

**ACTUALIZACIÓN TECNOLÓGICA DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN, CONTROL Y  
MONITOREO DEL COMPRESOR DE GAS HÚMEDO FL-C-2601 DE LA UNIDAD DE  
RUPTURA CATALÍTICA DE LA REFINERÍA DE CARTAGENA**

**JAVIER ARTENIO CABRERA DURAN**

**OSCAR FERNANDO JIMENEZ OSORIO**

**OSCAR JAVIER PLATA RAMIREZ**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARTAGENA DE INDIAS**

**2013**

**ACTUALIZACIÓN TECNOLÓGICA DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN, CONTROL Y  
MONITOREO DEL COMPRESOR DE GAS HÚMEDO FL-C-2601 DE LA UNIDAD DE  
RUPTURA CATALÍTICA DE LA REFINERÍA DE CARTAGENA**

**JAVIER ARTENIO CABRERA DURAN**

**OSCAR FERNANDO JIMENEZ OSORIO**

**OSCAR JAVIER PLATA RAMIREZ**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARTAGENA DE INDIAS**

**2013**

CARTAGENA DE INDIAS D.T. Y C., SEPTIEMBRE 26 DE 2013

Señores:

Comité Evaluador

Facultad de Ingeniería

Apreciados señores:

Por medio de la presente nos permitimos informarles que el proyecto integrador titulado **"ACTUALIZACIÓN TECNOLÓGICA DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN, CONTROL Y MONITOREO DEL COMPRESOR DE GAS HÚMEDO FL-C-2601 DE LA UNIDAD DE RUPTURA CATALÍTICA DE LA REFINERÍA DE CARTAGENA"** ha sido desarrollado de acuerdo a los objetivos establecidos.

Como autores del proyecto consideramos que el trabajo es satisfactorio y amerita ser presentado para su evaluación.

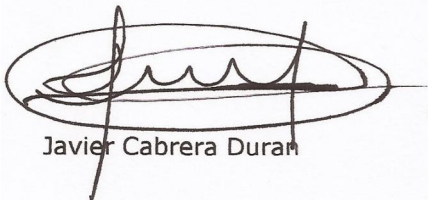
Atentamente,



Oscar Fernando Jiménez



Oscar Javier Plata



Javier Cabrera Duran

## DEDICATORIAS

A mis hijos Santiago y Julieta

Oscar F. Jiménez

A mi padres Roberto y Enith

Oscar J. Plata

A mis hijos Nathalie y Santiago

Javier A. Cabrera

## **AGRADECIMIENTOS**

A MI ESPOSA NATALIA Y MIS PADRES, POR SU PACIENCIA Y APOYO

OSCAR F. JIMENEZ

A MI PAPA ROBERTO, POR SU APOYO

OSCAR J. PLATA

A DIOS, POR TODAS LAS BENDICIONES RECIBIDAS

JAVIER A. CABRERA

## TABLA DE CONTENIDO

0.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.	MARCO TEORICO .....	4
1.1.	GLOSARIO.....	5
1.2.	CONCEPTOS BASICOS.....	6
1.3.	ESQUEMA DE CONFIABILIDAD .....	7
1.3.1.	DEFINICION DE CONFIABILIDAD.....	8
1.4.	PROTECCIÓN TURBO MAQUINARIA .....	9
1.4.1.	Antisurge .....	9
1.4.1.1.	El punto operativo.....	9
1.4.1.2.	Curvas de Velocidad/Desempeño y Resitencia.....	10
1.4.1.3.	El Surge.....	11
1.4.1.4.	El fenomeno del Surge.....	12
1.4.1.5.	Metodo de proteccion .....	14
1.4.2.	API 670.....	16
2.	DESCRIPCION DEL SISTEMA ACTUAL .....	18
2.1.	COMPRESOR DE GASES HUMEDOS FL-C-2601 .....	18
2.2.	SISTEMAS DE PROTECCION, CONTROL Y MONITOREO.....	20
2.2.1.	Plc Siemens.....	20

2.2.2.	Sistema De Monitoreo De Vibración .....	21
2.2.3.	Sistema de control de velocidad .....	22
2.2.4.	Sistema de proteccion de sobrevelocidad.....	22
2.2.5.	Sistema Protección contra Surge .....	23
2.2.6.	Instruementación de protección y control .....	23
2.2.7.	Panel de alarmas.....	24
2.3.	ARQUITECTURA DE PROTECCION, CONTROL Y MONITOREO .....	25
3.	METODOLOGIA PARA LA SELECCIÓN Y EVALUACIÓN DE LA ALTERNATIVAS .....	26
3.1	GENERALIDADES.....	26,
3.2	METODOLOGIA.....	27
3.2.1.	Entradas .....	28
3.2.2.	Tecnicas y herramientas (Matriz de desición) .....	28
3.2.3.	Salidas.....	28
3.3	PROCEDIMIENTO.....	29
3.3.1.	Busqueda de alternativas .....	29
3.3.2.	Criterios de selección .....	30
3.3.3.	Ponderación de criterios .....	30
3.3.4.	Evaluación de alternativas.....	32
3.3.5.	Analisis y reporte .....	32
4.	PRESENTACIÓN DE ALTERNATIVAS .....	33
4.1.	ANALISIS DE ALTERNATIVAS.....	33

4.1.1.	Alternativa 1 .....	34
4.1.2.	Alternativa 2 .....	35
4.1.3.	Metodología de la selección de alternativas.....	35
5.	ALTERNATIVA SELECCIONADA.....	40
5.1	HARDWARE Y SOFTWARE .....	40
5.2	SERVICIOS DE INGENIERIA .....	40
5.3	SERVICIO DE ASISTENCIA EN PLANTA .....	40
5.4	DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA SISTEMA INTEGRADO - ESD + ANTISURGE Y SOBREVOLOCIDAD .....	42
5.5	ARQUITECTURA DEL SISTEMA.....	43
5.6	OVERVIEW SISTEMA TRICON.....	43
5.6.1.	Configuración del sistema.....	45
5.6.2.	Distribución del chasis.....	45
5.6.3.	Chasis principal .....	46
5.6.4.	Chasis de expansión .....	46
5.6.5.	Chasis RXM.....	47
5.6.6.	Módulo del procesador principal .....	48
5.6.7.	Diagnosticos .....	51
5.7	MÓDULOS DE COMUNICACIÓN.....	51
5.7.1.	Módulos de comunicación TRICON (TCM).....	51
5.7.2.	Módulos de comunicación inteligente mejorado (EICM) .....	53



5.7.3.	Módulos de comunicación de red (NCM) .....	53
5.7.4.	Módulos de interfaz de Highway (HIM) .....	53
5.7.5.	Módulos Administrador de Seguridad (SMM) .....	53
5.7.6.	Módulos de comunicación avanzada (ACM) .....	54
5.8.	MÓDULOS DE I/O .....	54
5.8.1.	Módulos de entradas digitales .....	54
5.8.2.	Módulos Discretos de salidas digitales .....	56
5.8.3.	Módulos de salidas digitales .....	56
5.8.4.	Módulos de Entradas Analógicas .....	58
5.8.5.	Módulos de Entradas Analógicas TRICON .....	59
5.8.6.	Módulos de salidas Analógicas .....	59
5.9.	TRISTATION 1131 .....	60
5.10.	TRILOGGER .....	63
5.11.	SOE .....	63
6.	ANALISIS FINANCIERO .....	65
6.1	PRESUPUESTO .....	65
6.2	ESTIMADO DE COSTOS .....	66
6.3.	ANALISIS DE FACTIBILIDAD TECNICO ECONOMICO .....	68
6.3.1.	Riesgo Base Del Proyecto .....	68
6.3.2.	Riesgo Con Proyecto .....	69
6.3.3.	VPN Riesgo Base .....	70

6.3.4. VPN con proyecto .....	71
6.4. RELACION BENEFICIO COSTO.....	72
6.5. ANALISIS INCREMENTAL .....	73
7. Conclusiones .....	74
8. Bibliografia.....	75
<i>Anexo 1. Piping and instrument diagram FL-C-2601 Steam Turbine System Gas concentration Unit. ....</i>	<i>76</i>
<i>Anexo 2. Ciclo de vida Siemens S5.....</i>	<i>77</i>
<i>Anexo 3. Ciclo de vida Bently Nevada 3300.....</i>	<i>78</i>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Curva de confiabilidad.....	8
Figura 2. Curva de la bañera. ....	9
Figura 3. Punto operativo .....	10
Figura 4. Curva De Desempeño Y Resistencia .....	11
Figura 5. Principales Parametros De Proceso Durante El Surge .....	12
Figura 6. Flujo Del Compresor .....	12
Figura 7. Desarrollo Del Ciclo Del Surge.....	13
Figura 8. Duraciones Del Ciclo Del Surge .....	14
Figura 9. Sistema Basico De Control Antisurge .....	16
Figura 10. Sistema De Protección Para Maquinaria .....	17
Figura 11. PLC SIEMENS S5 .....	21
Figura 12. BENTLY NEVADA 3300 .....	22
Figura 13. PANALARM.....	24
Figura 14 Panel Switch De Comandos.....	25
Figura 15. Arquitectura Del Sistema De Control Supervisorio Para El Compresor FI-C-2601 .....	25
Figura 16. Metodología Para La Aplicación De Selección De Tecnología .....	27
Figura 17. Alternativa 1 .....	34

Figura 18. Alternativa 2 .....	35
Figura 19. Arquitectura De Control Planteada .....	41
Figura 20. Arquitectura Del Sistema .....	43
Figura 21. Topología Del Tricon .....	44
Figura 22. Configuración con tres locaciones remotas.....	47
Figura 23. Procesador Principal.....	48
Figura 24. TCM.....	52
Figura 25. Arquitectura TMR.....	55
Figura 26. Arquitectura Módulos De Salida Supervisados .....	57
Figura 27. Arquitectura Módulos Análogo De Entrada .....	58
Figura 28. Arquitectura De Un Modulo De Salidas Analógicas TMR.....	60
Figura 29. FBD .....	61
Figura 30. Análisis incremental.....	74

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Datos De Placa Del Compresor .....	19
Tabla 2. Datos De Placa De La Turbina De Vapor . .....	20
Tabla 3. Criterios de Selección .....	31
Tabla 4. Determinacion de los pesos para el subelemento confiabilidad .....	36
Tabla 5. Determinacion de los pesos para el Subelemento Mantenibilidad .....	36
Tabla 6. Ponderacion de Criterios determinacion de los pesos.....	37
Tabla 7. Evaluacion Alternativa 1 .....	37
Tabla 8. Evaluacion Alternativa 2 .....	38
Tabla 9. Selección de La Mejor Alternativa .....	38
Tabla 10. Presupuesto .....	64
Tabla 11. Estimados de costos .....	66
Tabla 12. Costos de Mantenimiento .....	69
Tabla 13. Eventos del Sistema de Control .....	69
Tabla 14. Riesgo con proyecto .....	70
Tabla 15.VPN riesgo base .....	71
Tabla 16.VPN con proyecto .....	72
Tabla 17. Análisis Beneficio/Costo.....	72
Tabla 18.Analisis Incremental.....	72



## INTRODUCCIÓN

Las Unidad de ruptura catalítica (URC) y concentración de gases de Cartagena fue originalmente construida como una unidad tipo Modelo IV de Exxon.

