance debe aumentar cuando el controlador antisurge aumenta la rata de reciclo. Esto será negativo si la salida desplegada se incrementa cuando la rata de reciclo se reduzca.

• Si ellos tienen valores opuestos (uno on, uno off)Mi debe ser negativo si la salida mostrada en el controlador de performance se incrementa cuando el controlador antisurge incrementa la rata de reciclo, será positiva si la salida desplegada se incrementa cuando la rata de reciclo se reduzca.

➢ **Desacople de performance desde performance.** El signo de la ganancia que un controlador de performance aplica a la respuesta PID de otro depende de los parámetros fijados en RV1 y fD1.

• Si un número par de los cuatro parámetros tienen el mismo valor, M i debe ser positivo y la salida mostrada por eso el controlador se debe incrementar cuando la

salida del controlador se incremente. Será negativa si la salida disminuye cuando la de otro controlador se incremente.

- Si un número impar de los cuatro parámetros tiene el mismo valor, M i debe ser negativo si la salida desplegada de su controlador se incrementa cuando la salida del otro controlador se incrementa. Será positivo y la salida debe disminuir cuando la otra salida aumenta.

10.9 LIMITE DE RECICLO

El controlador de performance ofrece dos características que pueden ser utilizadas para limitar las condiciones de proceso incrementando las ratas de flujo de reciclo de los controladores Antisurge asignados:

- Un control de limitación auxiliar requiere de controlador de performance dedicado el cual envía su respuesta de control a un controlador antisurge por medio del puesto 1. La variable limitada puede ser calculada utilizando cualquier modo f A y el panel frontal desplegará su valor y setpoint.

- Una respuesta de sobre control de presión se puede incrementar adicionalmente a los lazos de control limitante y de capacidad.

10.9.1 Respuesta de sobre posición de presión. El controlador de performance también ofrece una respuesta de control de límite de control que se comunica a los controladores antisurge compañeros por medio del puesto 2. Debido a que la limitante de presión fue el propósito original del lazo, se conoce como control de sobre posición de presión. Sin embargo, se puede utilizar para alcanzar cualquier objetivo de control que pueda ser encontrado aumentando la rata de reciclo.

- Se puede utilizar para alcanzar más rápida recuperación si la desviación de CV1 de su setpoint puede ser reducido mediante un reciclo adicional (por ejemplo si CV1 es la presión de descarga y es muy alta o si es la presión de succión y es muy baja).
- Se puede utilizar para limitar cualquiera de las variables del controlador de performance que son Afectados por la rata de reciclo.

10.9.2 Prediciendo sobre posición de presión. Puede ser utilizado para incrementar la rata de reciclo en respuesta a los cambios rápidos en la variable de sobre posición de presión, aún si ésta no está debajo del control umbral. Esta respuesta que es agregada a la respuesta proporcional POC es calculada como:

10.10 SEGUIMIENTO DE LA VELOCIDAD

El controlador de performance es a menudo utilizado para manejar el setpoint remoto de una turbina gobernador de velocidad de un motor de gas. En tales casos, los algoritmos de seguimiento de velocidad lo habilitan para evitar el rizado de lo integral y para permitir la transferencia a modo automático sin ningún problema cuando el gobernador corre a modo manual:

- El seguimiento de la velocidad puede ser implementado por medio del puesto 1 de comunicación con un controlador de combustible o de velocidad de la serie 3. Este método se debe utilizar aun cuando el controlador de performance utiliza una salida análoga para manipular el setpoint de velocidad.

- El seguimiento a la señal análoga de velocidad puede ser implementado utilizando las entradas discretas D4, las salidas análogas OUT1, y una entrada análoga designada.

Si ambas de estas características son habilitadas, el seguimiento de la señal análoga tiene prioridad. En otras palabras escogiendo D4 mientras que la comunicación serial este activa suspenderá esa característica e iniciará el seguimiento análogo. Cuando las condiciones de proceso prefiere una performance del compresor constante ó un incremento, la rata de flujo que se requiere se calcula como:

IFR = $Gain_0$. (N + $Bias_0$)
N= Velocidad Rotacional (%$Bias_0$ = Bias seguimiento de velocidad
$Gain_0$ = Ganancia seguimiento de la velocidad

Cuando las condiciones permitan una disminución en el comportamiento del compresor, el flujo requerido se calcula como:

IFR= $Gain_0$. (N +$Bias_0$) – Out_0

Donde:
Out_0= Bias de alivio de seguimiento

Para evitar cambios súbitos, éste último es parametrizado en forma de rampa.

Si se define N min como la velocidad correspondiente al mínimo setpoint del gobernador, y N max como el máximo setpoint, el seguimiento de ganancia y el bias puede ser calculado como:

$Bias_0$= N min
$Gain_0$= _100/(N max - N min)

10.10.1 Seguimiento de velocidad serial. El seguimiento de velocidad serial es implementado a través del puesto 1 de comunicaciones.

El controlador de velocidad no solamente le dice al control de performance cuando al entrar y salir del modo de seguimiento, sino que también suministra la velocidad requerida. Esta característica es habilitada mediante el parámetro de seguimiento serial de velocidad [MODE: P fE S] al controlador de velocidad o de combustible. Un controlador de velocidad transmite la medida de velocidad como un porcentaje del control de velocidad máximo [CON D: DISPLAY HIGH].

N=Spd/Spdmax

Donde:

N= velocidad rotacional (%)

Spd= Velocidad rotacional (rpm)

Spd max= Control máximo de velocidad

Este conviene la salida hacia el actuador del controlador de performance en un setpoint de velocidad utilizando la formula:

Sp=(Act /100). (Sp max - Sp min) + Sp min

Donde:

Sp = Set point de velocidad (RPM)

Sp max = Gobernador máximo [CON D: S Sp HIGH]

Sp min = Gobernador Mínimo [CON D: S Sp LOW]

De esta forma el seguimiento de ganancia de velocidad [CON D: GAIN 0] y el Bias de seguimiento de velocidad [CON D: D BIAS 0] debe ser calculado como:

$$Bias_0 = \frac{-100.Sp\ min}{Spd\ max} \qquad Gain_0 = \frac{Spdmax}{Spdmax - Spmin}$$

Si el seguimiento está en efecto debido al que el controlador de la turbina está en un límite máximo, los dos controladores cooperan para reducir la velocidad que el proceso requiere.

10.10.2 Seguimiento de velocidad análoga. Cuando no se utiliza el seguimiento a la velocidad con controladores de velocidad o combustibles, el seguimiento es implementado por medio de la entrada discreta D4 salida análoga OUT1 y el designado seguimiento análogo de velocidad [MODE: PfE 4].

Cuando las condiciones del proceso requieren de una operación constante o que incremente el flujo requerido se calcula como:

$$IFR = Gain_0 + (SVN + Bias_0)$$

Donde:

$Bias_0$= Bias seguimiento de velocidad [con D: D BIAS 0]

$Gain_0$= Ganancia seguimiento de velocidad [CON D: D GAIN 0]

SVN= Señal variable.

Cuando el control de capacidad o las consideraciones de limites permiten una disminución en el rendimiento del compresor, o si se va requiriendo un shutdown. El flujo es calculado como:

$$IFR = Gain_0 . (SVn + Bias_0) - Out_0$$

Donde:

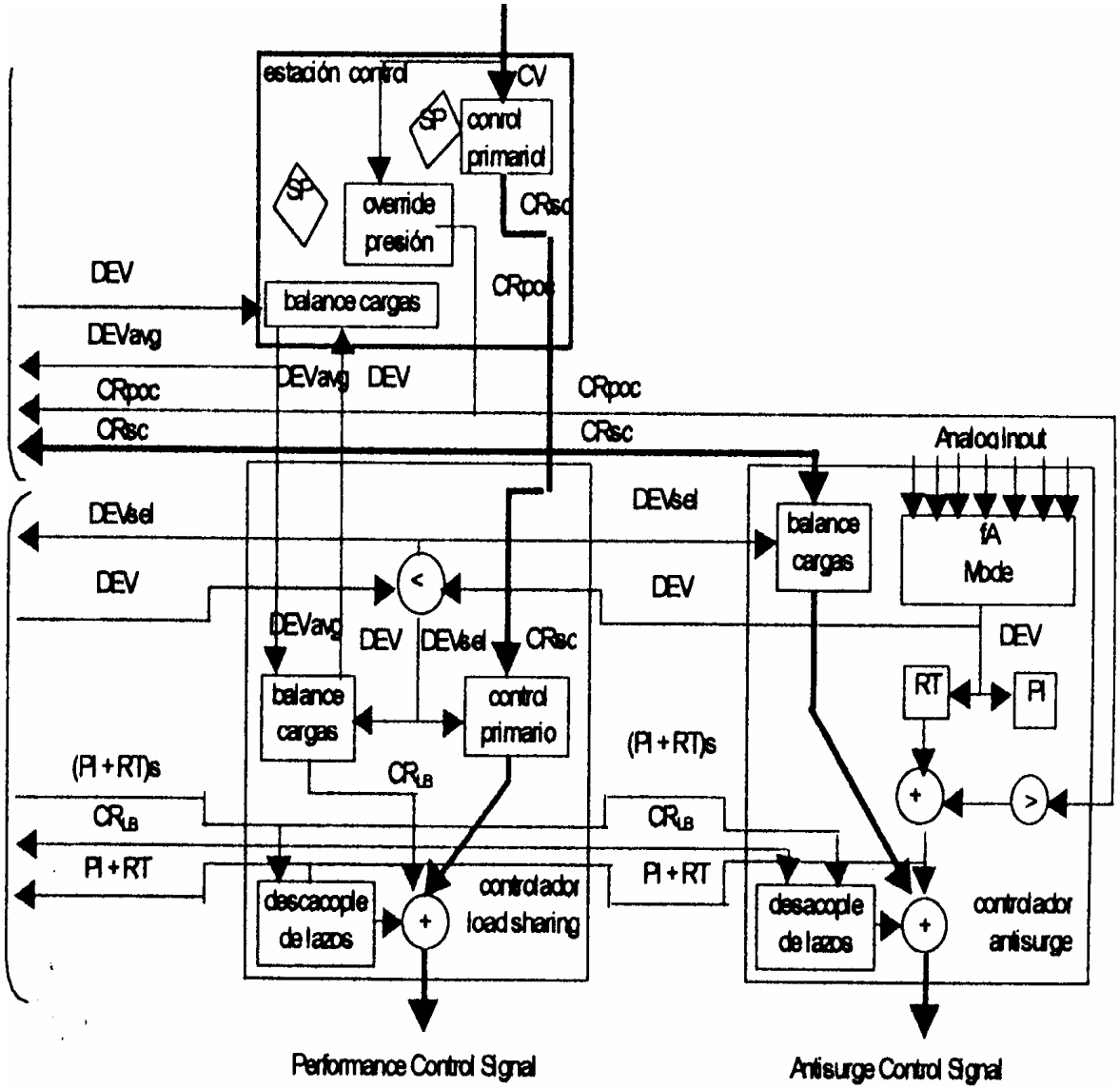
Out_0= Bias de seguimiento [COND: D OUTO]

El seguimiento de velocidad análoga puede también ser utilizada para configurar el controlador como un selector de señal de transferencia para su elemento final de control.

11. CONTROL DE COMPARTIMENTO DE CARGA

Este capítulo describe como configurar la distribución de la carga, y los algoritmos de reciclo paralelo para las redes de compresores.

Figura 22. Diagrama funcional de algoritmos de compartimento de carga en paralelo.



Fuente: OGATA, Katsushiko. Discrete Time Control Systems

11.1 DISTRIBUCIÓN DE CARGA

Los controladores de la serie 3Plus pueden ser utilizados para regular la capacidad y maximizar la eficiencia de los compresores operando en paralelo o en serie. Estas redes incluyen al menos:

- Un controlador de performance.

- Un controlador antisurge, un controlador de performance para manipular los elementos de control de los sistemas antisurge y perfomance.

Este sistema utiliza varías características complementarías para regular y distribuir el rendimiento general de una red de compresores:

- El control de capacidad primaria permite que la estación controladora regule el flujo del cabezal de presión de forma indirecta manipulando la capacidad del compresor y los elementos del control antisurge.

- El balance de cargas habilita la estación y los controladores de compartimento de cargas para mantener a todos los compresores a la misma distancia del surge (Minimizando reciclos innecesarios) ó igualando las ratas de reciclo, relación de compresión, o velocidad de compresores en series.

- La respuesta de sobre posición permite que la estación controladora reduzca rápidamente la presión descargada o el flujo total (ó incremente la presión de succión). Abriendo las válvulas antisurge rápidamente cuando la capacidad de la variable de control o su error excede un limite definido por el usuario.