El Compresor de Gas Húmedo FL-C-2601 es considerado un equipo crítico en la URC de la Refinería de Cartagena cuya función es elevar la presión y aumentar la temperatura de los gases.

Dicho Compresor es un compresor de tipo centrífugo de dos etapas, de tecnología ELLIOT y fabricado por EBARA. Es accionado por una turbina de vapor de alta presión (600 psig) y está conformado por los siguientes sistemas:

- Un sistema de aceite de lubricación.
- Un Sistema de sello seco con gas del proceso al sello primario y Nitrógeno como gas inerte al sello secundario
- Un Sistemas de control y protección para velocidad, surge y vibraciones. Este último es el objeto del alcance del proyecto de actualización.

El sistema de protección, control y monitoreo del compresor de gas húmedo (FL-C-2601) al igual que toda la instrumentación asociada a este equipo mayor fue puesta en servicio en el año 1999 con el proyecto de modernización de esta unidad Fase I, Sin embargo, de acuerdo a la información suministrada por los fabricantes de los componentes del sistema de control, protección y monitoreo y las inspecciones realizadas en el año 2011 estos se encuentran obsoletos lo que impide contar con la disponibilidad de repuestos para atender cualquier emergencia del sistema, los restantes subsistemas se encuentran en el ciclo final de vida (ver Figura 2 curva de la bañera) aumentando la frecuencia de intervención de los equipos, la potencialidad afectación al personal de mantenimiento y paradas no programadas de la unidad por el orden de US\$114.000/día (actualizados a precios de 2013).

En el año 2007, se presentó una falla en una de las tarjetas electrónicas del sistema antisurge (CCC) lo que produjo una apagada de la unidad por aproximadamente 8 horas, es decir una falla por cada 10 años, lo que representa una frecuencia de 0,01/año.

Con la implementación de este proyecto se busca iniciar un nuevo ciclo de vida para los sistemas asociados al sistema de control, monitoreo y protección del compresor de gases FL-C-2601 garantizando que este no sea inferior a 10 años.

El sistema de control, protección y monitoreo está conformado de la siguiente manera:

- PLC: ESD Marca Siemens (Obsoleto)
- SISTEMA DE MONITOREO Y CORTE DE ALTAS VIBRACIONES: Sistema Bently Nevada serie 3300 (Obsoleto)
- CONTROL DE VELOCIDAD: Sistema Woodward (Final del ciclo de vida)
- SOBREVELOCIDAD: Marca Protech 203 (Final del ciclo de vida)
- ANTISURGE: Marca CCC (Final del ciclo de vida)
- PANALARM: Obsoleto
- INSTRUMENTACION: Tipo Switch

De igual manera se contempla actualizar el panel de sellos por uno acorde con la norma API 614, Quinta Edición, con el fin de incorporar tecnologías que garanticen mayor confiabilidad en los sellos y eviten afectación a las personas y medio ambiente.

El proyecto "ACTUALIZACIÓN TECNOLÓGICA DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN, CONTROL Y MONITOREO DEL COMPRESOR DE GAS HÚMEDO FL-C-2601 DE LA UNIDAD DE RUPTURA CATALÍTICA DE LA REFINERÍA DE CARTAGENA" es un proyecto de automatización industrial, cuyo fin es actualizar el sistema de control y protección del compresor con el fin de garantizar la integridad operativa de las variables surge, velocidad y vibraciones dicha equipo mayor, incluyendo la seguridad a las personas, el ambiente y los activos de la empresa, incorporando las mejores prácticas aplicables en la industria para estos equipos rotativos mayores.

Este proyecto tiene como objetivo implementar una matriz de decisión con el fin de obtener la mejor alternativa tecnológica que integre en una sola arquitectura todo el sistema de control, protección y monitoreo del FL-C-2601, los cuales incluyen los subsistemas de control de velocidad, control de desempeño, protección por vibraciones, sobre velocidad, anti surge y sistema de shutdown (ESD) con el fin de garantizar la



confiabilidad 99,9905%, bajo el inicio de un nuevo ciclo de vida de los nuevos subsistemas.

Las opiniones, consideraciones y propuestas expresadas en este documento son responsabilidad exclusiva de los estudiantes de la Especialización en Automatización y Control de Procesos Industriales 2012-2013, de la Universidad Tecnológica de Bolívar – UTB. Este documento no refleja la posición institucional de Ecopetrol S.A., ni de la Refinería de Cartagena S.A. – Reficar.

En el capítulo 1 de este documento se realiza una descripción del marco teórico para la protección de la turbo maquinaria de acuerdo a las recomendaciones del estándar API 670 “MACHINERY PROTECTION SYSTEMS”

En el capítulo 2 se realiza una descripción actual del sistema de control, protección y monitoreo del compresor FL-C-2601. Se presentan los componentes que conforman el sistema y la arquitectura actual.

En el capítulo 3, se presenta una la metodología a emplearse para la selección de la alternativa.

En el capítulo 4, se presentan las 2 alternativas viables desde el punto de vista tecnológico y financiero.

En el capítulo 5, con base en la alternativa seleccionada y según los criterios establecidos, se propone el diseño para la arquitectura de control.

En el capítulo 6, se hace el análisis financiero del proyecto.

## 1. MARCO TEORICO

### 1.1. GLOSARIO

CCC: Compressor Control Corporation

CPU: Central Processor Unit

DCS: Distributed Control System

ESD: Emergency Shut Down

FAT: Factory Acceptance Test

FT: Transmisor electrónico de Flujo

FV: Válvula de control de flujo

GRC: Gerencia Refinería de Cartagena

HMI: Human Machine Interface

IEEE: Institute of Electrical and Electronic Engineers

IEC: International Electrotechnical Commission

ISA: Instrument Society of America (Old definition) The Instrumentation, Systems, and Automation Society.

I/O: Input/Output

LPH: Litros por hora

MMI: Man Machine Interface

MTBF: Mean Time Between Failures

MTTR: Mean Time to Repair

NEMA: National Electrical Manufacturers Association

NFPA: National Fire Protection Association

PC: Personal Computer

PLC: Programmable Logic Control

PT: Transmisor electrónico de Presión

PV: Válvula de control de Presión

RPM: Revoluciones por minuto

SAT: Site Acceptance Test

SIF: Safety Instrumented Function

SIL: Safety Integrity Level

SIS: Safety Instrumented System

SIT: Site Integration Test

SOE: Sequence Of Events

P&ID: Pipe and Instrumentation Diagrams

TT: Transmisor electrónico de Temperatura

UL: Underwrites Laboratory

UPS: Uninterrupted Power Supply

UOP: Planta de craqueo catalítico de la Universal Oil Products

URC: Unidad de ruptura Catalítica

## 1.2. CONCEPTOS BASICOS

- **Control integrado de protección de antisurge, control de desempeño y gobernación o control de velocidad:** Sistema de protección y control que integra en un solo equipo un módulo de protección de anti bombeo o antisurge para prevenir daños en el compresor, un módulo de control de capacidad o desempeño enlazado con los controles de surge y velocidad para optimizar el consumo de vapor y minimizar el efectos de perturbaciones y por último un módulo de Gobernación para el control de la velocidad de la turbina, normalmente redundante, con opciones de arranque y paro automático.
- **Control de antisurge:** Dispositivo, módulo o sistema que protege a compresores Con reciclo (recirculación) o alabes regulables, de eventos de bombeo o surge, caracterizados por alta vibración de la máquina y normalmente producidos por bajo flujo de gas por el compresor, grandes variaciones de velocidad, presión o composición de la carga. Normalmente opera sobre una válvula de control ubicada en el reciclo de la máquina.
- **Control de desempeño o capacidad (performance):** Dispositivo, módulo o sistema enlazado con los controles de surge y velocidad para optimizar el consumo de vapor y minimizar el efectos de perturbaciones mediante el desacoplamiento de variables como presión, flujo o velocidad o mediante la operación por adelanto (feedforward) de la velocidad ante cambios en la presiones de succión o descarga.
- **Gobernador o control de velocidad:** Dispositivo, módulo o sistema que permite regular la velocidad de una turbina operada con vapor, mediante el control (estrangulamiento) de la válvula de admisión de vapor a la máquina. Normalmente es un sistema redundante por su criticidad y permite asegurar en automático un arranque seguro y suave del conjunto turbocompresor garantizando los tiempos y velocidades establecidas de calentamiento y cruce por las velocidades críticas de la turbina.
- **Interlock:** Un dispositivo o grupo de dispositivos arreglados para sensar una condición límite o fuera de límite o una secuencia inadecuada de eventos con el fin de tomar una acción que prevenga o mitigue el riesgo asociado.
- **Lógica:** Un componente o grupo de componentes que recibe entradas de sensores y lleva a cabo una función de decisión predeterminada, haciendo que los elementos finales asuman una posición protectora. Incluye alarmas. Algunos elementos que pueden ser usados para implementar una lógica incluyen relés neumáticos o electromecánicos, dispositivos electrónicos o Controladores lógicos programables.
- **Monitor:** Dispositivo para sensar o indicar una condición sin el inicio de una acción correctiva automática.

- **Peligro (“Hazard”)**: es cualquier cosa que pueda causar daño, como productos químicos, la electricidad, el trabajo en escaleras, caja abierta, etc.
- **Riesgo**: es la posibilidad, alta o baja, que alguien pudiera ser perjudicado por algún peligro, junto con una indicación de qué tan grave el daño podría ser.
- **Sistema Instrumentado de Seguridad (SIS)**: sistema compuesto de sensores, “logic solver” y elementos de control finales con el propósito de llevar el proceso y/o equipo a un estado seguro cuando condiciones predeterminadas son violadas, buscando proteger las personas, el medio ambiente, los equipamientos y la producción.
- **Sistema Integable**: Se refiere a un conjunto de equipos conectables (podrían ser de diferente marca y modelo) que en conjunto realizan una o varias acciones de control sobre un sistema o máquina.
- **Sistema Integrado**: Se refiere a un único sistema o equipo, de una sola marca, que integra dispositivos o controladores internos para realizar en conjunto una o varias acciones de control sobre un sistema o máquina.
- **Tablerista**: Operador encargado de monitorear y participar en el control de la operación de una planta de proceso desde el cuarto de control de la misma.

### 1.3. ESQUEMA DE CONFIABILIDAD

La expresión matemática de la confiabilidad es:

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

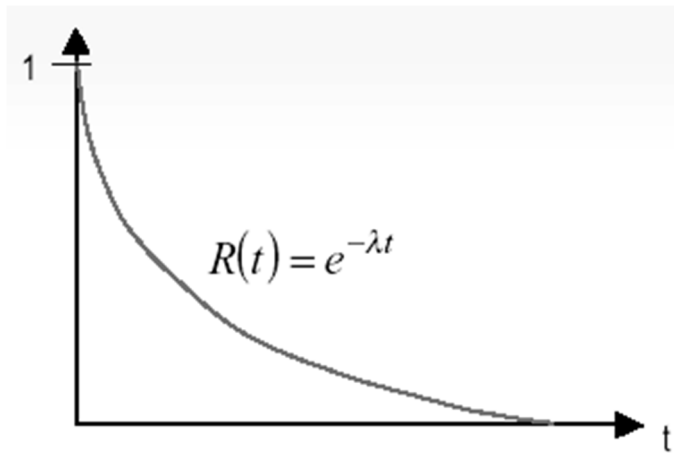
$\lambda$  = tasa de falla

t = tiempo.

Si se cumplen las siguientes condiciones:

- El equipo opera en condiciones dentro de las especificaciones.
- El equipo ha pasado las pruebas de "mortalidad prematura".
- Las fallas ocurren aleatoriamente.

**FIGURA 1.** Curva de confiabilidad



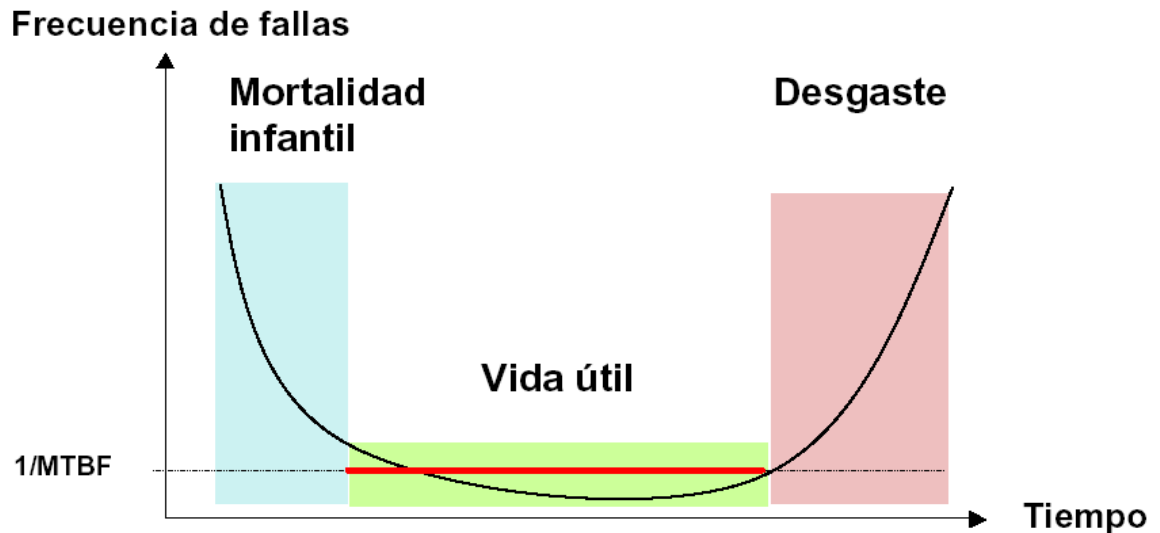
**Fuente: Pagina Web Wikipedia**

La confiabilidad es un número entre 0 y 1. En la medida que transcurre el tiempo, la confiabilidad disminuye.

### **1.3.1. Definición de confiabilidad**

Probabilidad de funcionamiento exitoso durante un intervalo de tiempo. Se entiende por funcionamiento exitoso, el que un sistema ejecute las funciones para las cuales fue diseñado, cuando opera dentro de los límites pre-establecidos por su fabricante. Usualmente, se mide indicando la tasa de fallas que es el número de fallas esperado en un período de tiempo dado. La tasa de fallas varía con la "edad" de los equipos o componentes. Una curva característica típica de tasa de fallas en el tiempo se muestra en la figura 2, donde se definen claramente tres zonas. La tasa de fallas es alta al principio de la vida del equipo o del sistema, esto es llamado "Mortalidad Prematura", y se minimiza sometiendo los equipos a pruebas en la misma fábrica, luego viene un periodo donde la tasa de fallas permanece relativamente constante, el cual se conoce como vida útil, luego al ir aumentando el desgaste, la tasa de fallas se incrementa drásticamente. A esta gráfica se le conoce con el nombre de "Curva de la Bañera".

**FIGURA 2.** Curva de la bañera.



Fuente: Pagina Web Wikipedia

## 1.4. PROTECCION PARA TURBOMAQUINARIA

### 1.4.1 Antisurge

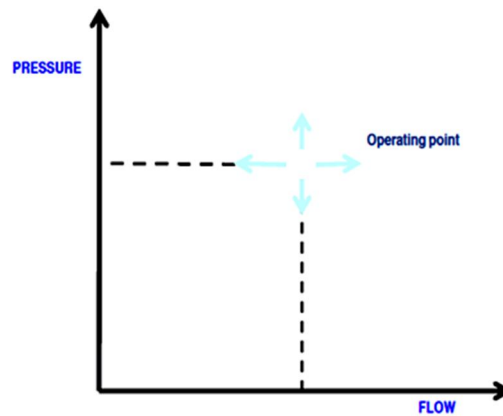
#### 1.4.1.1 El Punto Operativo

Al monitorear un compresor se puede observar factores mecánicos, tales como vibraciones y desplazamientos, o temperaturas del aceite y los cojinetes; pero también se puede observar factores de proceso, tales como el flujo y la presión del gas. Los primeros aportan información de los problemas y/o desgastes mecánicos, mientras que los últimos proporcionarán información operativa y de proceso.

El uso de esta información en el mapa de operación, dará como resultado un punto actualizado de la operación del compresor, al que se le denomina Punto Operativo. Por

lo general, todas las vibraciones de proceso traen como resultado el desplazamiento del punto operativo dentro del mapa del compresor.

**FIGURA 3.** Punto operativo.



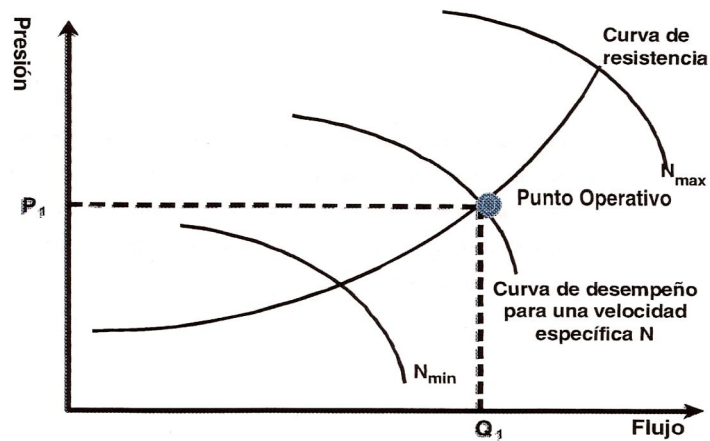
**Fuente: Manual de entrenamiento control antisurge CCC. Cap 1**

#### **1.4.1.2 Curvas De Velocidad/Desempeño Y Resistencia**

Si un compresor opera a velocidad constante, el movimiento del punto operativo en el mapa del compresor estará restringido a una sola curva. Esta curva se denomina Curva de Velocidad o Curva de Desempeño correspondiente a esta velocidad específica. Cuando un compresor opera a velocidad variable (tiene alabes guía de entrada o estrangulación de succión), el mapa del compresor contiene varias curvas de desempeño. Cuando se varía la velocidad o la abertura de la válvula, el punto operativo se moverá de una curva de desempeño a otra, creando un grado más de libertad en el mapa del compresor. El movimiento del punto operativo de una curva de desempeño a otra esta en relación con la resistencia experimentada por el compresor; resultando así una Curva de Resistencia.