- Esta estación controladora indicará una condición limite de carga cuando no puede incrementar el rendimiento de la estación, mientras que un controlador de compartimento de carga tendrá el mismo comportamiento cuando no puede incrementar la operación de un compresor.

- El controlador de compartimento de carga puede ejecutar el sistema de reserva, cuando se pierda contacto con la estación controladora o el control no puede medir la capacidad de la variable control.

11.1.1 Control de capacidad primario. Esta característica permite a la estación controladora manejar directamente las señales de salida de los controladores antisurge y de compartimentos de carga en una forma que minimiza el reciclo sin comprometer la protección del surge. Dependiendo de cual sea la variable del cabezal o ser controlada, este control se denomina respuesta primaria de control de presión.

La estación controladora calcula la respuesta PID de la desviación de la variable de control (usualmente la rata de flujo o presión del cabezal). Cualquier cambio en la señal de control hacia el actuador es luego comunicada a los controladores antisurge y Load Sharing por medio del puesto #2. Estos controladores varían sus respuestas de control como funciones de cambio en esa señal de control:

- Mediante de la acción de la válvula de reciclo, se reduce la operación del compresor que de otra forma podría ocasionar un surge.

- Regulando el compresor, se puede acondicionar el sistema o cualquier cambio.

11.1.2 Estación controladora. Una estación controladora CV1 de lazo inverso [MODE: P REV 1] es acondicionada para actuar sobre una válvula que falle abierta:

- Si el controlador esta regulando el flujo o la presión de descarga, el lazo debe ser configurado como acción inversa [REV 1 ON].

- Si el controlador esta regulando la presión de succión, el lazo debe ser configurado para acción directa [REVI OFF].

La señal de control se incrementará cuando el compresor reduzca su operación, por ejemplo cuando la velocidad debe ser reducida.

11.1.3 Controlador de Load Sharing o compartimento de cargas. La respuesta primaría de control de capacidad (△CRpc) que es agregada a un controlador de compartimento de carga para afectar su respuesta de control de performance es calculada como:

△CRpc = Mo, p.△SCS. fpc(s)

fp(s) = [1 sí s < B3 ó Mo, p.△SCS > O

o sí s > B 3 y Mo, p.△SCS < O

Donde:

B3, p= Regulación limitante [COND: P B 3]

Mo, p = Regulación de ganancia [COND : P M 0]

S= Valor más alto reportado para un controlador antisurge - Load Sharing. [MODE: P Ss 1 #]

△SCS= Señal de control de la estación.

11.1.4 Controlador antisurge. La respuesta del controlador primario de capacidad que se adiciona a una respuesta de control antisurge es calculada como:

$$\Delta CRpc = Mo, a. \Delta SCS. fa(s)$$

$$fa(s) = [1 \text{ sí } s > B3,a \text{ y } Mo, a. \Delta SCS > 0$$

$$\text{o sí } s < B\ 3,a \text{ ó } Mo, a. \Delta SCS <= 0$$

Donde:

B3, a = Limitante de reciclo [COND: a b 3]
Mo, a = Ganancia de reciclo [COND: a M 0]
S= Proximidad a surge de la variable seleccionada

La ganancia de reciclo debe darle un valor positivo, que permite que Mo, a.ΔSCS sea positivo cuando se requiere menor performance. Esta respuesta se incrementará solo si S excede la limitante de reciclo. El sistema incrementará las ratas de reciclo del compresor o solo cuando estas estén cercanas a surge y se requiera menos performance.

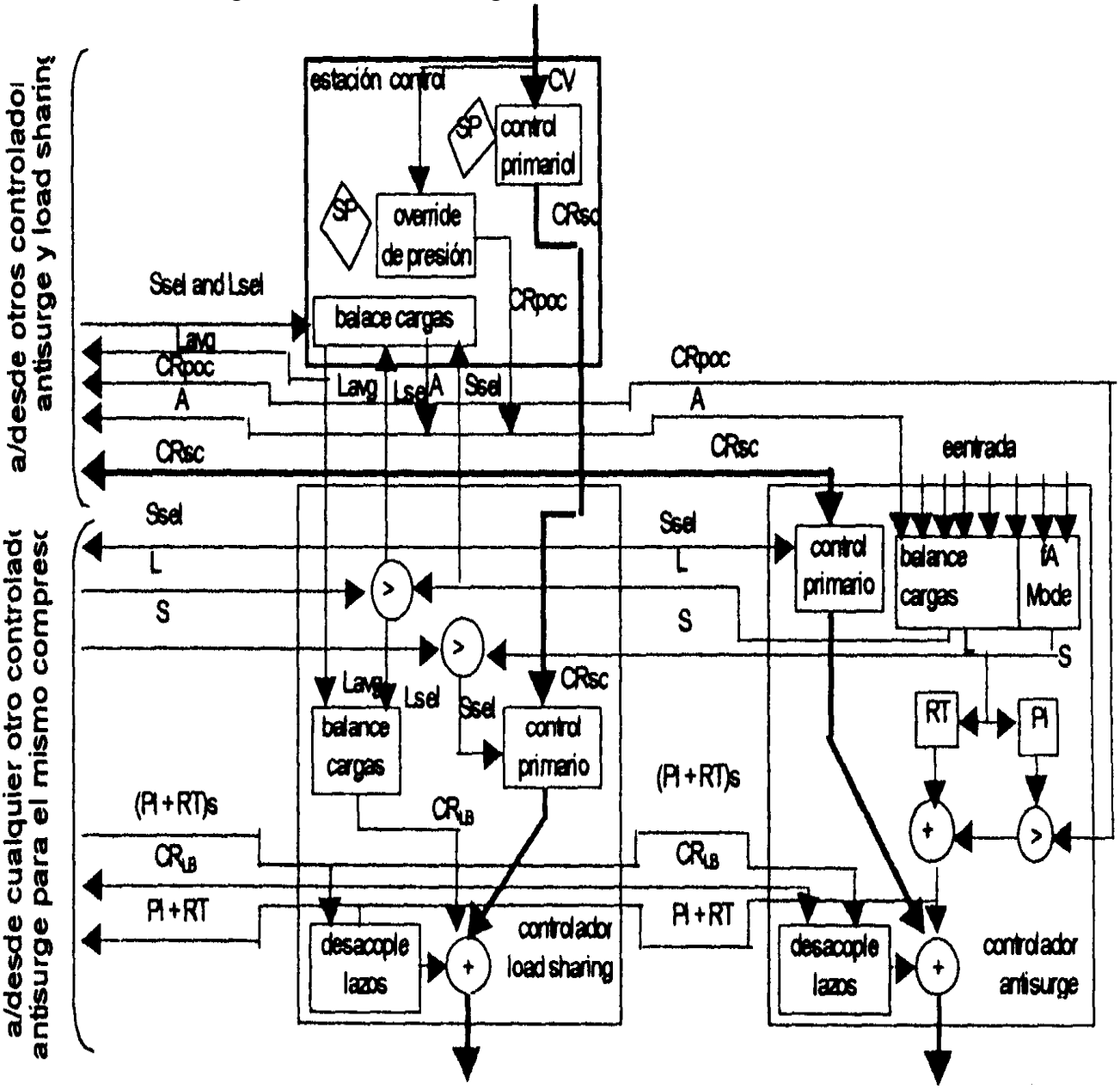
11.1.5 Balance de cargas. Las respuestas de control integral y derivativa de los consoladores Load Sharing maximizan la eficiencia por medio de una distribución igual de carga de la variable de control.

- El balance de carga en paralelo es seleccionado deshabilitando el balance de carga en serie [MODE: P fc 9] y la variable de carga en serie [MODE: a fc 5] en todas las estaciones Load Sharing, antisurge, y unidad controladora. Esto las configura para igualar una variable que llamamos DEV[1,] la cual es promedio de la distancia de surge.

- El balance de carga en serie es seleccionado habilitando aquellos parámetros, que configuran el sistema para igualar una variable (L) calculada como una función de proximidad a surge, flujo de reciclo y una tercera variable (tal como velocidad).

Cada controlador Load Sharing es configurado para monitorear los controladores antisurge habilitando el parámetro Load Sharing antisurge controller [MODE: P Ss 1 #] correspondiente a sin números ID de los consoladores. Ver gráfico 23.

FIGURA 23. Diagrama funcional de algoritmo de LOAD SHARING en serie.



Fuente: CHEN, Cffl TSONG, Linear System Theory and Design.

- **Balance de cargas en paralelo.** El sistema de balance de carga en paralelo, ver figura 7.1, este mantiene todos los compresores a la misma distancia de surge. Cuando se requiere un reciclo, este puede ser balanceado utilizando la característica de balance de reciclo.

Cada controlador antisurge calcula una desviación de la variable que es medida de la sección de distancia de surge de compresor. Cuando DEV es cero, el compresor esta operando en su línea de control de surge. Una desviación negativa, implica un riesgo inaceptable de surge.

Cada controlador antisurge monitorea las desviaciones de sus controladores antisurge compañeros, seleccionando la menor para utilizar como la variable de control de capacidad (DEV^1):

$$DEV^1 = B1.\ \ DEV$$

Donde

B1 = Ganancia de balance de carga [COND: P b 1]

Finalmente, la estación consoladora promedia, las variables DEV^1 de los consoladores Load Sharing para utilizar como su setpoint de balance de cargas. Posteriormente se ajusta a la operación de los compresores hasta que queden operando a la misma instancia de surge.

En general, si se incrementa la performance de un compresor, se mueve un compresor paralelo más lejano de surge.

➢ **Balance de carga en serie.** Es un sistema de compartimento de carga en serie, Ver figura 7.2, el balance de cargas iguala la medida de una carga L de un compresor que inicialmente es calculada por los consoladores antisurge:

$$L = \frac{A.\ f6(CVb)}{10} + \frac{(1-A).\ Suser}{2}$$

$$Suser = S \times (1 + Wr)$$

$$Wr = f2D\ (IVP) \times F2_A\ (Rc) \times Pd / 100.x \sqrt{Td}$$

Donde:

a: Selector de dominio calculado por la estación consoladora
CVb: Variable de balance de cargas [MODE : a fD 9]
f2a : Caracterizador de flujo reportado
f2D: Caracterizador de flujo de reciclo
f6: Caracterizador de variable de balance
Ivp: Posición válvula de reciclo requerida
Pd: Presión de descarga
Rc: Relación de compresión
S: Proximidad a la línea de control de surge (1 - DEV)
Td: Temperatura de descarga
Wr: Rata de flujo de reciclo.

La variable de balance de cargas puede ser cualquier variable de entrada de proceso ó la relación de compresión (Rc %). La velocidad (N) y Rc son las selecciones más comunes.

Cada controlador Load Sharing selecciona el mayor S reportado por un controlador de antisurge y Load Sharing y lo pasa a la estación controladora. Esa estación calcula el selector de dominio de la más alta S (Smax) reportado por cualquier controlador de Load Sharing:

$$0 <= (A = \frac{B7 - Smax}{B7 - B6}) <= 1$$

El valor a es enviado a los controladores antisurge, el cual utiliza para calcular las cargas de los compresores. Cada controlador Load Sharing selecciona el L más alto de cualquier controlador de Load Sharing como la variable de balance de carga. Sus setpoints de balance de cargas es el L promedio seleccionado por la estación controladora desde los valores L reportados por los controladores de compartimento de los compresores. Los controladores antisurge y Load Sharing ajustan sus ratas de reciclo hasta que todas operen a la misma carga.

11.1.6 Condiciones límites de carga. Son relés de funciones que indican cuando el sistema de control es incapaz de incrementar el rendimiento de un compresor.

Una estación controladora establecerá la salida discreta energizando un relé (+ Lodp) si los controladores de Load Sharing reportan limitación de carga o si fallan en responder los requerimientos de la estación controladora.

Un controlador de Load Sharing establecerá una salida discreta secundaria y energizará un relé con la función (+ Lods) cuando no se puede incrementar el funcionamiento la operación del compresor por alguna de las siguientes razones:

• La respuesta de control esta siendo controlada manualmente o se encuentra en su máximo valor.

• Se encuentra controlado en el límite de la variable de control.

• El setpoint de capacidad esta siendo localmente controlado.

• El mode de seguimiento de velocidad esta en funcionamiento.

• El compresor no esta operando.

Además un controlador de Load Sharing reportará una función LodL, si su respuesta de control alcanza el límite de capacidad de carga.

11.1.7 Controlador Load Sharing alternativo. Habilitando la opción Load Sharing fallback [MODE: p fd 3 5] configura un controlador de compartimento de carga para conmutar un setpoint de control local, en los siguientes casos:

• Cuando pasa más de un segundo sin recibir transmisión desde la estación controladora.

• La estación de control no puede medir o calcular la capacidad de la variable de control.

• La entrada discreta D6 es activada.

Si la entrada de la F C V falla mientras la alternativa esta activa, la respuesta de control de operación (funcionamiento) se sostendrá constante. Si esta alternativa es deshabilitada la primera o la segunda condición activarán la alternativa de control de capacidad.

Este lazo de control siempre utiliza un setpoint local, el valor inicial del cual es definido por el setpoint inicial FCV. Si este parámetro es cero el setpoint será inicializado al valor de la FCV. Este lazo de control también tiene sus propios coeficientes de sintonización y parámetros de dirección.
Cuando este lazo es seleccionado, el Led localizado en el panel frontal de inclinación de opción remota se apagará y se encenderá el Led de opción local. Cuando la comunicación con la estación controladora sea restablecida (ó D6 clasificada), el Load Sharing se cambiará automáticamente y las Leds cumplirán la función inversa.

Los controladores de compartimento de carga usualmente son configurados para alternativa en el caso de la presión de descarga. En tales casos cada controlador tendrá un setpoint diferente con el fin de que solo uno permita satisfacer su setpoint en cualquier tiempo dado.

Los compresores que hacen disminuir el cabezal de presión para alcanzar la setpoint de la presión de descarga se estabilizaran a una presión elevada. Esto será un modo ineficiente de operación debido a que tanto la presión como la rata de flujo (variables controladas por medio de la válvula antisurge) serán más altos que los necesarios. Estos compresores deben ser operados manualmente.

11.1.8 Reciclo en paralelo. Los controladores de la serie 3 plus ofrecen dos algoritmos de Load Sharing adicionales para redes de compresión en paralelo:

- El balance de reciclo iguala las ratas de reciclo.
- El control de reciclo frió regula el flujo a través de un enfriador de reciclo.

➢ **Balance en el reciclo**. El algoritmo de balances de cargas para aplicaciones de Load Sharing en paralelo evita reciclos innecesarios igualando las cercanías a

surge de todos los compresores. Si por algún motivo el balance natural no se da, en este caso el controlador de la serie 3 plus puede utilizar dos formas de forzar el balance en el reciclo:

- Para redes pequeñas que no requieren más de ocho controladores antisurge y de performance, los controladores antisurge pueden utilizar el puesto de comunicación serial 1 para balancear las ratas de reciclo.

- Para grandes redes, la estación controladora, los controladores Load Sharing y antisurge pueden utilizar el puesto de comunicación serial 2 para hacer el balance en las ratas de reciclo.

En el método utilizando el puesto 2, cada controlador de Load Sharing monitorea la desviación, la señal de control y el status de los controladores antisurge por medio del puesto 2. Se selecciona y reporta a la estación controladora la señal de control al actuador más alto entre aquellos que se encuentran operando automáticamente en estado RUN y se encuentran cercanos a la línea de control de surge.

La estación controladora, selecciona la señal de control antisurge más alta reportada por cualquier controlador de Load Sharing. Este luego lo comunica a todos los controles antisurge.

➢ **Control de enfriamiento de reciclo.** La estrategia del compartimento de carga para compresores en paralelo es fácilmente adaptado a redes que disponen de un Lazo de reciclo caliente en cada compresor.

Las líneas de reciclo caliente son utilizadas para proteger los compresores de surge debidas a disturbios súbitos. Si sostener el reciclo es necesario, este es

dirigido a través de la línea de reciclo frío, lo cual esta equipada con un intercambiador de calor para enfriar el gas de reciclo.

Los controladores de la serie 3 plus se adaptan a tales redes utilizando un controlador antisurge y uno de performance para modular la válvula de enfriamiento de reciclo.

Ese controlador luego monitorea las desviaciones del surge de los controladores compañeros especificados en los parámetros de compartimento de válvula y controlador antisurge y performance:

- Para pequeñas redes de compresores, se pueden conectar los controladores antisurge, Load Sharíng y de reciclo frío en el puesto de comunicación 1 y habilitar el parámetro Ss 1 que corresponde a cada controlador antisurge. Este luego selecciona la desviación más baja reportada por cualquier controlador antisurge.

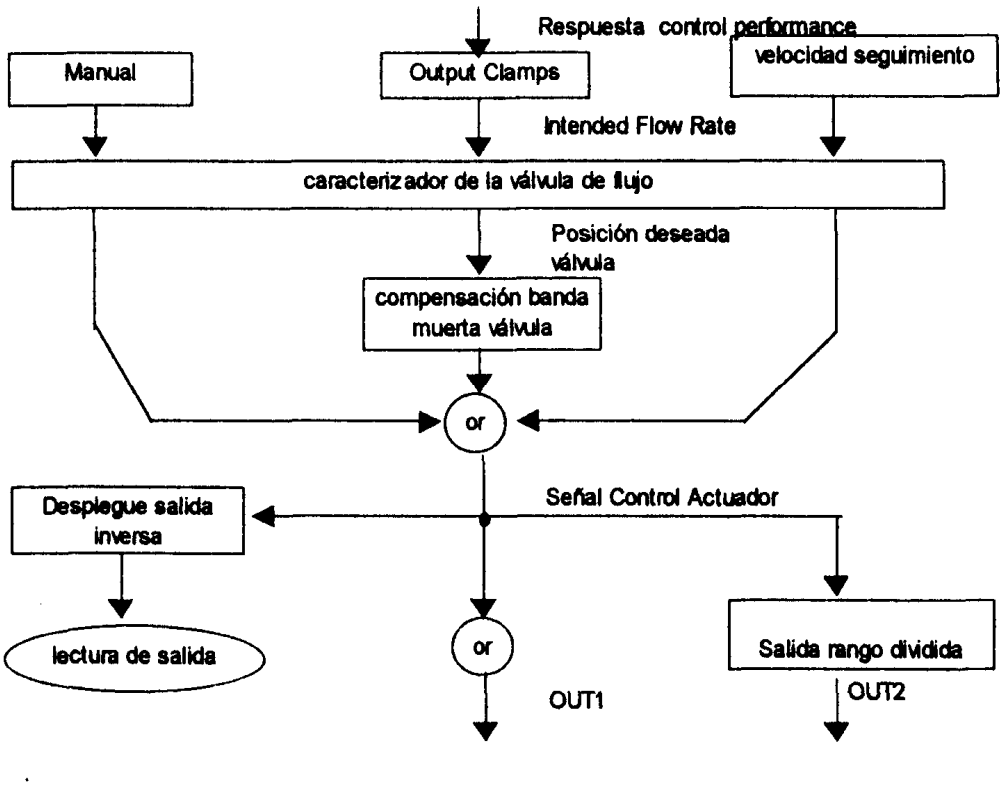
- Para grandes redes, utilice el puesto 1 aislado para conectar solamente las estación controladora y los controladores de reciclo frío y se habilita solo en Ssl que corresponde a la estación controladora. Esta solo tiene una desviación para escoger, la cual es la Dev calculada más baja de cualquier controlador antisurge.

El primer método es el mejor, pero su aplicación tiene limitaciones debido a que el protocolo del puesto 1 soporta solo ocho controladores. De esta manera este método se puede utilizar cuando no se dispone de más de tres secciones sencillas (Etapas) ó dos compresores de dos etapas.

12. COMPORTAMIENTO DE LA VARIABLE DE SALIDA

Este capítulo describe como configurar los algoritmos que calculan la posición requerida de la válvula de reciclo y la señal de control hacia el actuador desde la respuesta de control de antisurge y performance.

Figura 24. Transformaciones de salida



Fuente: CHEN, Cffl TSONG, Linear System Theory and Design.

12.1 POSICIÓN DE LA VÁLVULA PREVISTA

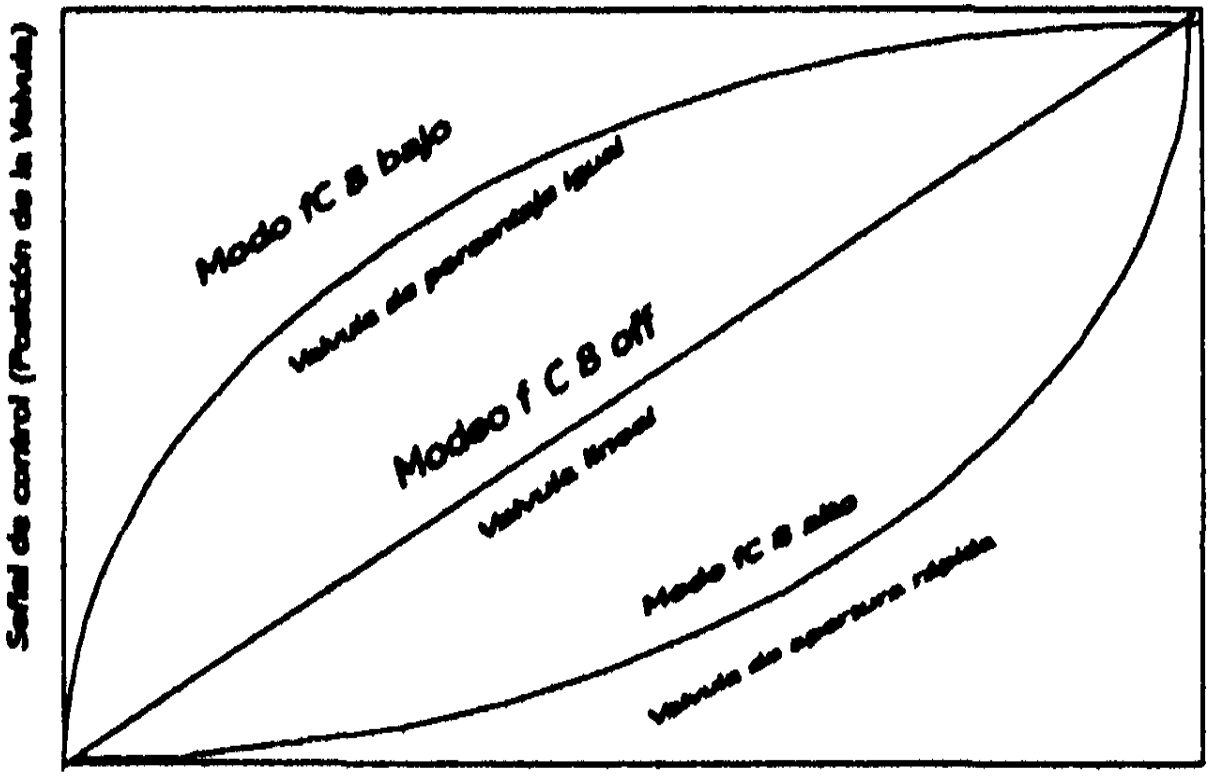
Como se muestra en la figura 24 el rendimiento previsto del compresor y la posición del elemento lineal de control son calculadas aplicando una o más de las siguientes transformaciones:

• La rata de flujo prevista es calculada aplicando salidas fijas a la respuesta de control de performance, pero también puede ser manipulado directamente por la operación manual o la velocidad de seguimiento.

• La posición de la válvula prevista es calculada aplicando la caracterización de la válvula de flujo a la rata de flujo preestablecida.

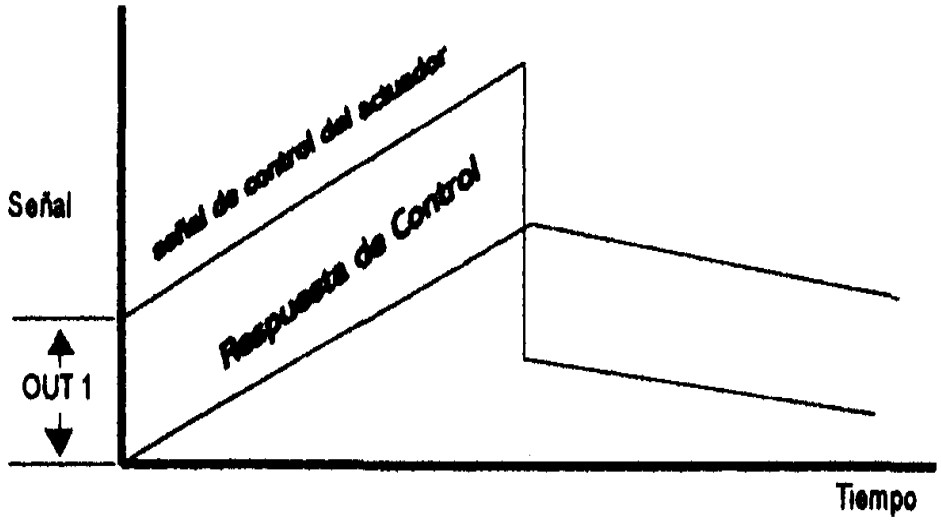
12.1.1 Salidas fijas. El rango de la respuesta de control de performance es definido por los parámetros de regulación por bajo y alto nivel. Estas salidas son implementadas incrementando o disminuyendo la respuesta integral acumulada necesarias para mantener la rata de flujos previstas dentro del rango especificados.