**FIGURA 4.** Curva de desempeño y resistencia.



Fuente: Manual de entrenamiento control antisurge CCC. Cap 1

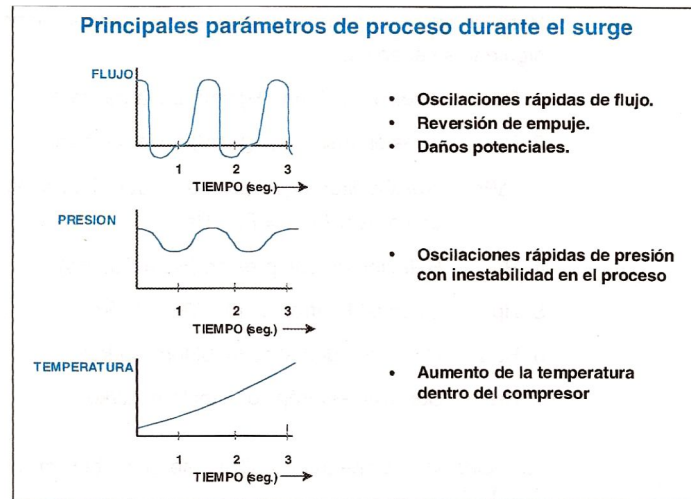
#### 1.4.1.3 El Surge

Se define como las "auto oscilaciones de la presión y el flujo que frecuentemente incluyen una reversión de flujo".

- **Descripción del surge**

- Flujo invierte su dirección en 20 a 50 milisegundos
- Los ciclos de surge se producen a razón de 0.3 a 3 segundos por ciclo
- El compresor vibra
- La temperatura aumenta.
- Se producen ruidos molestos en el compresor.
- Pueden incurrir disparos del compresor
- Tanto los instrumentos convencionales como los operadores pueden fallar en reconocer el surge

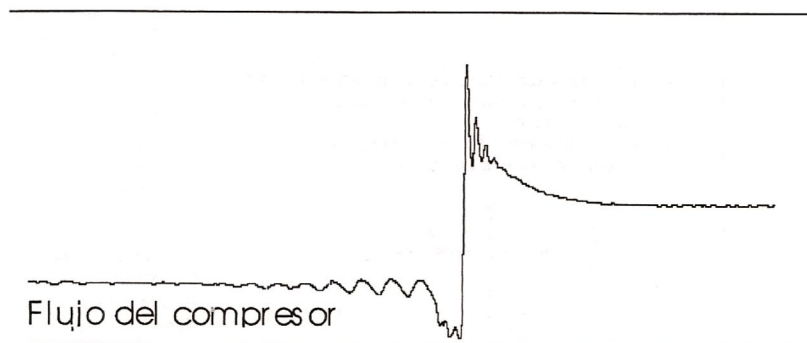
**FIGURA 5.** Principales parámetros de proceso durante el surge.



Fuente: Manual de entrenamiento control antisurge CCC. Cap 1

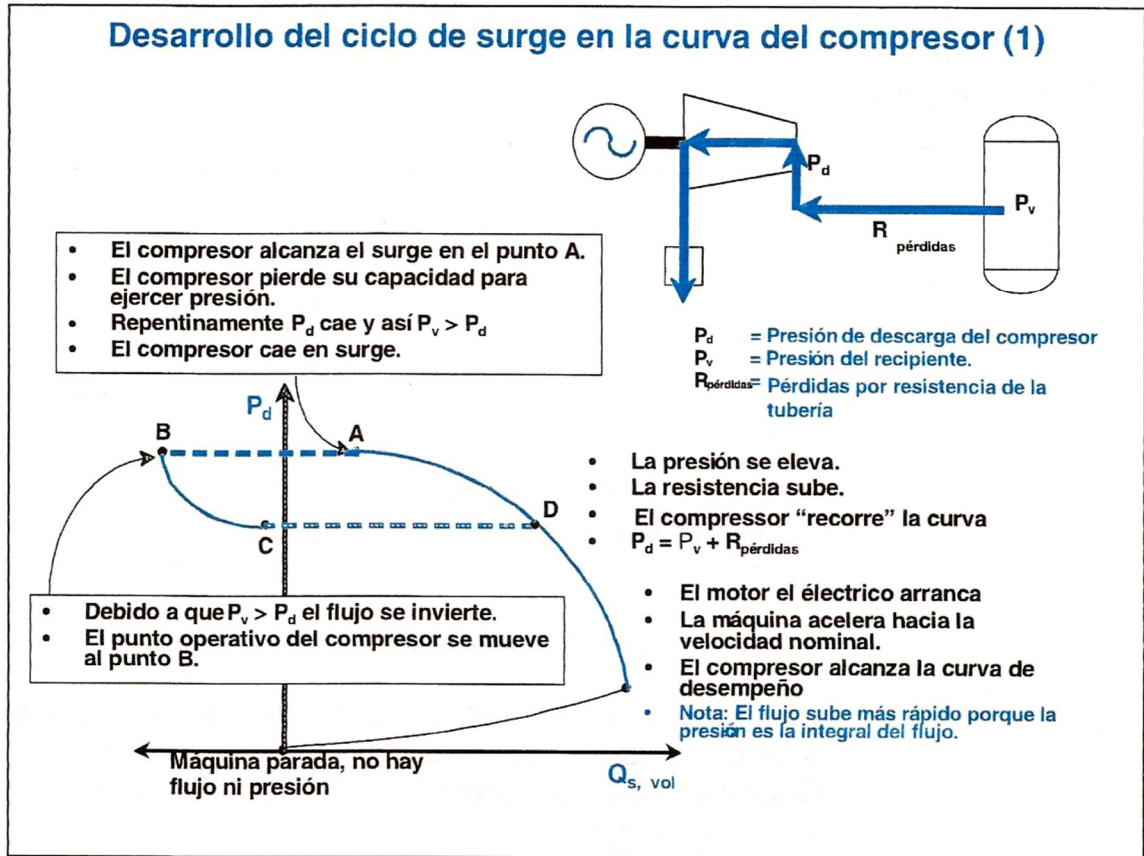
- **El fenómeno del surge:** Una interpretación más completa del fenómeno de surge, puede lograrse observando el movimiento del punto operativo del compresor sobre su curva característica durante el surge.

**FIGURA 6.** Flujo del compresor



Fuente: Manual de entrenamiento control antisurge CCC. Cap 1

FIGURA 7. Desarrollo del ciclo del surge.



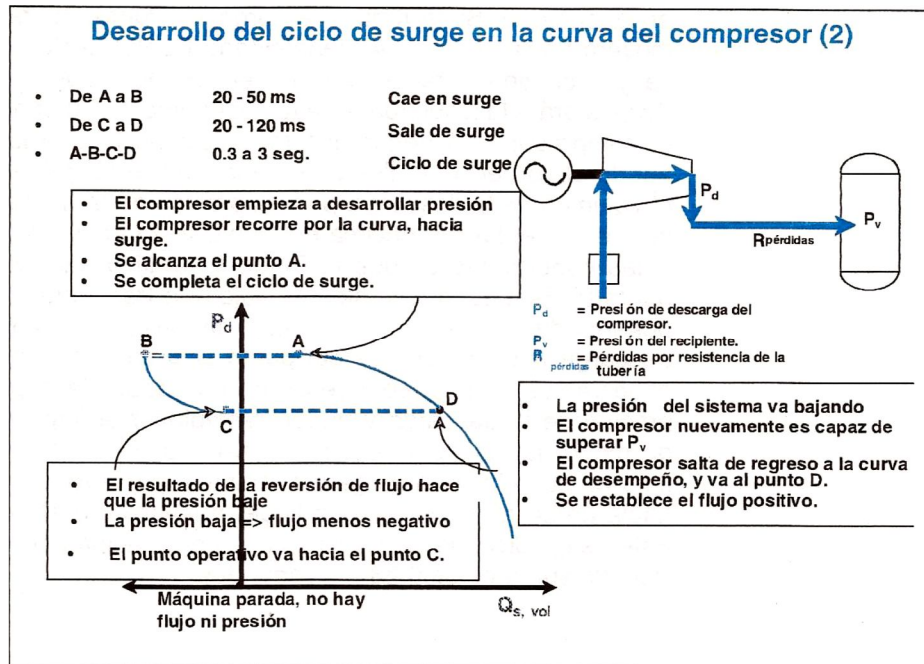
Fuente: Manual de entrenamiento control antisurge CCC. Cap 1

De acuerdo a la anterior figura, se tiene un compresor que está operando en condiciones estables en el punto D. si se reduce la carga, el punto operativo se moverá hacia el punto A. denominado punto de surge. Si la carga continua reduciéndose el punto operativo se desplazará a la izquierda a través del punto A. En el punto A, el compresor está generando más flujo de lo que la carga puede adsorber. Este fluido se almacena temporalmente en el volumen de la descarga, pero la presión de la descarga no puede aumentar por encima del punto A. el único alivio para estas condiciones es que el punto operativo salte hacia el punto B. Esta es la reversión de flujo que frecuentemente se observa durante el surge. Con flujo negativo la presión de la descarga cae (trayectoria del punto B a C). En el punto C observamos que, el compresor ya es capaz de superar la presión de la descarga y puede restablecer el flujo positivo, de modo que el punto

operativo salte al punto D. Ahora el flujo es superior a la carga y el punto operativo se moverá hacia arriba en la curva para llegar nuevamente al punto A.

Este es un ciclo de surge completo, la duración típica de un ciclo de surge es de 0,33 a 3 seg.

**FIGURA 8.** Duraciones del ciclo del surge.



Fuente: Manual de entrenamiento control antisurge CCC. Cap 1

#### 1.4.1.4 Método de protección

Las consecuencias del surge son graves. Además de disturbios y eventuales rupturas y disparos en el proceso, el surge puede averiar el compresor. Es común el daño a los sellos y cojinetes. Las tolerancias internas se alteran, ocasionado recirculación interna y, como consecuencia disminuye la eficiencia del compresor. El surge prolongado puede ocasionar la destrucción completa del rotor.

- **Algunas consecuencias del Surge**

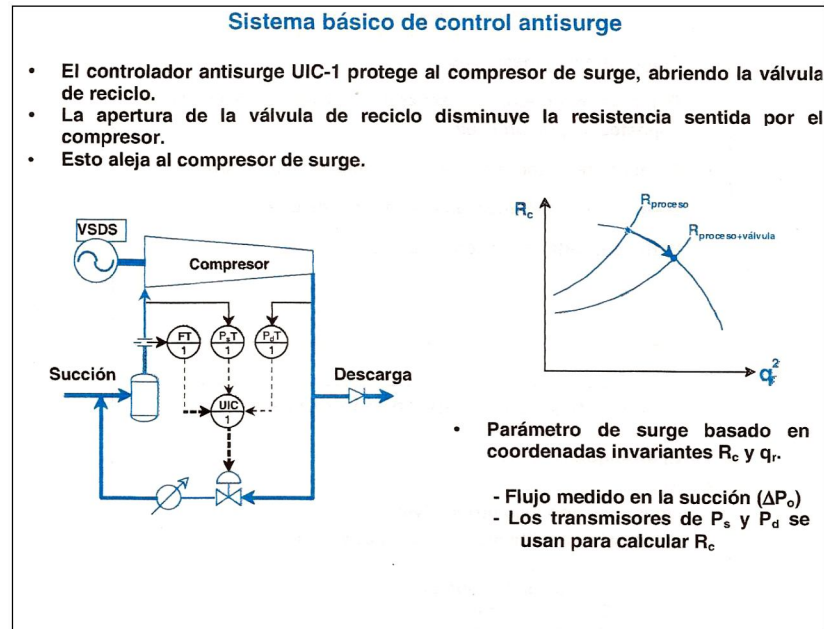
- Flujo y presión inestables.
- Deterioro continuo, con severidad creciente en los sellos, cojinetes, impulsores, etc.
- Aumento de la tolerancia en los sellos, ocasionando fugas.
- Disminuye la eficiencia en el consumo de energía.
- Reduce la vida útil del compresor.

- **Factores que conducen al inicio de surge**

- El arranque.
- El paro.
- Operación con baja productividad.
- Operación con alta productividad que incluya:
  - ❖ Disparos
  - ❖ Errores de los operadores
  - ❖ Cambios de carga
  - ❖ Problemas en el enfriador
  - ❖ Problemas en el impulsor
  - ❖ Pérdida de potencia
  - ❖ Desordenes en el proceso
  - ❖ Cambios en la composición del gas
  - ❖ Problemas en el filtro o strainer
- El Surge no está restringido a los momentos de baja productividad, el surge puede ocurrir en operación completa

Una solución viable es con el uso de una línea de reciclo o de venteo (blow-off). La manipulación de una válvula, posicionada en esta línea reduce la presión de descarga y aumenta la carga previniendo de esta manera el fenómeno del surge.

**FIGURA 9.** Sistema básico de control antisurge.

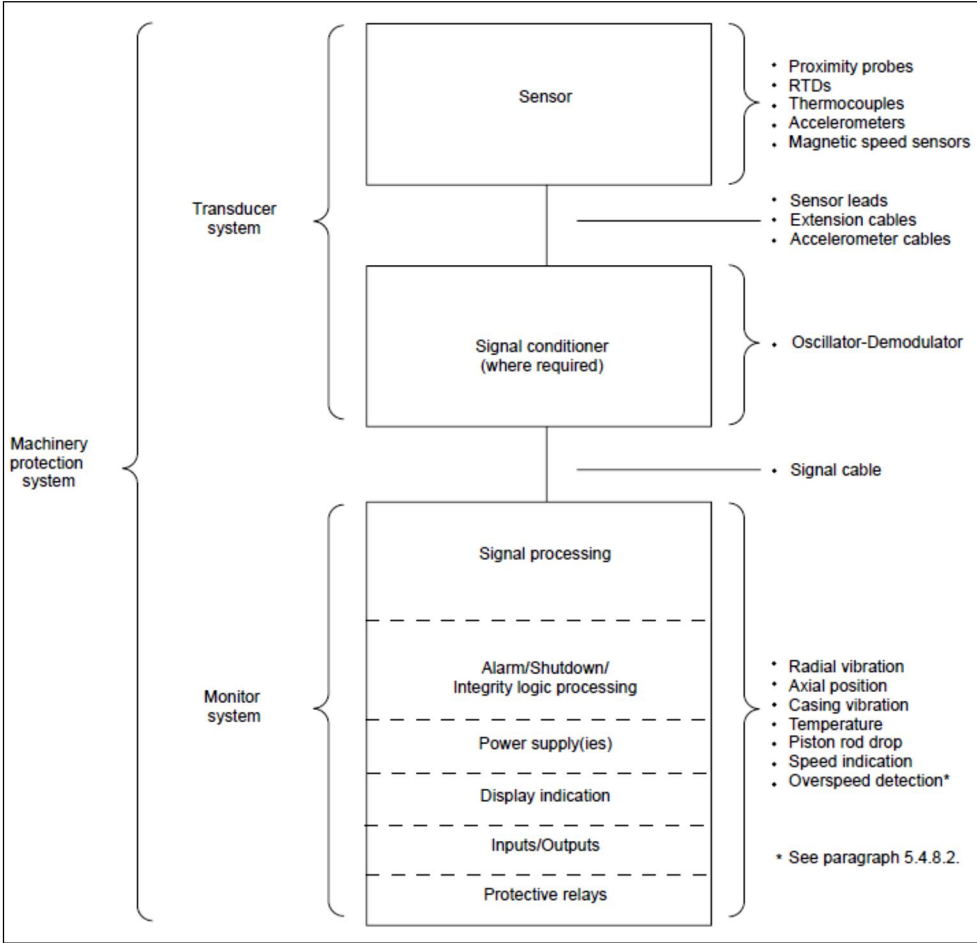


Fuente: Manual de entrenamiento control antisurge CCC. Cap 1

#### 1.4.2 API 670

Este estándar cubre los requerimientos mínimos para los sistema de protección de maquinaria como son la medición de la vibración en el eje radial, vibración en la carcasa, posición axial del eje, velocidad de rotación del eje, sobre velocidad y temperaturas críticas de la maquinaria (tales como en los rodamientos). Igualmente cubre los requerimientos del hardware (transductores y sistemas de monitoreo), instalación, documentación y pruebas.

**FIGURA 10.** Sistema de protección para maquinaria.



Fuente: Estándar API 670 Protección para turbo maquinaria. Pag 4





## 2. DESCRIPCION DEL SISTEMA ACTUAL

### 2.1. COMPRESOR DE GASES HUMEDOS FL-C-2601

El Compresor de Gas Húmedo FL-C-2601, es un compresor centrífugo de dos etapas, de tecnología ELLIOT y fabricado por EBARA (Japón). Es accionado por una turbina de vapor de alta presión (600 psig). Dispone de los siguientes sistemas:

- ◆ Un Sistema de Aceite de Lubricación, conformado por un drum FL-D-2607, sus Bombas de Recirculación FL-P-2612 A/B, Enfriadores FL-E-2613 A/B, Filtros de Aceite FL-F-2601 A/B, Purificador de Aceite FL-F-2602.
- ◆ Sistema de Sello Seco con gas del proceso al sello primario y Nitrógeno como gas inerte al sello secundario
- ◆ Sistemas de Control y protección, alarmas y cortes así como el sistema de monitoreo de vibración Bently-Nevada.

La Turbina del Compresor tiene un consumo estimado de 38.300 LPH de vapor de alta presión. El vapor exhosto de la Turbina del Compresor, es recuperado como condensado en el sistema de vacío que consta del Condensador de Superficie propiamente dicho FL-E-2610, las Bombas de Condensado FL-P-2610 A/B, los Eyectores Primarios FL-J-2602 A/B, Secundarios FL-J-2603 A/B y Atmosférico FL-J-2601 y los Condensadores del Vapor de los Eyectores FL-E-2611 A/B.

El Compresor posee además, un Sistema de Antisurge para cada Etapa. El XIC-601 para la Primera Etapa y el XIC-602 para la Segunda Etapa.

La acción principal de estos sistemas se ejerce sobre las válvulas (XV-601 y XV-602) que regulan el flujo de retorno a las succiones de cada etapa.

Ver anexo 1. Piping and instrument diagram FL-C-2601 Steam Turbine System Gas concentration Unit.

**TABLA 1.** Datos de placa del compresor.

<b>CENTRIFUGAL COMPRESSOR</b>				
ITEM NO	FL-C-2601			
RATED INLET FLOW	18788	CEM	EBARA SERIAL NO	RX 0342702
RATED INLET PRESS	208	PSIA	MODEL NUMBER	38MEI
RATED INLET TEMP	100	F	BAROMETER	14.7 PSIA
RATED DISCH PRESS	2370	PSIA	RATED INLET MOL MASS	40.9
RATED DISCH TEMP	223	F	RATED INLET K =CP/CV	1.39
RATED POWER INPUT	5874	HP	MAX ALLOW WORKING PRESS	300 PSIG
RATED SPEED (100%)	781	RPM	MAX ALLOW WORKING TEMP	300 F
MAX CONT SPEED	8170	RPM	MIN ALLOW WORKING TEM	68 F
FIRST CRIT SPEED		RPM	HYDRO TEST PRESS	450 PSIG
SECOND CRIT SPEED CALC		RPM	DATE	1990

**TABLA 2.** Datos de placa de la turbina de vapor.

<b>STEAM TURBINE</b>			
ITEM NO	FL-C-2601	EBARA SERIAL	RX 03427-02
TYPE	25QV. 5	ELLIOT S.O.NO	
RATED OUTPUT	6464 HP	MAX OPERATING CONDITION	
RATED SPEED	7781 min <sup>-1</sup>	SPEED	8170 RPM
INLET PRESS	600 PSIG	INLET PRESS	650 PISG
INLET TEMP	725 F	INLET TEMP	7590 F
EXHAUST PRESS	3.54 in/hga	EXH PRESS	3.54 in/hga
EXTRACTION PRESS	PSIG	FIRST CRITICAL	3262 min <sup>-1</sup>
TRIP SPEED	8170 RPM	FIRST CRIT SPEED	11500 min <sup>-1</sup>
FIRST CRIT SPEED (Elect )	8987 min <sup>-1</sup>	SENTINEL VALV PRESS	5.0 PSIG
(Mech)	min <sup>-1</sup>		