Figura 25. Caracterización de la válvula de flujo



Fuente: OGATA, Katsushiko. Discrete Time Control Systems

Figura 26. Compensación de banda muerta de la válvula



Fuente: OGATA, Katsushiko. Discrete Time Control Systems

12.1.2 Caracterización de la válvula de flujo. Si la válvula de control exhibe inherentemente un flujo no lineal, se puede convertir su flujo lineal con respecto a la rata de flujo deseado seleccionando un caracterizador de válvula de flujo. Como se puede observar en la figura 25 la relación entre el flujo de reciclo deseado y la posición de la válvula para cada caracterizador predefinido:

FC 8 alto: Para válvulas de aperturas rápida
FC8 bajo: Para válvulas de porcentaje de apertura igual
FC8 Off: Para válvulas de flujo lineal.

Para válvulas de apertura rápida, el flujo es asumido que va a ser proporcional a la raíz cuadrada de la apertura de la válvula fraccional. Así, cuando FC8 está ALTO, la señal de control se obtiene con la raíz cuadrada de la rata de flujo deseado calculado para los algoritmos de control. Si la rata de flujo deseada es 50% por ejemplo, la posición de la válvula sería el 25% $[(1/2)^2 = 1$. Para una señal para

abrir la válvula con un actuador de 4-20 miliamperíos, la señal de salida debe ser 8 miliamperíos.

De la misma forma, la rata de flujo para una válvula de igual porcentaje es asumida proporcionalmente al cuadrado de la apertura fraccional de la válvula. Así, cuando fc8 es BAJO, la señal de control es obtenida tomando la raíz cuadrada de la rata de flujo deseada. Por ejemplo, si la posición deseada es 25% (1/4), la posición de la válvula sería 50% (1/2). Para una válvula que abre con una señal de 4-20 miliampehos, la salida sería 12 miliamperíos.

Para una válvula con señal al cierre (falla abierta), se debe normalmente habilitar el despliegue de la salida inversa. La posición deseada de la válvula es luego calculada complementando la respuesta de control, aplicando el caracterizador seleccionado, y complementando el resultado.

También se puede utilizar la salida de rango dividido para definir una caracterización de válvula del cliente.

12.2 SEÑAL DE CONTROL DEL ACTUADOR

La señal de control del actuador es el valor deseado (en porcentaje de span) de la señal análoga utilizada para posicionar el elemento final de control. Como se muestra en la figura 25, se calcula aplicando compensación de la banda muerta para la posición deseada de la válvula.

Debido a que cada parámetro de lazo inverso también se adapta a las características de señal abierta o señal a cierre del elemento de control, el controlador de performance no tiene un parámetro de salida inversa. Sin embargo,

tienen una característica de despliegue de salida inversa que se adapta a la lectura del panel frontal de la dirección del elemento de control actual.

12.2.1 Compensación de banda muerta de la válvula. Debido al uso o imperfecciones de diseño, el posicionamiento de una válvula de control puede exhibir una banda muerta que debe sobrevenir cuando la dirección del control es inversa. El controlador de performance y el antisurge pueden evitar este efecto agregando una característica de banda muerta a la posición deseada de la válvula.

Este bias es agregado cuando la respuesta de control se incrementa y se resta cuando ésta disminuye. De ésta manera, un cambio en la dirección de la respuesta, produce un cambio de paso en la señal de control con una magnitud igual a dos veces el bias. Ver figura 26.

Es conveniente fíjar este bias significativamente alto, con el fin de que un cambio en la dirección de la acción de control invierta el movimiento de la válvula. Una banda muerta de un lazo de control pequeño debe ser configurado para prevenir movimientos que puedan causar que la válvula oscile cuando está operando en el setpoint fijado. Estas características pueden ser deshabilitadas asignando al bias un valor de cero.

12.2.2 Despliegue de salida inversa. En general la lectura del panel frontal debe indicar la posición deseada del elemento final de control. Por ejemplo, OUT debe desplegar 100% para una válvula de control completamente abierta y 0% para una válvula completamente cerrada. Este efecto se alcanza habilitando o deshabilitando la opción de despliegue de salida inversa.

13. CONCLUSIONES

- El sistema de control antisurge previene daños en los compresores y turbinas en donde es aplicado y adicionalmente ofrece la ventaja de minimizar el gasto innecesario de energía, mediante la aplicación del algoritmo de protección de surge y optimización del punto operativo.

- Los cálculos de proximidad a surge se adaptan automáticamente a los cambios de las condiciones de entrada o cambios en las condiciones termodinámicas del proceso. Además también al tener control sobre temperatura del gas a la entrada y a la descarga, se puede ajustar el algoritmo de control al cambio en la composición del gas.

- La combinación de respuestas de control de lazo abierto y cerrado suministran máxima protección y mayor eficiencia en el proceso. De esta forma los lazos cerrados de control para manejar mediante el reciclo con un control PID la apertura proporcional de la válvula de control se combina con control de lazo abierto en el caso del recicle trip, cuando se requiere forzar la válvula a la apertura en escalón.

- Las configuraciones estándares seleccionables adaptan el controlador a su aplicación específica. Esto es, utilizando el programa COMMAND con el TOOLBOX, se puede cambiar la configuración de un controlador para que actúe como Antisurge o performance.

- El sistema de desacople de lazos previene interacción de otros lazos de control que puedan desestabilizar su proceso. De esta manera cuando se presenta una alteración significativa en alguno de los lazos de control del sistema mediante el

desacople del lazo respectivo, el sistema se mantienen inalterable y logra de una forma suave sobreponerse a cualquier disturbio ocasionado por este motivo.

- El limite de control de cualquiera de las variables de entrada son consistentes con la protección de surge. Esto es debido a que cada una de las variables de entrada es configurada con el rango especifico para que en caso de salirse del rango empiece a actuar la protección por sobre rango.

- Debido a la implantación de la lógica de arranque y parada automática, se logra minimizar la necesidad de la operación permanente. Así mismo el hecho de contar con comunicación vía Modbus con un sistema de control distribuido permite que las acciones de parada se puedan dar involucradas en una configuración de shutdown de la planta o del equipo al que se esta protegiendo.

- Para efectos de trabajos de mantenimiento o de operación manual, los controladores son conmutados de operación manual a automático sin ningún inconveniente, pero el equipo siempre cuenta con la protección manual override que permite que a pesar de que se encuentre en manual el controlador, siempre existirá vigilancia sobre la desviación y en el caso de que esta sobrepase la línea limite de control de surge, inmediatamente tomara el control sobre el controlador y con ello aplicara los algoritmos de protección para poder volver al compresor a su punto de operación óptimo.

- Los sistemas de control antisurge y de compartimento de carga son altamente confiables y permiten tener los compresores en línea con una altísima disponibilidad (alrededor de 99.5%). Para lograr esta meta son de importancia suma los algoritmos de estrategia de falla los cuales mantienen el compresor en línea aun en casos de fallas de los transmisores.

- Características de seguimiento y auto test permiten conmutación automática a controladores redundantes en el evento de una falla en un controlador. Esto es en el caso de aplicaciones de controladores redundantes, en el caso especifico de Cusiana y Cupiagua no se tiene redundancia, por lo tanto la estrategia de falla cobra mayor importancia.

- El hardware es estandarizado lo cual permite reducción de costos en estudio de repuestos. Esto es debido a que a nivel de hardware, los controladores de las series 3 plus son iguales, es decir, que se puede tener repuestos para los controladores antisurge y performance como si fueran uno solo, la mayor ventaja de esto es que permite minimizar stock de repuestos y además se encuentra estandarizado para los dos campos (Cusiana y Cupiagua) y para las diferentes aplicaciones.

- La interfase modbus habilita comunicación con sistemas de control distribuidos. Es importante ya que permite realizar comandos remotos y minimizar la dependencia de un operador local.

- La válvula de control del sistema Antisurge es de vital importancia ya que de la apertura que ella tenga depende la protección a eventos de surge de un compresor. Por lo tanto un sistema de monitoreo de posición de las válvulas debería ser implementado y además se podría configurar una alarma de discrepancia entre la posición física de la válvula y la intención de posición proveniente del controlador. Esto evitaría que por razones de no disponer de una señal confiable de posición se pueda en algún momento quedar la válvula obstruida no responder adecuadamente a lo que el sistema de control le esta pidiendo y permitir que suceda el fenómeno del surge causando grandes daños a los compresores.

- Cuando se realiza la calibración de la válvula de control se debe probar que ella responda de forma lineal a los cambios de setpoint del controlador y adicionalmente se debe establecer como norma de apertura, en el caso de respuestas de seguridad on o de disparo de reciclo, un tiempo de 2 segundos máximo.

ANEXO 1

PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO

PROCEDIMIENTO PARA CALIBRACIÓN DE ENTRADA ANÁLOGA DEL CONTROLADOR C.C.C.

Autoridad:	MTL: Líder de Mantenimiento	**Custodio:**	Planeación
Alcance:	Cupiagua	**Dpto. Responsable**	MTTO. 1NSTOS
Fecha de emisión:	JUL 06 del 2000	**Fecha de Revisión**	JUL 07 del 2000
Identificación:	CUP-MO-CCC-1	**Revisión No:**	0
Estado de Control			
Aspectos Ambientales		**Firma HSE :**	|

1. OBJETIVO

Este procedimiento describe la secuencia lógica y segura para realizar la calibración de la entrada análoga de los controladores C.C.C.

2. ALCANCE

Este procedimiento aplica para calibración de entrada análoga del controlador C.C.C.

3. DEFINICIONES

El procedimiento se debe aplicar para la calibración de la entrada análoga de dicho controlador C.C.C.

4. FRECUENCIA

Cada vez que se requiera.

5. RESPONSABILIDADES

Senior de Instrumentos de equipo:	Supervisa el trabajo en campo
Personal de mantenimiento equipo:	Ejecuta el trabajo.
Gas compresor Technician:	Coordina el trabajo a realizar.

6. PROCEDIMIENTO

6.1 CONDICIONES PREVIAS

6.1.1 Diligenciar permiso de trabajo con la autoridad de área

6.1.2 Leer procedimiento, (Si hay dudas consultar al G.C.T.).

6.1.3 Comunicar al operador de sala de control del trabajo a realizar en la turbina.

6.1.4 Utilizar los EPP permanentemente.

6.2 MANIOBRAS

6.2.1 Coordinar con la sala de control y la autoridad de área la intervención del instrumento. Ubique el controlador al cual se va a realizar la respectiva calibración

6.2.2 En la parte posterior del controlador ubique en las regletas terminales marcados con la descripción OUT1 y CH1...CH8.

6.2.3 Proceda a desconectar el cableado que llega a estos canales. (Nota: Identificar el cableado para su posterior conexión.).

6.2.4 Realice una conexión en serie con un mili-amperimetro entre el canal de salida (OUT1) y los canales de entrada (CH1..CH8).

6.2.5 Accese el panel de ingeniería, realice la secuencia MODE D, TEST 4, y cualquier tecla marcada con los números de 1.8 (correspondientes a los canales de entrada).

6.2.6 Desde la parte frontal del panel, oprima la tecla de AUTO/MAN, para dejar el controlador en manual.

6.2.7 Con las teclas flecha arriba o flecha abajo lleve el controlador a un valor de salida equivalente a 4.8 mA, verifique con el parámetro COND, TEST 4,1 (flujo), el valor desplegado debe ser aproximadamente 0.50 +/- 0.1.

6.2.8 Si el valor es diferente, ajuste el potenciómetro R2, hasta que el valor deseado es desplegado en pantalla.

6.2.9 Con la tecla de flecha arriba, lleve la salida del controlador hasta un valor medido en el miliamperimetro de 19.2 mA. Verifique con el parámetro COND D, TEST 4, 1 (flujo), el valor desplegado debe ser aproximadamente 95.0 +/- 0.1.

6.2.10 Si el valor es diferente ajuste el potenciómetro de ganancia R1, hasta que el valor deseado es desplegado en pantalla.

6.2.11 Repita los pasos del punto 8 hasta el 11, hasta obtener la calibración correcta.

6.2.12 Para verificar la calibración de los otros canales, en el parámetro COND D, TEST 4, reemplace el último número el cual corresponde al canal a verificar

NOTA: Si al revisar los valores están por fuera de los descritos anteriormente, reemplace la tarjeta, esto quiere decir que la entrada respectiva se encuentra defectuosa.

7. RESTABLECIMIENTO A CONDICIONES NORMALES

7.1 Retire el equipo de prueba. Proceda a normalizar las conexiones eléctricas como las encontró anteriormente.

7.2 Informe a la autoridad de área y al operador de cuarto de control de la culminación del trabajo para que restablezca el sistema a modo normal.

7.3 Cierre el permiso de trabajo.

8. DOCUMENTO DE SOPORTE

8.1 Set de P&ID's de CPF Cupiagua.

8.2 Volumen V, ANTISURGE CONTROL SYSTEM C.C.C.

9. ASPECTOS AMBIENTALES

10. REGISTRO DE REVISIÓN

PROCEDIMIENTO PARA CALIBRACIÓN DE SALIDA ANÁLOGA DEL CONTROLADOR C.C.C.

Autoridad:	MTL: Líder de Mantenimiento	**(Custodio:**	>laneación
Alcance:	Cupiagua	**[Opto. Responsable**	vino. INSTOS
Fecha de emisión:	JUL 06 del 2000	**pecha de Revisión**	JUL 07 del 2000
Identificación:	CUP-MO-CCC-2	**[Revisión No:**	0
Estado de Control			
Aspectos Ambientales	**¡Firma HSE:**		

1. OBJETIVO

Este procedimiento describe la secuencia lógica y segura para realizar la calibración de la salida análoga de los controladores C.C.C.

2. ALCANCE

Este procedimiento aplica para calibración de entrada análoga del controlador C.C.C.

3. DEFINICIONES

El procedimiento se debe aplicar para la calibración de dicho C.C.C.

4. FRECUENCIA

Cada vez que se requiera.

5. RESPONSABILIDADES

Senior de Instrumentos de equipo:Supervisa el trabajo en campo
Personal de mantenimiento equipo: Ejecuta el trabajo.
Gas compresor Technician: Coordina el trabajo a realizar.

6. PROCEDIMIENTO

6.1 CONDICIONES PREVIAS

6.1.1 Diligenciar permiso de trabajo con la autoridad de área
6.1.2 Para la realización de esta operación, la unidad debe estar en S/D, para poder realizar dicha calibración.
6.1.3 Leer procedimiento, (Sí hay dudas consultar al G.C.T.).
6.1.4 Comunicar al operador de sala de control del trabajo a realizar en la turbina.
6.1.5 Utilizar los EPP permanentemente.

6.2 MANIOBRAS

6.2.1 Coordinar con la sala de control y la autoridad de área la intervención del instrumento.
6.2.2 Ubique el controlador al cual se va a realizar la respectiva calibración
6.2.3 En la parte posterior del controlador ubique en las regletas terminales marcados con la descripción OUT1 y CH1.
6.2.4 Proceda a desconectar el cableado que llega a estos canales. (Nota: Identificar el cableado para su posterior conexión.).
6.2.5 Realice una conexión en serie con un mili-amperimetro entre el canal de salida (ODT1) y los canales de entrada (CH1).
6.2.6 Desde la parte frontal del panel, oprima la tecla de AUTO/MAN, para dejar el controlador en manual.

6.2.7 Con las teclas flecha arriba o flecha abajo lleve el controlador a un valor de salida (OUT) de 50%.

6.2.8 Verifique la lectura en el mili-amperimetro, en este momento debe ser aproximadamente de 12.0+/-0.1 mAdc.

6.2.9 Si el valor leído no es correcto, proceda a realizar el ajuste del potenciómetro R4, de la tarjeta PCB, hasta obtener el valor correcto en el mili-amperimetro de 12.00 mA.

6.2.10 Con la tecla flecha abajo lleve la salida del controlador hasta un valor de 00.0% en este momento el valor de lectura en el mili-amperimetro debe ser de 4.00 mA.

6.2.11 Con la tecla de flecha arriba, lleve la salida del controlador hasta un valor de 100%, en este momento el valor de la lectura en el mili-amperimetro debe ser de 20.0 +/- 0.2 mA.

7. RESTABLECIMIENTO A CONDICIONES NORMALES

7.1 Retire el equipo de prueba. Proceda a normalizar las conexiones eléctricas como las encontró anteriormente.

7.2 Informe a la autoridad de área y al operador de cuarto de control de la culminación del trabajo para que restablezca el sistema a modo normal. Cierre el permiso de trabajo.

8. DOCUMENTO DE SOPORTE

8.1 Set de P&ID's de CPF Cupiagua.

8.2 Volumen V, ANTISURGE CONTROL SYSTEM C.C.C.

9. ASPECTOS AMBIENTALES

10. REGISTRO DE REVISIÓN

PROCEDIMIENTO PARA CALIBRACIÓN DE TRANSMISOR DE FLUJO DEL SISTEMA ANTIS URGE

Autoridad:	MTL: Líder de Mantenimiento	**Custodio:**	Jlancación
Alcance:	Cupiagua	**>pto. Responsable**	MITO. INSTOS
Pecha de emisión:	luí 06 del 2000	**Fecha de Revisión**	luí 07 del 2000
Identificación:	CUP-MO-CCC-3	**Revisión No:**	0
Estado de Control			
Aspectos Ambientales	**(Firma HSE:**		

1. OBJETIVO

El presente procedimiento se ejecutara, tomando todos los cuidados, debido a que se trata de un sistema de protección del compresor.

2. ALCANCE

Este procedimiento aplica para calibración de transmisor de flujo del sistema antisurge.

3. DEFINICIONES

El procedimiento se debe aplicar para calibración de dicho transmisor de flujo.

4. FRECUENCIA

Semestral.

5. RESPONSABILIDADES

Senior de Instrumentos de equipo: Supervisa el trabajo en campo
Personal de mantenimiento equipo: Ejecuta el trabajo.
Gas Compresor technician: Coordinador del trabajo.

6. PROCEDIMIENTO

6.1 CONDICIONES PREVIAS

6.1.1 Diligenciar permiso de trabajo con la autoridad de área. Es importante que el mantenimiento se haga en el menor tiempo posible puesto que es un sistema de protección de la integridad del compresor, además se debe de estudiar con anterioridad este procedimiento y tener todo listo en el sitio donde se va a intervenir el instrumento para evitar pérdidas de Tiempo innecesario.

6.1.2 Comunicar al operador de sala de control del trabajo a realizar en la turbina.

6.1.3 Utilizar los EPP permanentemente.

6.2 MANIOBRAS

6.2.1 Coordinar con la sala de control y la autoridad de área la intervención del instrumento.

6.2.2 Antes de iniciar el mantenimiento del instrumento, tome y registre los datos de operación así:

Abra el panel de ingeniería y ejecute la secuencia:

FLUJO:

CONO, D, DISPLAY, 0,1, LOW Rango mínimo en W.

COND, D, DISPLAY, O, 1.HIGH Rango máximo en W.

6.2.3 Se debe garantizar un margen de seguridad, haciendo la desviación positiva mayor o igual a 0.2, para ello se debe pasar el controlador antisurge a manual y abrir la válvula hasta obtener dicha desviación.

6.2.4 Luego de obtener la desviación de 0.2 colocar el controlador load sharing en Manual.

6.2.5 Sobre el controlador antisurge, accesar el panel de ingeniería y realizar los siguientes pasos:

- Remover el seguro de cambio de variables, Mode, D, Lock, 5,1(ON), Enter.
- Pasar el controlador a modo de " Manual Mantenimiento" Mode, A, MOR, I (ON) Enter.

6.2.6 Revise nuevamente si el modo de Manual Mantenimiento esta activado, Mode, A, MOR, debe estar en ON, si no esta oprima 1 Enter, sí esta OK Oprima clear.

6.2.7 En este momento se puede intervenir el instrumento. Ubique en el campo el FIT a calibrar, sobre el manifold, proceda a cerrar las llaves de proceso.

6.2.8 Afloje los tapones y espere hasta que drene la cavidad de los venteos, luego retire completamente los tapones y proceda a abrir lentamente el venteo.

6.2.9 Conecte un simulador de presión y calibre el instrumento a:

MEDIA PRESIÓN	**CALIBRACIÓN**	**UBICACIÓN**
FIT-1820/2820/3870		

ALTA PRESIÓN	**CALIBRACIÓN**	**UBICACIÓN**
FIT-1870/2870/3870		

7. RESTABLECIMIENTO A CONDICIONES NORMALES

7.1 Completada la calibración del instrumento, proceda a remover el simulador de presión y de colocar los tapones usando teflón líquido. Cierre la válvula de venteo y muy lentamente abra la válvula de proceso. Cierre la igualadora.

7.2 En el controlador confirme que no halla falla de transmisor y verifique la lectura, observando la variable medida en los canales:

<1> Flujo en pulgadas de agua.

Estos valores deben estar en el rango anteriormente calibrado.

7.3 Terminado el trabajo proceda a restablecer el controlador a su modo de operación normal Mode, A, Mor, 0 (Off), Enter.

Luego, Mode, D, Lock 5, 0(Off), Enter. El sistema debe quedar de esta forma Normalizado. Verifique repitiendo la secuencia Mode A, Mor en la pantalla del controlador debe aparecer Off, si no es así REPITA LA SECUENCIA.

7.4 Pase el load Sharing a modo Auto. Pase el controlador antisurge a AUTO.

7.5 Informe a la autoridad de área y al operador de cuarto de control de la culminación del trabajo para que restablezca el sistema a modo normal.

7.6 Cierre el permiso de trabajo.

8. DOCUMENTOS DE SOPORTE

8.1 Set de P&ID's de CPF Cupiagua.

8.2 Volumen V, ANT1SURGE CONTROL SYSTEM C.C.C.

9. ASPECTOS AMBIENTALES

10. REGISTRO DE REVISIÓN

PROCEDIMIENTO PARA CALIBRACIÓN DE TRANSMISOR DE PRESIÓN DE LOS MASTER PERFORMANCE

Autoridad:	MTL: Líder de Mantenimiento	**Custodio:**	Plantación
Alcance:	Cupiagua	**Dpto. Responsable**	MTTO. INSTOS
Fecha de emisión:	luí 06 del 2000	**Fecha de Revisión**	Jul 07 del 2000
Identificación:	CUP-MO-CCC-4	**Revisión No:**	0
Estado de Control			
Aspectos Ambientales	**Firma HSE :**		

1. OBJETIVO

El presente procedimiento se ejecutara, tomando todos los cuidados, debido a que se trata de un sistema de protección del compresor.

2. ALCANCE

Este procedimiento aplica para calibración de transmisor de presión de los master perfomance.

3. DEFINICIONES

El procedimiento debe aplicar para la calibración de dicho transmisor de presión.

4. FRECUENCIA

El Semestral

Supervisa el trabajo en campo Ejecuta el trabajo. Coordina el trabajo

5. RESPONSABILIDADES

Senior de Instrumentos de equipo: Supervisa el trabajo de campo

Personal de mantenimiento equipo: Ejecuta el trabajo

Gas compresor technicciан: Coordina el trabajo

6. PROCEDIMIENTO

6.1 CONDICIONES PREVIAS

6.1.1 Diligenciar permiso de trabajo con la autoridad de área

6.1.2 Leer procedimiento, (Sí hay dudas consultar (G.C.T). Es importante que el mantenimiento se haga en el menor tiempo posible puesto que es un sistema de repartición de carga de los compresores, además se debe estudiar con anterioridad este procedimiento y tener todo listo en el sitio donde se va a intervenir el instrumento para evitar perdidas de tiempo innecesarios. Comunicar al operador de sala de control del trabajo a realizar en la turbina.

6.1.3 Utilizar los EPP permanentemente.

6.1.4 Para la calibración de estos tres transmisores se presentan tres escenarios diferentes detallados a continuación.

- Que sea necesario la intervención del transmisor de presión del manifold de succión de las turbinas de media presión.
- Que sea necesario la intervención del transmisor de presión de Inter-Etapas el cual afecta los Maestre de Media y Alta presión.

- Que sea necesario la intervención del transmisor de presión del manifold de inyección en las turbinas de alta presión.

6.2 MANIOBRAS

6.2.1 Coordinar con la sala de control y la autoridad de área la intervención del instrumento.

6.2.2 Para la intervención del transmisor de presión de succión por falla de este o como consecuencia de un mantenimiento preventivo, se debe proceder de la siguiente manera. Colocar el controlador en modo manual y proceder a intervenir el transmisor, una vez realizada la calibración, proceder de la siguiente manera a colocar el master perfomance en modo automático.