## **2.2. SISTEMAS DE PROTECCION, CONTROL Y MONITOREO**

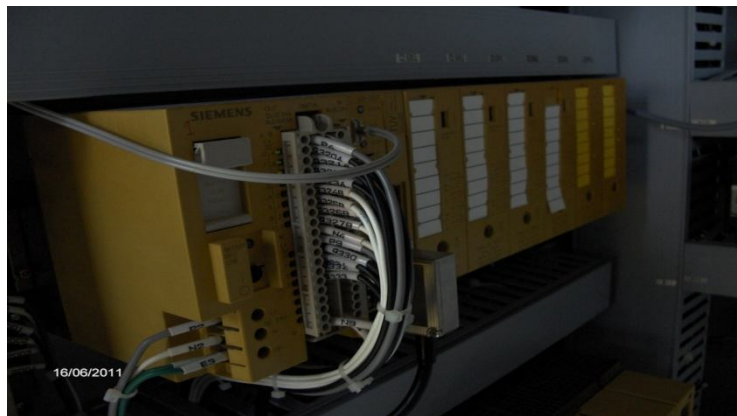
### **2.2.1 PLC SIMENS**

El PLC SIEMENS (S5) es el solucionador lógico del "Sistema Instrumentado de Seguridad – SIS" y un sistema "Stand Alone" el cual permite comunicación con el DCS de la planta vía Modbus para el envío de los estados de las alarmas y cortes del proceso.

El PLC actual no cuenta con una HMI (Human Machine Interface) para la visualización de variables y seguimiento de las mismas, tendencias, históricos que son la base para el diagnóstico de fallas y para el mantenimiento preventivo del compresor.

Este solucionador lógico ha sido declarado obsoleto por el fabricante SIEMENS, ver Anexo 2.

**FIGURA 11.** PLC SIEMENS S5.



### **2.2.2 SISTEMA DE MONITOREO DE VIBRACION**

Este sistema tiene la función de protección del compresor FL-C-2601 por alta vibración.

El sistema cuenta con sensores llamados PROXIMITOR ubicados a lo largo de todo el compresor como son, cola turbina, cola compresor y acople y cuya señales son enviadas a un panel local del BENTLY NEVADA serie 3300.

Este panel tiene comunicación MODBUS al DCS (Distributed Control System) de marca ABB existente en la planta de cracking e igualmente cada señal digital es enviada al PLC (Programer Logic Controller) de marca SIEMENS, cuyas señales son utilizadas para la lógica de mandato de corte del compresor por alta vibración. Las señales enviadas al DCS desde el BENTLY NEVADA vía MODBUS tiene configuradas alarmas al operador de

consola en tiempo real del sistema de monitoreo de vibración con el fin de que el operador este informado del estado de la máquina y poder tomar medidas preventivas si se hace necesario.

Este sistema de monitoreo de vibración se debe actualizar en materia de procesamiento, display y comunicaciones debido a la obsolescencia manifestada por el fabricante ver Anexo 3, lo que conlleva a no tener soporte de repuestos en la refinería.

**FIGURA 12.** BENTLY NEVADA 3300.



### **2.2.3 SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD**

El control de velocidad del compresor FLC2601 cuenta con un sistema de control electrónico marca WOODWARD, con un tiempo estimado de funcionamiento de 13 años de servicio las 24 horas y sin tener intervenciones técnicas sobre este, debido a este tiempo de servicio, el sistema no presta una buena confiabilidad actualmente debido al incremento de la probabilidad de falla por cumplimiento de ciclo de vida (curva de la bañera). Adicional a esto es un sistema sin redundancia en procesamiento, lo cual hace que sea un equipo con poca disponibilidad y con ninguna tolerancia a fallas.

### **2.2.4 SISTEMA DE PROTECCION DE SOBREVELOCIDAD**

Este sistema está encargado de la protección del compresor por sobre velocidad, está instalado desde 1999 y no ha sido cambiado ni actualizado.

A la fecha, este sistema no cuenta con soportes técnicos y repuestos catalogados mostrándose la necesidad apremiante de cambio.

### **2.2.5 SISTEMA DE PROTECCION CONTRA SURGE**

El compresor cuenta para su protección mecánica con tres equipos marca CCC los cuales protegen la máquina del fenómeno de bombeo (Surge), este sistema de protección cuenta para su buen funcionamiento con una instrumentación para sensar las variables críticas de la maquina con alta velocidad de respuesta, como son sus transmisores de flujo, presión y válvulas de control.

Este sistema ha sido intervenido en varias ocasiones por fallas técnicas, en fuentes, tarjetas madre y actualizaciones de firmware, estas situaciones han ocasionado lucro cesante de la planta por paradas no programadas.

La confiabilidad del sistema cada vez es más baja por estar cumpliendo el ciclo de vida y con el agravante de ser un sistema de baja disponibilidad porque es un sistema sin redundancia de señales de campo, ni respaldo de procesamiento lo cual debe estar sustentado con un análisis de riesgos.

### **2.2.6 INSTRUMENTACION DE PROTECCION Y CONTROL**

El sistema de corte del compresor FL-C-2601 tiene asociado una instrumentación de corte (SIF's) y control como son interruptores de presión, temperatura y nivel. Su función principal es alarmar y mantener el funcionamiento seguro del compresor. Esta instrumentación se visualiza en un PANALARM local y sin réplica en el DCS en tiempo real lo que impide tener un registro histórico de las alarmas y poca información para el análisis de alguna falla presentada con anterioridad.

Adicionalmente, este sistema no cuenta con un secuenciador de eventos (SOE), cuya herramienta es vital para una análisis de causa raíz dado el caso existan problemas en la máquina.

La confiabilidad de esta instrumentación es baja debido al tiempo de servicio.

Adicionalmente, debido al principio de funcionamiento de 2 estados (on/off), por ejemplo: NORMAL o ALARMA la detección de deterioro o falla es por condición y su chequeo es más costoso en cuanto a mantenibilidad por sus partes móviles siendo más susceptibles a daños mecánicos, esta instrumentación no ofrece la confiabilidad para un sistema de este tipo evidenciadas en el deterioro de empaquetaduras y sistemas de sello que se instala de fábrica.

### 2.2.7 PANEL DE ALARMAS

El sistema de monitoreo de alarmas es poco confiable por lo mencionado anteriormente como es el equipo PANALARM, que es un sistema obsoleto de monitoreo local de las alarmas, donde se monitorean las alarmas del sistema de protección y son anunciadas por una corneta local de alta frecuencia.

**FIGURA 13.** PANALARM.



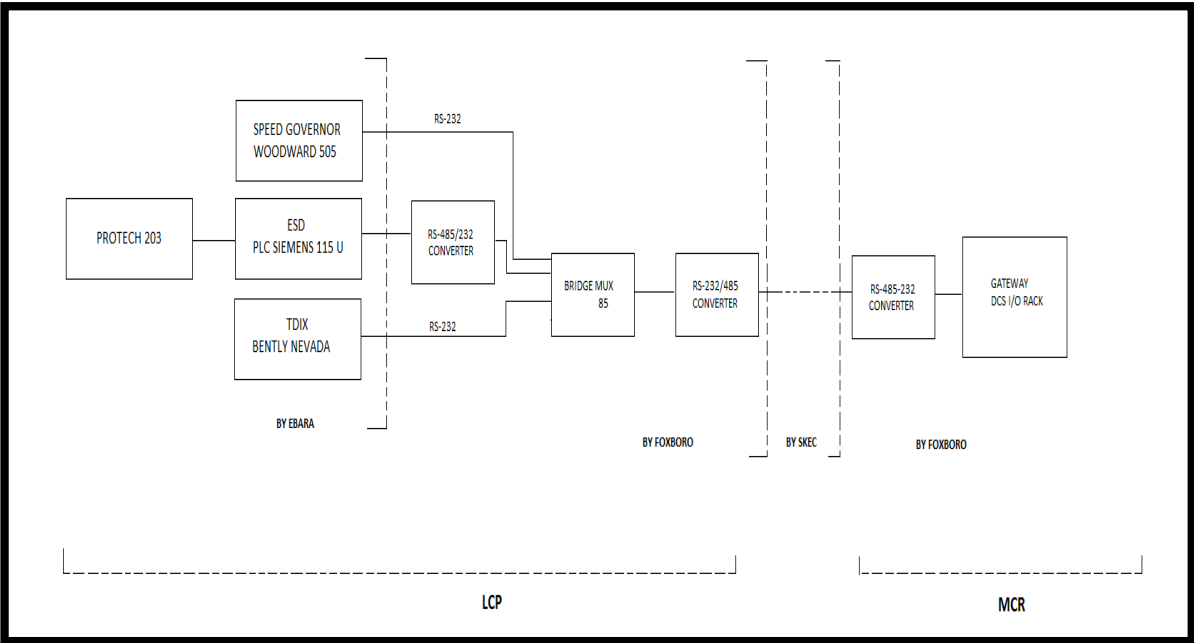
Este sistema, adicional a su obsolescencia en la recolección de alarmas tiene el agravante de la dependencia total de su anunciador en la corneta de alarma, la cual puede fallar y dejar el sistema de forma aislada por ser un sistema local al compresor sin ningún aviso remoto al operador de tablero.