6.2.3 Para la intervención del transmisor de presión de inter-etapas por falla de este o como consecuencia de un mantenimiento preventivo, se debe proceder de la siguiente manera. Remover el seguro de cambio de variables, Mode, D, Lock, 5,1(ON), Enter**.** Colocar los dos controladores master perfomance en modo manual y cambiar la variable MODE, P, MOR, **2**, ON a OFF y pulsar Enter en el master de media. Este cambio se hace con el fin de evitar, que al momento de calibrar el transmisor, cuando se pase por el limite de presión prefijada, estando en ON el controlador, el master nos envía la orden de bajar velocidad de las turbinas de media zxpresión.

Una vez se halla terminado la calibración del instrumento, volver a habilitar la función MODE, P, MOR, 2, ON. Y pulsar Enter.

6.2.4 Para la intervención del transmisor de presión del manifold de inyección por falla de este o como consecuencia de un mantenimiento preventivo, se debe proceder de la siguiente manera. Remover el seguro de cambio de variables Mode, D, Lock 5, 1(ON), Enter. Colocar el controlador en modo Manual y cambiar la variable MODE, P, MOR, 2, ON, a OFF y pulsar Enter. Este cambio se hace con el fin de evitar, que al momento de calibrar el

transmisor, cuando se pase por el limite de presión prefijada, estando en ON el controlador, el master nos envía la orden de bajar velocidad a las turbinas de alta presión.

6.2.5 Una vez se halla terminado la calibración del instrumento, volver habilitar la función MODE, P, MOR, 2, ON y pulsar Enter.

7. RESTABLECIMIENTO A CONDICIONES NORMALES

7.1 Colocar el controlador en modo Automático.

7.1 Informe a la autoridad de área y al operador de cuarto de control de la culminación del trabajo para que restablezca el sistema a modo normal.

7.2 Cierre el permiso de trabajo.

8. DOCUMENTACIÓN

8.1 SetdeP&ID's de CPF Cupiagua

8.2 Volumen V, ANT1SURGE CONTROL SYSTEM C.C.C.

9. ASPECTOS AMBIENTALES

10. REGISTRO DE REVISIÓN

PROCEDIMIENTO PARA CALIBRACIÓN DE TRANSMISOR DE PRESIÓN DEL SISTEMA ANTISURGE

Autoridad:	MTL: Líder de Mantenimiento	**Custodio:**	^aneación
Alcance:	Cupiagua	**Dpto. Responsable**	MTTO. INSTOS
Fecha de emisión:	luí 06 del 2000	**Pecha de Revisión**	Jul 07 del 2000
Identificación:	CUP-MO-CCC-5	**Revisión No:**	0
Estado de Control			
Aspectos Ambientales	^irma HSE:		

1. OBJETIVO

El presente procedimiento se ejecutara, tomando todos los cuidados, debido a que se trata de un sistema de protección del compresor.

2. ALCANCE

Este procedimiento aplica para calibración de transmisor de presión del sistema antisurge.

3. DEFINICIONES

El procedimiento se debe aplicar para calibración de dicho transmisor de presión.

4. FRECUENCIA

Semestral.

5. RESPONSABILIDADES

Senior de Instrumentos de equipo: Supervisa el trabajo en campo
Personal de mantenimiento equipo: Ejecuta el trabajo.
Gas Compresor technician: Coordinador del trabajo.

6. PROCEDIMIENTO

6.1 CONDICIONES PREVIAS

6.1.1 Diligenciar permiso de trabajo con la autoridad de área. Es importante que el mantenimiento se haga en el menor tiempo posible puesto que es un sistema de protección de la integridad del compresor, además se debe de estudiar con anterioridad este procedimiento y tener todo listo en el sitio donde se va a intervenir el instrumento para evitar perdidas de tiempo innecesarias.

6.1.2 Comunicar al operador de sala de control del trabajo a realizar en la turbina.

6.1.3 Utilizar los EPP permanentemente.

6.2 MANIOBRAS

6.2.1 Coordinar con la sala de control y la autoridad de área la intervención del instrumento.

6.2.2 Antes de iniciar el mantenimiento del instrumento, tome y registre los datos de operación así: Abra el panel de ingeniería y ejecute la secuencia:

P.SUCCION:

COND, D, DISPLAY, 0,3, LOW	**Rango mínimo en PSL**
COND, D, DISPLAY, O, 3, H1GH	**Rango máximo en PSL**

LECTURA ACTUAL PSL
P. DESCARGA
COND, D, DISPLAY, 0,2 LOW **Rango mínimo en PSI**
COND, D, DISPLAY, O, 2 H1GH **Rango máximo en PSI**
LECTURA ACTUAL PSL

6.2.3 Se debe garantizar un margen de seguridad, haciendo la desviación positiva mayor o igual a 0.2, para ello se debe pasar el controlador antisurge a manual y abrir la válvula hasta obtener dicha desviación.

6.2.4 Luego de obtener la desviación de 0.2 colocar el controlador load sharing en Manual.

6.2.5 Sobre el controlador antisurge, accesar el panel de ingeniería y realizar los siguientes pasos:

- Remover el seguro de cambio de variables, Mode, D, Lock, S, 1(ON), Enter.
- Pasar el controlador a modo de " Manual Mantenimiento" Mode**,** A, MOR,1(ON) Enter.

6.2.6 Revise nuevamente si el modo de Manual Mantenimiento esta activado, Mode, A, MOR, debe estar en ON, si no esta oprima 1 Enter, si esta OK oprima clear.

6.2.7 En este momento se puede intervenir el instrumento. Ubique en el campo el PIT a calibrar, sobre el manifold, proceda a cerrar las llaves de proceso.

6.2.8 Afloje los tapones y espere hasta que drene la cavidad de los venteos, luego retire completamente los tapones y proceda a abrir lentamente el venteo. Conecte un simulador de presión y calibre el instrumento a:

MEDIA PRESIÓN	**CALIBRACIÓN**	**UBICACIÓN**
PIT-1823/2823/3823	0-1100 **PSIG**	Succión
PIT-1825/282S/382S	0- 3150 PISG	Descarga

ALTA PRESIÓN	CALIBRACIÓN	UBICACIÓN
P1T-1873/2873/3873	0- 3150	Succión
PIT-1875/2875/3875	0- 6850	Descarga

7. RESTABLECIMIENTO A CONDICIONES NORMALES

7.1.1 Completada la calibración del instrumento, proceda a remover el simulador de presión y de colocar los tapones usando teflón líquido. Cierre la válvula de venteo y muy lentamente abra la válvula de proceso. Cierre la igualadora.

7.1.2 En el controlador confirme que no halla falla de transmisor y verifique la lectura, observando la variable medida en los canales:

<1> Presión de descarga. <2> Presión de Succión.

Estos valores deben estar en el rango anteriormente calibrado.

7.1.3 Terminado el trabajo proceda a restablecer el controlador a su modo de operación normal Mode, A, Mor, 0 (Off), Enter. Luego, Mode, D, Lock 5, O(Off), Enter. El sistema debe quedar de esta forma Normalizado. Verifique repitiendo la secuencia Mode A, Mor en la pantalla del controlador debe aparecer Off, si no es así REPITA LA SECUENCIA.

7.4 Pase el load Sharing a modo Auto. Pase el controlador antisurge a AUTO**.**

7.5 Informe a la autoridad de área y al operador de cuarto de control de la culminación del trabajo para que restablezca el sistema a modo normal.

7.6 Cierre el permiso de trabajo.

8. DOCUMENTO DE SOPORTE

8.1 Set de P&ID's de CPF Cupiagua.

8.2 Volumen V, ANTISURGE CONTROL SYSTEM C.C.C.

9. ASPECTOS AMBIENTALES

10. REGISTRO DE REVISIÓN

PROCEDIMIENTO PARA CALIBRACIÓN DE TRANSMISOR DE TEMPERATURA DEL SISTEMA ANTISURGE

Autoridad:	MTL: Líder de Mantenimiento	**Custodio:**	Planeación
Alcance:	Cupiagua	**Dpto. Responsable**	tonTO. INSTOS
Pecha de emisión:	Jul 06 del 2000	**Fecha de Revisión**	luí 07 del 2000
Identificación:	CUP-MO-CCC-6	**Revisión No:**	0
Estado de Control			
Aspectos Ambientales		**Firma HSE :**	

1. OBJETIVO

El presente procedimiento se ejecutara, tomando todos los cuidados, debido a que se trata de un sistema de protección del compresor.

2. ALCANCE

Este procedimiento aplica para calibración de transmisor de temperatura del sistema antisurge.

3. DEFINICIONES

El procedimiento se debe aplicar para calibración de dicho transmisor de temperatura.

4. FRECUENCIA

Semestral.

5. RESPONSABILIDADES

Sénior de Instrumentos de equipo: Supervisa el trabajo en campo
Personal de mantenimiento equipo: Ejecuta el trabajo.
Gas Compresor technician: Coordinador del trabajo.

6. PROCEDIMIENTO

6.1 CONDICIONES PREVIAS

6.1.1 Diligenciar permiso de trabajo con la autoridad de área. Es importante que el mantenimiento se haga en el menor tiempo posible puesto que es un sistema de protección de la integridad del compresor, además se debe de estudiar con anterioridad este procedimiento y tener todo listo en el sitio donde se va a intervenir el instrumento para evitar perdidas de tiempo innecesarias

6.1.2 Comunicar al operador de sala de control del trabajo a realizar en la turbina.

6.1.3 Utilizar los EPP permanentemente.

6.2 MANIOBRAS

6.2.1 Coordinar con la sala de control y la autoridad de área la intervención del instrumento.

6.2.2 Antes de iniciar el mantenimiento del instrumento, tome y registre los dalos de operación así: 3. Abra el panel de ingeniería y ejecute la secuencia:

T.SUCCION:

CONO, D, DISPLAY, 0,6, LOW	Rango mínimo en grados F.
CONO, D, DISPLAY, O, 6, HIGH	Rango máximo en grados F

T.DESCARGA

CONO, D, DISPLAY, 0,5 LOW	Rango mínimo en grados F
CONO, D, DISPLAY, 0,5 HIGH	Rango máximo en grados F

6.2.3 Se debe garantizar un margen de seguridad, haciendo la desviación positiva mayor o igual a 0.2, para ello se debe pasar el controlador antisurge a manual y abrir la válvula hasta obtener dicha desviación.

6.2.4 Luego de obtener la desviación de 0.2 colocar el controlador load sharing en Manual.

6.2.5 Sobre el controlador antisurge, accesar el panel de ingeniería y realizar los siguientes pasos:

- Remover el seguro de cambio de variables, Mode, D, Lock, 5,1(ON), Enter.
- Pasar el controlador a modo de " Manual Mantenimiento" Mode, A, MOR,1(ON) Enter.

6.2.6 Revise nuevamente si el modo de Manual Mantenimiento esta activado, Mode, A, MOR, debe estar en ON, si no esta oprima 1 Enter, si esta OK oprima clear.

6.2.7 En este momento se puede intervenir el instrumento.

6.2.8 Conecte un simulador de presión RTD o caja de décadas y calibre el instrumento a:

MEDIA PRESIÓN	**CALIBRACIÓN**	**UBICACIÓN**
TIT-1820/282Ü/3820	0- 250 deg F	Succión
TIT-1823/2823/3823	0- 500 deg F	Descarga

ALTA PRESIÓN	**CALIBRACIÓN**	**UBICACIÓN**
TIT-1870/2870/3870	0- 300	Succión
TIT-1873/2873/3873	0- 500	Descarga

7. RESTABLECIMIENTO A CONDICIONES NORMALES

7.1 En el controlador confirme que no halla falla de transmisor y verifique la lectura, observando la variable medida en los canales:

<3> Temperatura de Succión. <4> Temperatura de descarga.
Estos valores deben estar en el rango anteriormente calibrado.

7.2 Terminado el trabajo proceda a restablecer el controlador a su modo de operación normal Mode, A, Mor, O (Off), Enter. Luego, Mode, D, Lock 5, O(Ofi), Enter. El sistema debe quedar de esta forma normalizado. Verifique repitiendo la secuencia Mode A, Mor en la pantalla del controlador debe aparecer Off, si no es así REPITA LA SECUENCIA.

7.3 Pase el load Sharing a modo Auto. Pase el controlador antisurge a AUTO.

7.4 Informe a la autoridad de área y al operador de cuarto de control de la culminación del trabajo para que restablezca el sistema a modo normal.

7.5 Cierre el permiso de trabajo.

8. **DOCUMENTOS DE SOPORTE**

8.1 Set de P&ID's de CPF Cupiagua.

8.2 Volumen V, ANTISURGE CONTROL SYSTEM C.C.C.

9. ASPECTOS AMBIENTALES

10. REGISTRO DE REVISIÓN

PROCEDIMIENTO PARA REMPLAZO DE CONTROLADOR C.C.C. DAÑADO

Autoridad:	MTL: Líder de Mantenimiento	**Custodio:**	Planeación
Alcance:	Cupiagua	**Opto. Responsable**	MTTO. INSTOS
Fecha de emisión:	JUL 06 del 2000	**Pecha de Revisión**	JUL 07 del 2000
Identificación:	CUP-MOCCC-7	**Revisión No:**	0
Estado de Control			
Aspectos Ambientales		**Pinna HSE :**	

1. OBJETIVO

Cambio de controlador C.C.C. dañado ya que este es la protección para el compresor.

2. ALCANCE

Este procedimiento aplica para reemplazo de controlador dañado.

3. DEFINICIONES

El procedimiento se debe aplicar para reemplazo de dicho controlador C.C.C.

4. FRECUENCIA

Cada vez que sé requiera.

5. RESPONSABILIDADES

Senior de Instrumentos de equipo: Supervisa el trabajo en campo
Personal de mantenimiento equipo: Ejecuta el trabajo.
Gas compresor Technician: Coordina el trabajo a realizar.

6. PROCEDIMIENTO

6.1 CONDICIONES PREVIAS

6.1.1 Diligenciar permiso de trabajo con la autoridad de área

6.1.2 Leer procedimiento, (Si hay dudas consultar al G.C.T.). Para la ejecución de este trabajo la unidad debe estar en S/D Es recomendable usar un LAPTOP y conectarlo individualmente al controlador de repuesto. Este deberá tener el programa TOOLBOX con base de datos actualizada.

6.1.3 Comunicar al operador de sala de control del trabajo a realizar en la turbina.

6.1.4 Utilizar los EPP permanentemente.

6.2 MANIOBRAS

6.2.1 Coordinar con la sala de control y la autoridad de área la intervención del instrumento.

6.2.2 Identifique el TAG del controlador dañado, EJ: UIC-1872 (ANTISURGE 4).

6.2.3 En el laptop ingrese el programa TOOLBOX: C:\TOOLBOX/TOOLBOX y Enter.

6.2.4 Ingrese al subprograma CONFIGURATOR para observar parámetros del controlado: dañado (almacenados en el PC).

- Ir a Datábase, A- Load, 6491LZ.CDB
- Ir al submenu PARAMETER SET, A**,** Select UlC-1872.
- Ir a B-EDIT y tomar nota de:
- Computer ID Number: 51 y controller ID Number:02.
- Versión del Software: 753-002.

6.2.5 Instalar y alimentar el controlador de repuesto. Conectar el puerto de comunicación 4 con el P.C.

6.2.6 En el controlador, acceder el panel de ingeniería para configurar manualmente la misma dirección del controlador dañado de la siguiente manera:

- MODE, D, LOCK, 5,1 (ON) Enter.
- MODE, D, COMM, O, 2 (sí el controlador ID es 02), Enter * (punto decimal), 51 (sí el computador es 51), de Enter.

6.2.7 Verifique en el panel de ingeniería que los parámetros MODE, D, LOCK, 1 y MODE, D, LOCK, 2, estén en OFF (0), esto permitiría transferencia de datos desde la PC.

6.2.8 Verificar la versión de software del controlador de repuesto en el panel de ingeniería: MODE, D, TEST 2, Si esta coincide con la del controlador dañado, siga al punto 16 de este procedimiento.

CAMBIO DEL SOFTWARE DEL CONTROLADOR.

6.2.9 Desde el panel de ingeniería colocar el controlador en BAUD RATE 19200 Y PARITY ODD, de la siguiente manera: MODE, D, COMM, 4. (punto decimal), Enter, Enter.

6.2.10 Desde el panel frontal colocar el controlador en manual, si no es posible colocar los siguientes parámetros de la siguiente manera: MODE, A, MOR, 1(ON), Enter; MODE, A, fB, 1,1 (ON), MODE, A, SS, 2,0 (OFF); intentar las veces que sea necesario.

6.2.11En el programa de TOOLBOX, salir con F2, Quit y entrar al subprograma DOWNLOAD y cambiar el software del controlador.

- Ir a COMUNICATIONS, C y entrar al submenu COMMSTATS, ENTER, para colocar BAUD RATE a 19200 (presione F3).
- b. Ir A -Sean, F3-R Sean, para establecer comunicación.

6.2.12 Ir al submenu FILES, A -READ BINAR Y y seleccione la versión del software requerida. Ej: 753002.BHF.

Observar en la pantalla CURREENT FILE: 753002BHF, presione cualquier tecla para salir.

6.2.13 Ir a DOWNLOAD, ENTER, y escribir el número del controlador EJ: 51, ENTER. Elegir puerto de comunicación de PC, Ej: COM, 1. La nueva versión del controlador será descargada al controlador en aproximadamente 30 seg.

6.2.14 Verificar la nueva versión de software en el controlador desde el panel de Ingeniería: MODE, D, TEST, 2.

6.2.15 Retomar el BAUD RATE a 9600 de la siguiente manera desde el panel de ingeniería:

- MODE, D, LOCK, 5, 1(ON), ENTER MODE, D, COMM, 4. (punto decimal) ENTER, ENTER.
- En el PC, ir a COMUNICATIONS, C -COMMSTANS, ENTER y F3 para salir.

CAMBIO DE CONFIGURACIÓN A CONTROLADOR

6.2.16 Para cambio de configuración del controlador, ingresar al subprograma CONFIGURATOR.

- Ir a DATABASE, A, LOAD y escoger la configuración a cargar.
- Ir a PARAMETER SET, A y escoja el submenú SELECT, y seleccione el Tag del controlador dañado, Ej UIC-1872.
- Repetir punto No 6.
- Ir'al submenú G-SCAN, y oprimir F3 - Rescan para establecer comunicación a 9600 Baud Rate con el controlador.
- Salir oprimiendo la tecla F2 e ir al submenú F- WRITE y ENTER, Los parámetros del UIC-1872 se descargaran al nuevo controlador en aproximadamente 2 seg.

6.2.17 Desde el panel de ingeniería verifique el CHECKSUM de la siguiente manera:

- MODE, D, LOCK, 4**,** (XXXX).
- En el PC ir al submenú B - EDIT, y observar en la parte superior derecha el CHECKSUM P - XXXXX
- Si ambos números coinciden el controlador ha sido reemplazado exitosamente.

7. RESTABLECIMIENTO A CONDICIONES NORMALES

7.1 Retire el LAPTOP, normalice las conexiones del puerto numero 4 y normalice los siguientes parámetros a sus condiciones iniciales: MODE, A, MOR, 1 (ON), ENTER; MODE, A, fb, 1,1(ON), MODE, A, SS, 2,0(OFF).

7.2 Informe a la autoridad de área y al operador de cuarto de control de la culminación del trabajo para que restablezca el sistema a modo normal.

7.3 Cierre el permiso de trabajo.

8. DOCUMENTO DE SOPORTE

8.1 Set de P&ID's de CPF Cupiagua.

8.2 Volumen V, ANTISURGE CONTROL SYSTEM C.C.C.

9. ASPECTOS AMBIENTALES

10. REGISTRO DE REVISIÓN

ANEXO 2
DIAGNOSTICO DE FALLAS

FALLAS DE LOS CONTROLADORES ANTISURGE

INDICADORES DE FALLA:

Los controladores tienen uno o más internos watchdog timer's que continuamente se resetean en normal operación. En el panel frontal indicadores de falla, indican cual puede ser la falla interna del controlador.

OUTPUTFAILURE:

FALLA

El sistema activa un relevo auxiliar. Cuando el controlador detecta una diferencia de mas de 5%, entre el valor de salida y el valor de entrada usada como retroalimentación del lazo (canal de entrada #8).

CONSECUENCIA

Esta condición puede representar una perdida de calibración en el circuito de salida o entrada, falla externa en la interacción del lazo de control, daño en el PCB.

ACCIÓN

* Verificar lazo de control, (componentes).
*Calibrar entrada o salida análoga.
*Reemplazar tarjeta PCB

TRANSMITTER ALARM

FALLA:

El sistema activa el relevo cuando algún transmisor se encuentra por fuera de rango, definido por los valores de corriente establecidos en al configuración del controlador.

CONSECUENCIA:

Activación de las estrategias de falla del controlador, dependiendo de la entrada análoga que haya entrado en falla.

ACCIÓN:

*Identificar la entrada análoga que se encuentra en falla, (MODE, D, AJN -), NOTA. Esta verificación es realizada en el panel de ingeniería. Al revisar los canales de entrada, deberá aparecer el mensaje "good", si la entrada está entre los paramentos de operación. Si aparece el mensaje "Low / High", la entrada análoga se encuentra fuera de rango.

'Verificar el cableado de campo.
'Verificar calibración del transmisor.
'Revisar parámetros por limites de bajo y alto valor de corriente.

COMMUNICATION ERROR
FALLA:

Cuando hay pérdida de comunicación serial entre controladores, el relevo de falla se activa, presentando un mensaje de falla de comunicación entre los puertos # 1 y 2.
ComErr(led).

CONSECUENCIA:

La perdida de comunicación puede producir alteraciones notorias, que básicamente dependen de las diferentes Estrategias y ajustes de operación que se hayan realizado en los controladores, para la interacción entre ellos.

Para tal efecto se debe tener claro como es la interacción entre controladores. Se pueden citar varios ejemplos: Desacople de lazos, compartimento de carga, Limitantes de presión y descarga.

ACCIÓN:

*Puesto que la identificación de falla de comunicación es una situación delicada debe primero identificar la condición del compresor en forma segura antes de realizar la revisión.

*Para el puerto *#1* con el parámetro MODE, D, COMM, --, 3, indica si el controlador no está transmitiendo.

*Para el load sharing el parámetro MODE, D, COMM, -, 2, indica si el controlador no está transmitiendo. Al realizar está maniobra aparecerá el mensaje "PT2

GOOD, si la transmisión es correcta y el mensaje "PT2BAD", si al transmisión no es correcta. 'Verificar el cableado entre controladores.

CAMBIOS DE PARÁMETROS EN EL CONTROLADOR:

PARAMETER CHECKSUM:

FALLA:

Cambio en los parámetros establecidos para la aplicación de cada controlador en particular.

CONSECUENCIA:

Perturbaciones en el control del compresor o la interacción con otros controladores.

ACCIÓN:

* Verificar el CHECKSUM, el cual es una función algebraica calculada para todos los valores de los parámetros seleccionados. El checksum es un número hexadecimal el cual al producir un cambio en un parámetro este varía automáticamente. La secuencia para verificar el checksum desde el panel de ingeniería es MODE, D. LOCK, 4.

* Comparar parámetros del panel de ingeniería con los parámetros almacenados en el toolbox. Así fácilmente se puede determinar cual es el parámetro erróneo.

PARÁMETROS BÁSICOS QUE SIRVEN DE AYUDA EN EL MOMENTO DE IDENTIFICAR FALLAS EN LOS CONTROLADORES

1. MODE D LOCK 5 0 (l)
Para poder cambiar algún parámetro.

2. MODE LOCK 4
Par verificar el CKECKSUM

3. MODE D ANIN -
para identificar falla en alguna de las entradas análogas, par verificar sucesivamente presione la tecla que tiene le punto (.).

4. MODE D COMM 0
Para identificar el número de identificación del controlador.

5. MODE TEST ENTER
Para forzar un RECICLE TRIP.

6. MODE A MOR 0(l).
Para colocar en manual de mantenimiento.

7. MODE D COMM ENTER
Para darle un RESET al controlador

8. MODE D TEST 3
Para verificar el puerto serial activado.

9. MODE D TEST 4

Para leer los valores en porcentaje de las entradas análogas, donde los números representan el canal seleccionado.

10. MODE TEST 4 0

El display podrá mostrar ahora (1,2,3) para alguna entrada digital que ha sido acertada.

DI: Es para tracking, o controlador redundante.

D2: Es para requerimiento de SHUT-DOWN.

D3: Es para requerimiento de purga.

11. MODE D LOCK 6 0 (1).

Para bloquear las entradas análogas, generalmente este comando es usado cuando vamos a trabajar con el MODPOST.

12. MODE D LOCK 1 1 ENTER

Para inhibir lectura y escritura vía comunicación serial.

13. MODE D LOCK 1 0 ENTER

Para inhibir el modo escritura vía comunicación serial.