**FIGURA 14.** Panel Switch De Comandos.



**2.3. ARQUITECTURA DE PROTECCION, CONTROL Y MONITOREO**

**FIGURA 15.** Arquitectura Del Sistema De Control Supervisorio Para El Compresor FI-C-2601.



Fuente: Manual de operación de la planta URC de Reficar S.A



### 3. METODOLOGIA PARA PARA SELECCIÓN Y EVALUACION DE ALTERNATIVAS

#### 3.1. GENERALIDADES

La práctica de incremento de valor<sup>1</sup> Selección de Tecnología, es un proceso formal que asegura que todas las alternativas tecnológicas para realizar un proyecto sean racionalmente consideradas. La implementación de la práctica consiste en la búsqueda de las diferentes alternativas tecnológicas para desarrollar un proyecto, el establecimiento de criterios de selección tecnológica y la evaluación de las diferentes alternativas, con el fin de escoger la tecnología más conveniente que se ajuste a las condiciones del proyecto y de la organización. La implementación de esta práctica se lleva a cabo durante el proceso de maduración de proyectos, principalmente en las fases tempranas<sup>2</sup>

Con el fin de identificar y aplicar las mejores prácticas de ingeniería de valor se requiere la conformación de un equipo de trabajo, el cual deberá ser interdisciplinario. Se recomienda que el equipo esté conformado de 6 a 9 personas preferiblemente.

La implementación de la práctica de incremento de valor de selección de tecnología busca seleccionar la mejor opción tecnológica para el desarrollo del proyecto. Para lograr este propósito se establecen los siguientes objetivos:

- Buscar las tecnologías disponibles que se encuentren alineadas con los objetivos del proyecto y brinden ventajas competitivas al negocio.

---

<sup>1</sup> El objetivo principal de las Prácticas de Incremento de Valor es la identificación de oportunidades para optimizar el valor<sup>1</sup> del proyecto y mejorar los parámetros de desempeño del mismo.

<sup>2</sup> Fase I y Fase II, según el modelo de maduración de proyectos del PMI adoptado por ECOPEPETROL S.A.

- Establecer los criterios claves que deben ser considerados para la comparación de las distintas alternativas tecnológicas, y que deben ser evaluados de una forma objetiva mediante una estrategia de valoración y ponderación.
- Seleccionar la alternativa más adecuada frente a los criterios establecidos.
- Maximizar la promesa de valor del proyecto para la compañía (VPN) y mitigar los riesgos relacionados con la selección e implementación de la tecnología.

### 3.2. METODOLOGIA

Para asegurar la adecuada selección de la tecnología a emplear por el proyecto (salidas), se deben realizar las actividades que consisten en la aplicación de técnicas y herramientas por parte del equipo del proyecto, tendientes a analizar y evaluar las alternativas (actividades), con base en la información necesaria para el análisis de la tecnología (entradas).

**FIGURA 16.** Metodología para la aplicación de selección de tecnología.



**Fuente:** ECP-DPY-M-004 Manual para la implementación de prácticas de incremento de valor en proyectos. Pag 15.

La metodología se compone de:

### **3.2.1. Entradas**

Información técnica que permite describir y caracterizar cada tecnología. Ejemplos de éste elemento pueden ser bases de diseño del proyecto, diagramas de flujo de proceso (PFD) e información de fuentes de tecnología (licenciadores, libros, centros de investigación, internet, etc.).

### **3.2.2. Técnicas y herramientas (Matriz de decisión)**

Sesión inicial, en la cual los participantes establecen los criterios de evaluación pertinentes para el proyecto.

Evaluación por equipos, dónde los participantes se dividen en grupos y realizan la ponderación de los criterios definidos.

Sesión para la toma de decisión, en donde se realiza la evaluación de las alternativas con base en los criterios definidos.

### **3.2.3. Salidas**

Priorización de las alternativas tecnológicas con base en los puntajes definidos en la sesión de toma de decisión.

NOTA

La alternativa con mayor puntaje será la más adecuada para la empresa con base en los criterios establecidos.

## **3.3. PROCEDIMIENTO**

Para el desarrollo de ésta práctica, los siguientes pasos son necesarios con el fin de realizar una selección objetiva de la tecnología a emplear.

### 3.3.1. Búsqueda de alternativas

Consiste en la exploración de todas las alternativas tecnológicas disponibles para el desarrollo del proyecto. Para ello se emplean generalmente las siguientes técnicas:

- Referencia externa de socios y proveedores internacionales de tecnología: Información suministrada por licenciadores y/o desarrolladores de tecnología (p.e. UOP®).
- Consulta a expertos y consultores: Información suministrada por reconocidas empresas en el diseño y gerenciamiento de proyectos de alta tecnología (p.e. Foster Wheeler, Worley Parsons).
- Buscar información en recursos como internet: En internet es posible encontrar información general de procesos tecnológicos de la industria Oil & Gas, alguna de ella está disponible en revistas especializadas ó sitios web de licenciadores (p.e. [www.processengr.com](http://www.processengr.com)).
- Monitorear bases de datos: La investigación que desarrollan algunos centros de investigación privados ó académicos publica artículos sobre sus trabajos en repositorios especializados (p.e. ScienceDirect®)
- Asistir a conferencias técnicas: La asistencia a seminarios y conferencias especializadas en el procesamiento de petróleo y sus derivados permite conocer los desarrollos más avanzados en la industria, compartir experiencias con otros usuarios de tecnologías y conocer tendencias de los mercados (p.e. NPRA meetings).
- Hacer visitas a soluciones tecnológicas en fase operativa: Permite conocer la tecnología en operación desde el punto de vista del operador y mantenedor a través de otras empresas del sector (p.e. PDVSA).
- Comprar informes de inteligencia de compañías e informes de consultores: Existen compañías especializadas en la captura y análisis de información relacionada con el mercado de productos y materias primas, lo cual permite comparar tecnologías desde el punto de vista de comercialización de productos, subproductos y corrientes de carga (p.e. CMAI).

- Desarrollar un “Gap Analysis”: Es un ejercicio en el cual se deben establecer claramente dos escenarios para el negocio: 1. “Donde estamos” y 2. “Donde queremos estar”. De ésta manera se identifican las brechas tecnológicas existentes que deben ser cubiertas por la alternativa a seleccionar.

### **3.3.2. Criterios de selección**

En esta etapa se deben identificar los criterios relevantes para la selección de las alternativas.

Para la selección de los criterios es posible emplear la técnica de lluvia de ideas, y de estas el grupo elegirá las más relevantes. Se sugiere adoptar entre 5 y 10 criterios independientes entre sí.

Cada alternativa será caracterizada bajo los criterios establecidos previamente mediante el uso de la información recolectada.

### **3.3.3. Ponderación de criterios**

El inicio del primer taller tiene lugar en el momento en que han sido divulgados los criterios de selección establecidos. El equipo que participa del taller deberá estar conformado por representantes del cliente, expertos en las tecnologías a evaluar y el equipo del proyecto. Luego de revalidar los criterios de selección, el grupo es dividido en al menos dos grupos: representantes del cliente/operador y expertos. El objetivo de este taller es establecer la ponderación relativa de cada criterio de decisión.

Para lograr la ponderación relativa se emplea una técnica de decisión multi atributo que se describe a continuación:

- El grupo debe acordar cuál de los criterios de decisión es el más relevante para ellos, éste se debe ubicar primero en la lista. A éste criterio se le asignarán 100 puntos (puntaje máximo).
- La importancia relativa de los demás criterios de selección deberán ser puntuados relativos al elegido como más relevante, cuya escala estará entre 0 y 100 puntos, preferiblemente en múltiplos de 10. Esta valoración también deberá lograrse en consenso.

- Se suma el total de puntajes asignados a los diferentes criterios y se calcula su peso relativo.
- Cada grupo emite como producto del primer taller la ponderación de los criterios. Este es el insumo para la siguiente fase.

Con el fin de visualizar el procedimiento, se tomaron los criterios aplicados al proyecto:

**TABLA 3.** Criterios de selección.

CRITERIOS DE SELECCIÓN	
CONFIABILIDAD	# de puntos de falla
	Facilidad para la identificación de fallas
CONSTRUCCION	
MANTENIBILIDAD	# de repuestos en stock
	Conocimiento de la tecnología
OPERABILIDAD	
HSE	

#### 3.3.4. Evaluación de alternativas

El siguiente paso en la metodología continua una vez haya sido emitido la ponderación de los criterios de selección por cada grupo. Los grupos se reúnen para realizar la valoración de las alternativas ante cada criterio de selección. Para ello se emplea una única escala que se describe a continuación:

*A1. Implementar los sistemas de control de velocidad, desempeño, protección por sobre velocidad, antisurge y vibraciones independientes para el compresor (Se reemplaza cada subsistema teniendo en cuenta el último modelo de cada uno de los proveedores).*

*A2. Implementar un sistema completamente integrado para el control de la velocidad, desempeño, protección por sobre velocidad, antisurge y vibraciones.*

### **3.3.5. Análisis y reporte**

La evaluación de tecnología deberá estar acompañada por un análisis que describa el resultado numérico obtenido.

## 4. PRESENTACION DE ALTERNATIVAS

### 4.1. ANALISIS DE ALTERNATIVAS

Dada la importancia del compresor de gas húmedo FLC2601, en la unidad de ruptura catalítica de la refinería de Cartagena, es necesario controlar y monitorear de forma confiable las variables asociadas a este, la actualización tecnológica del compresor tiene como objetivo garantizar los indicadores económicos de producción de la planta, la continuidad del servicio y la seguridad para el personal durante la operación y el mantenimiento.

Con base en lo expuesto en el capítulo 2, en el presente capítulo se plantearán algunas alternativas técnicas para el diseño de la arquitectura del sistema de protección, control y monitoreo de las variables asociadas a la operación óptima del compresor de gases húmedos FL-C-2601.

El objetivo de las alternativas analizadas a continuación es proponer una solución tecnológica que cumpla eficientemente con los requerimientos técnicos y financieros del negocio de refinación:

- Eliminación de puntos de falla que inducen vulnerabilidades en el sistema actualmente instalado.
- Integración de tecnologías y aprovechamiento de activos existentes.
- Mejora en la operación de la máquina.
- Aumento de la confiabilidad del sistema de protección, control y monitoreo.