14. MODE D COMM - 2

Para probar la comunicación puerto serial número 2

15 MODE D COMM-3

Para probar la comunicación puerto serial número 1.

16. MODE D TEST 2

Para chequear la versión del SOFTWARE del controlador.

17. CONO D 0.

Para verificar el rango de uno de los transmisores de campo, seguidamente después de 0 le damos el número el cual pertenece al canal que queremos leer, después le damos HIGH ó LOW, dependiendo si queremos mirar el rango alto ó bajo.

18. MODE D TEST 6

Para determinar cuantas veces la C.P.U. ha sido reseteada.

19. MODE D TEST 7

Para verificar cuantas veces se ha realizado un RESET desde el panel frontal.

NOTA: si hay dudas sobre algún parámetro, consultar el manual respectivo

ESTRATEGIA DE FALLA, PARA LOS CONTRADORES LOAD SHARING POR FALLA DE COMUNICACIÓN DEL MASTER PERFORMANCE

Para las condiciones actuales, en todos Los controladores LOAD SHARING, se encuentra cableado desde el controlador de ANTISURGE, la variable de presión de succión, correspondiente al canal de entrada # 3 en serie con la entrada # 1 del controlador Load Sharing. El parámetro que habilita esta función es: MODE, P, A, IN 1

Esta señal de entrada es habilitada en el controlador Loas Sharing, como variable de control primario definido por el parámetro COND, P, CONST, 5. Cuando este valor es cero, asume por defecto como setpoint el mismo valor de la variable primaría (presión de succión), el cual es usada para manipular la velocidad de la maquina en caso de falla de comunicación desde el MASTER PERFORMANCE.

Esta estrategia de falla es implementada a través del modo de operación, habilitado por el parámetro MODE, P, fA, 03 (ON), y MODE, P, fD, 3, 5 (ON). Cuando se presenta falla de comunicación invierte su función de aplicación a MODE, P, fA, 01, para realizar el control como aún unidad stand along.

PRUEBA DE LA ESTRATEGIA DE FALLA:

- Para verificar la estrategia de falla, debemos desconectar el puerto terminal número 1 y 2 correspondiente a la comunicación entre controladores.
- Dejar el load sharing en automático.
- Pasar el controlador Antisurge a manual y abrir el reciclo lentamente. Verificar el comportamiento de load sharing, con respecto a la manipulación de la velocidad de la turbina.

PRUEBA DE DESACOPLE DE LAZOS

1. Para la interacción entre lazos de control, se ha desarrollado una estrategia de desacople de lazos, el cual se realizan pruebas operativas, para verificar el desempeño de los controladores al cambio de una perturbación del proceso.

2. El objetivo es aprovechar al máximo la energía desarrollada por los compresores, aun presentándose disturbios en el proceso.

3. Para tal condición ajustaremos el parámetro COND ,D , C1 en 10, esto hace que la válvula de reciclo abra en ese porcentaje en un recycle tríp.

4. Forcé en el compresor de media de un tren un recycle trip. MODE TEST ENTER y observe en el compresor de alta la variación en la apertura de la válvula.

5. Observe que los otros trenes asuman la carga momentáneamente. El sistema debe redistribuir nuevamente la carga al desaparecer la perturbación.

FALLAS DE LOS CONTROLADORES ANTISURGE

INDICADORES DE FALLA:

Los controladores tienen uno o mas internos watchdog timer's que continuamente se resetean en normal operación. En el panel frontal indicadores de falla, indican cual puede ser la falla interna del controlador.

OUTPUT FAILURE:

FALLA

El sistema activa un relevo auxiliar, cuando el controlador detecta una diferencia de mas de 5%, entre el valor de salida y el valor de entrada usada como retroalimentación del lazo (canal de entrada # 8).

CONSECUENCIA

Esta condición puede representar una perdida de calibración en el circuito de salida o entrada, falla externa en la interacción del lazo de control, daño en el PCB.

ACCIÓN

* Verificar lazo de control, (componentes).
*Calibrar entrada o salida análoga.
*Reemplazar tarjeta PCB

TRANSMITTER ALARM

FALLA:

El sistema activa el relevo cuando algún transmisor se encuentra por fuera de rango, definido por los valores de corriente establecidos en al configuración del controlador.

CONSECUENCIA:

Activación de las estrategias de falla del controlador, dependiendo de la entrada análoga que haya entrado en falla.

ACCIÓN:

*Identificar la entrada análoga que se encuentra en falla, (MODE, D, AIN -), NOTA: Esta verificación es realizada en el panel de ingeniería. Al revisar los canales de entrada, deberá aparecer el mensaje "good", si la entrada está entre los paramentos de operación. Si aparece el mensaje "Low / High", la entrada análoga se encuentra fuera de rango.
* Verificar el cableado de campo.
*Verificar calibración del transmisor.
*Revisar parámetros por limites de bajo y alto valor de corriente.

COMMUNICATION ERROR

FALLA:

Cuando hay pérdida de comunicación serial entre controladores, el relevo de falla se activa, presentando un mensaje de falla de comunicación entre los puertos # 1 y 2.
ComErr(led).

CONSECUENCIA:

La perdida de comunicación puede producir alteraciones notorias, que básicamente dependen de las diferentes Estrategias y ajustes de operación que se hayan realizado en los controladores, para la interacción entre ellos. Para tal efecto se debe tener claro como es la interacción entre controladores. Se pueden citar varios ejemplos: Desacople de lazos, compartimento de carga, Limitantes de presión y descarga.

ACCIÓN:

*Puesto que la identificación de falla de comunicación es una situación delicada debe primero identificar la condición del compresor en forma segura antes de realizar la revisión.
*Para el puerto #1 con el parámetro MODE, D, COMM, -, 3, indica si el controlador no está transmitiendo.
*Para el load sharing el parámetro MODE, D, COMM, --, 2, indica si el controlador no está transmitiendo. Al realizar está maniobra aparecerá el mensaje "PT2 GOOD, si la transmisión es correcta y el mensaje "PT2BAD", si la transmisión no es correcta.
*Verificar el cableado entre controladores.

CAMBIOS DE PARÁMETROS EN EL CONTROLADOR:

PARAMETER CHECKSUM:

FALLA:

Cambio en los parámetros establecidos para al aplicación de cada controlador en particular.

CONSECUENCIA:

Perturbaciones en el control del compresor o la interacción con otros controladores.

ACCIÓN:

• Verificar el CHECKSUM, el cual es una función algebraica calculada para todos los valores de los parámetros seleccionados. El checksum es un número hexadecimal el cual al producir un cambio en un parámetro este varía automáticamente. La secuencia para verificar el checksum desde el panel de ingeniería es MODE, D. LOCK, 4.

• Comparar parámetros del panel de ingeniería con los parámetros almacenados en el toolbox. Así fácilmente se puede determinar cual es el parámetro erróneo.

PARÁMETROS BÁSICOS QUE SIRVEN DE AYUDA EN EL MOMENTO DE IDENTIFICAR FALLAS EN LOS CONTROLADORES

1. MODE D LOCK 5 0 (l)

Para poder cambiar algún parámetro.

2. MODE LOCK 4

Para verificar el CKECKSUM

3. MODE D ANIN -

Para identificar falla en alguna de las entradas análogas, par verificar sucesivamente presione la tecla que tiene le punto (.).

4. MODE D COMM 0

Para identificar el número de identificación del controlador.

5. MODE TEST ENTER

Para forzar un RECICLE TRIP.

6. MODE A MOR 0 (l).

Para colocar en manual de mantenimiento.

7. MODE D *CO*MM ENTER

Para darle un RESET al controlador

8. MODE D TEST 3

Para verificar el puerto serial activado.

9. MODE D TEST 4

Para leer los valores en porcentaje de las entradas análogas, donde los números representan el canal seleccionado.

10.MODE TEST 4 O

El display podrá mostrar ahora (1,2,3) para alguna entrada digital que ha sido acertada.

DI: Es para tracking, o controlador redundante.

D2: Es para requerimiento de SHUT-DOWN.

D3: Es para requerimiento de purga.

11. MODE D LOCK 6 0(1).

Para bloquear las entradas análogas, generalmente este comando es usado cuando vamos a trabajar con el MODPOST.

12. MODE D LOCK 1 1 ENTER

Para inhibir lectura y escritura vía comunicación serial.

13. MODE D LOCK 1 0 ENTER

Para inhibir el modo escritura vía comunicación serial.

14. MODE D COMM - 2

Para probar la comunicación puerto serial número 2

15. MODE D COMM-3

Para probar la comunicación puerto serial número 1.

16. MODE D TEST 2

Para chequear la versión del SOFTWARE del controlador.

17. CONO D 0.

Para verificar el rango de uno de los transmisores de campo, seguidamente después de 0 le damos el número el cual pertenece al canal que queremos leer,

después le damos HIGH ó LOW, dependiendo si queremos mirar el rango alto ó bajo.

18. MODE D TEST 6

Para determinar cuantas veces la C.P.U. ha sido reseteada.

19. MODE D TEST 7

Para verificar cuantas veces se ha realizado un RESET desde el panel frontal.

NOTA: si hay dudas sobre algún parámetro, consultar el manual respectivo

ESTRATEGIA DE FALLA, PARA LOS CONTRADORES LOAD SHARING POR FALLA DE COMUNICACIÓN DEL MASTER PERFORMANCE

Para las condiciones actuales, en todos Los controladores LOAD SHARING, se encuentra cableado desde el controlador de ANTISURGE, la variable de presión de succión, correspondiente al canal de entrada # 3 en serie con la entrada # 1 del controlador Load Sharing. El parámetro que habilita esta función es: MODE, P, A, IN 1.

Esta señal de entrada es habilitada en el controlador Loas Sharing, como variable de control primario definido por el parámetro COND, P, CONST, 5. Cuando este valor es cero, asume por defecto como set point el mismo valor de la variable primaria (presión de succión), el cual es usada para manipular la velocidad de la maquina en caso de falla de comunicación desde el MASTER PERFORMANCE.

Esta estrategia de falla es implementada a través del modo de operación, habilitado por el parámetro MODE, P, fA, 03 (ON), y MODE, P, fD, 3, 5 (ON). Cuando se presenta falla de comunicación invierte su función de aplicación a MODE, P, fA, 01, para realizar el control como una unidad stand along.

PRUEBA DE LA ESTRATEGIA DE FALLA

- Para verificar la estrategia de falla, debemos desconectar el puerto terminal número 1 y 2 correspondiente a la comunicación entre controladores.
- Dejar el load sharing en automático.
- Pasar el controlador Antisurge a manual y abrir el reciclo lentamente. Verificar el comportamiento de load sharing, con respecto a la manipulación de la velocidad de la turbina.

PRUEBA DE DESACOPLE DE LAZOS

- Para la interacción entre lazos de control, se ha desarrollado una estrategia de desacople de lazos, el cual se realizan pruebas operativas, para verificar el desempeño de los controladores al cambio de una perturbación del proceso.

- El objetivo es aprovechar al máximo la energía desarrollada por los compresores, aun presentándose perturbación en el proceso.

- Para tal condición ajustaremos el parámetro COND, D , C1 en 10, esto hace que la válvula de reciclo abra en ese porcentaje en un recycle trip.

- Forcé en el compresor de media de un tren un recycle trip. MODE TEST ENTER y observe en el compresor de alta la variación en la apertura de la válvula.

- Observe que los otros trenes asuman la carga momentáneamente. El sistema debe redistribuir nuevamente la carga al desaparecer la perturbación.

BIBLIOGRAFÍA

COMPRESSOR CONTROL CORPORATION. Series 3 plus Performance Controller for Axial and Centrifugal compressors. Publication IM302 (6.0.0). Product Revisión: 956-001. February, 1999. 15-112 p.

COMPRESSOR CONTROL CORPORATION. Series 3 plus Antisurge Controller for Axial and Centrifugal compressors. Publication IM301 (6.0.0). Product revisión: 756-001. February 1999. 15-108p.

COMPRESSOR CONTROL CORPORATION. Series 3 plus Performance Controller for axial and Centrifugal compressors. Publication PB302 (2.1). March 2000. 2 p.

COMPRESSOR CONTROL CORPORATION. Series 3 plus Antisurge controller for axial and Centrifugal compressors. Publication PB301 (2.1). March 2000. 2 p.

COMPRESSOR CONTROL CORPORATION. Series 3 plus compressors controllers hardware specifications. Publication DSH300/H. February 1999. 30-60 p.

OGATA, Katsushiko. Discrete Time Control Systems. Universtity of Minnesotu. Prentice- Hall. 1987. 240-250 p.

CHEN, Cffl TSONG, Linear System Theory and Design. Sanders College Publishing 1984. 370-377p.