A continuación se describen las diferentes alternativas que se tuvieron en cuenta para este caso:

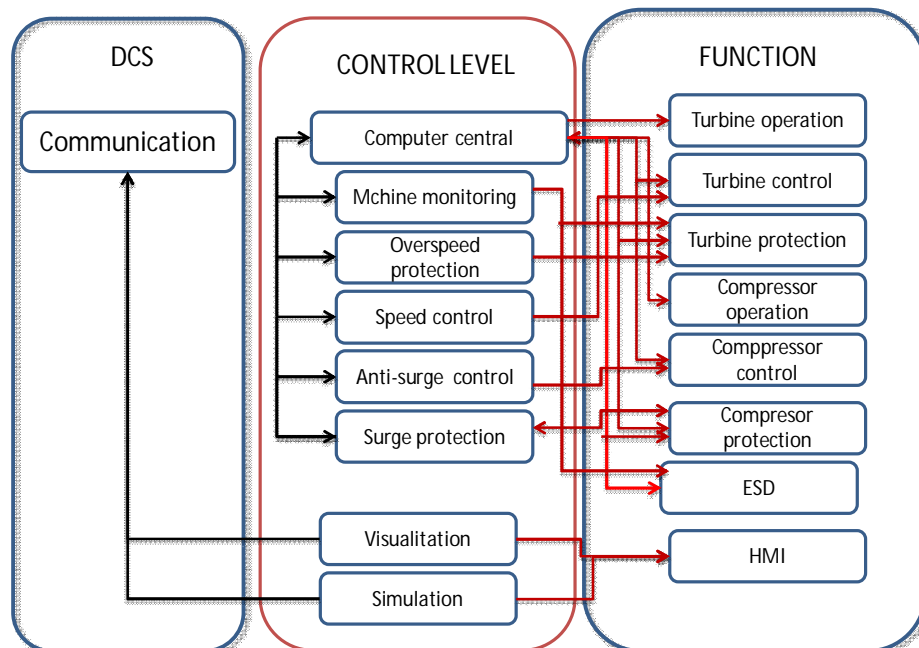


#### 4.1.1. Alternativa 1

La primera alternativa consiste en actualizar de forma independiente cada uno de los subsistemas de control (velocidad, desempeño), protección (sobre velocidad, antisurge y vibraciones) existentes en el sistema de control del compresor.

Se reemplaza cada subsistema teniendo en cuenta los últimos desarrollos tecnológicos de los proveedores (State of art).

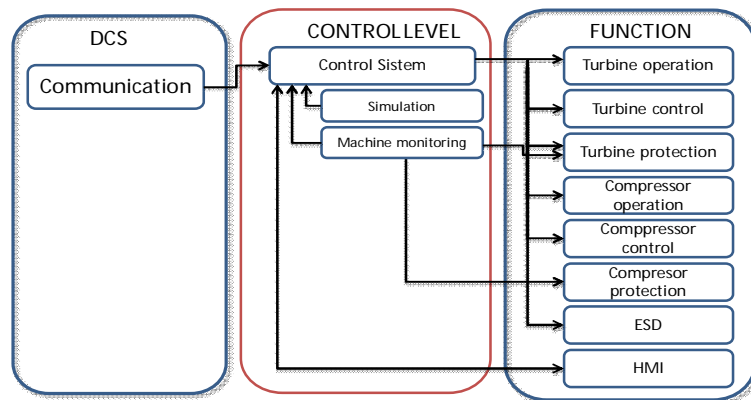
FIGURA 17. Alternativa 1.



#### 4.1.2. Alternativa 2

La segunda alternativa consiste en integrar los diversos subsistemas en una sola plataforma de control que garantice una confiabilidad del 99.99% y que a la vez permita una disponibilidad de la máquina del orden del 99%

**FIGURA 18.** Alternativa 2.



#### 4.1.3. Metodología de la selección de alternativas

De acuerdo a lo explicado en el capítulo 3, se van a desarrollar los siguientes pasos:

- Determinación de criterios de selección u objetivos deseables.

Ver capítulo 3, TABLA 3. CRITERIOS DE SELECCION

- Primera ronda de votación para el establecimiento de los pesos de cada uno de los objetivos deseables.
- Segunda ronda de votación para definición de pesos.

**Descripción:** Con base en la votación de los integrantes seleccionados por la Refinería de Cartagena se establecen los pesos de los subelementos para el criterio de confiabilidad con el fin de obtener el resultado promedio de cada una de las votaciones individuales.

**TABLA 4.** Determinación de los pesos para el subelemento confiabilidad.

Integrantes	Confiabilidad	
	<i># de puntos de falla</i>	<i>Facilidad para identificación de fallas</i>
Giovanni Ossa	70	90
Jairo Picón	100	100
Javier Torres	100	100
Karin Puello	100	40
Álvaro Villaveces	50	100
Glamar Blanco	90	50
Martha Gutiérrez	100	50
Valor Promedio	87,1	75,7

**Descripción:** Con base en la votación de los integrantes seleccionados por la Refinería de Cartagena se establecen los pesos de los subelementos para el criterio de mantenibilidad con el fin de obtener el resultado promedio de cada una de las votaciones individuales.

**TABLA 5.** Determinación de los pesos para el subelemento mantenibilidad.

Integrantes	Mantenibilidad	
	<i># de repuestos en stock</i>	<i>Conocimiento de la tecnología</i>
Giovanni Ossa	70	100
Jairo Picón	100	100
Javier Torres	100	100
Karin Puello	70	100
Álvaro Villaveces	80	100
Glamar Blanco	50	50
Martha Gutiérrez	50	100
Valor Promedio	74,3	92,9

**Descripción:** Con base en la votación de los integrantes seleccionados por la Refinería de Cartagena se establecen las ponderaciones para los criterios establecidos

anteriormente con el fin de obtener el resultado promedio de cada una de las votaciones individuales.

**TABLA 6.** Ponderación de criterios.

<b>Integrantes</b>	<b>Confiabilidad</b>	<b>Construcción</b>	<b>Mantenibilidad</b>	<b>Operabilidad</b>	<b>HSE</b>
Giovanni Ossa	100	80	100	100	100
Jairo Picón	100	40	40	80	80
Javier Torres	100	60	80	90	100
Karin Puello	100	10	100	100	10
Álvaro Villaveces	100	50	90	100	80
Glamar Blanco	100	50	100	100	100
Martha Gutiérrez	100	60	40	80	40
Valor Promedio	100	50	78,6	92,9	72,9

➤ Valoración de alternativas

**Descripción:** Con base en la votación de los integrantes seleccionados por la Refinería de Cartagena se establecen los pesos de los criterios para la alternativa 1, el resultado será el promedio de cada una de las votaciones individuales.

**TABLA 7.** Evaluación alternativa 1.

	CRITERIOS						
	Confiabilidad		Construcción	Mantenibilidad		Operabilidad	HSE
	# de puntos de falla	Facilidad para identificación de fallas		# de repuestos en stock	Conocimiento de la tecnología		
Alternativa 1.							
Giovanni Ossa	100	50	70	60	60	80	100
Jairo Picón	100	100	100	100	100	100	100
Javier Torres	60	60	60	60	80	60	60
Karin Puello	100	100	90	80	90	90	100
Álvaro Villaveces	50	50	50	50	40	50	50
Glamar Blanco	60	60	50	30	30	30	70
Martha Gutiérrez	60	60	50	30	30	30	70
Valor Promedio	75,7	68,6	67,1	58,6	61,4	62,9	78,6

**Descripción:** Con base en la votación de los integrantes seleccionados por la Refinería

de Cartagena se establecen los pesos de los criterios para la alternativa 2, el resultado será el promedio de cada una de las votaciones individuales.

**TABLA 8.** Evaluación alternativa 2.

Alternativa 2.	CRITERIOS						
	Confiabilidad		Construcción	Mantenibilidad		Operabilidad	HSE
	# de puntos de falla	Facilidad para identificación de fallas		# de repuestos en stock	Conocimiento de la tecnología		
Giovanni Ossa	100	90	100	100	100	50	100
Jairo Picon	100	100	100	100	100	100	100
Javier Torres	100	100	100	100	100	100	100
Karin Puello	100	100	100	100	100	100	100
Álvaro Villaveces	100	100	100	100	100	100	100
Glamar Blanco	100	100	100	100	100	100	100
Martha Gutierrez	100	100	100	100	100	100	100
Valor Promedio	100,0	98,6	100,0	100,0	100,0	92,9	100,0

➤ Tabulación de datos y resultado.

**Descripción:** Con base en los resultados anteriores se realiza el cálculo para determinar cuál es la alternativa más viable de acuerdo a los criterios definidos,

Para los criterios de, constructibilidad, operabilidad y HSE, su peso está valorado en 100 debido a que no tienen subelementos.

**TABLA 9.** Selección de la mejor alternativa.

<b>PONDERACION DE CRITERIOS</b>	100		50	78,6		92,9	72,9	394,3
<b>CRITERIOS</b>	<i>Confiabilidad</i>		<i>Construcción</i>	<i>Mantenibilidad</i>		<i>Operabilidad</i>	<i>HSE</i>	
<b>PESO EN EL CRITERIO</b>	0,54	0,46	1	0,44	0,56	1	1	
	# de puntos de falla	Facilidad para identificación de fallas	Integración de sistemas	# de repuestos en stock	Conocimiento de la tecnología	Conocimiento de la tecnología	# personas expuestas en T/A	
<b>PESOS DE SUBELEMENTO</b>	87,1	75,7	100	74,3	92,9	100	100	
<b>ALTERNATIVAS</b>								
<b>A.1</b>	75,7	68,6	67,1	58,6	61,4	62,9	78,6	68,2
<b>A.2</b>	100	98,6	100	100	100	92,9	100,0	98,1

➤ RESUMEN DE CALULOS

$$\text{TOTAL PONDERACION DE CRITERIOS} = 100 + 50 + 78,5 + 92,9 + 72,9 = 394,3$$

$$\text{CALCULO DEL PESO EN EL CRITERIO (\# de puntos de falla) CONFIABILIDAD} = \frac{87,1}{87,1 + 75,7} = 0,54$$

$$\text{CALCULO PESO EN EL CRITERIO (Facilidad para identificación de fallas) CONFIABILIDAD} = \frac{75,7}{87,1+75,7} = 0,46$$

$$\text{CALCULO PESO EN EL CRITERIO (\# de repuestos en stock) MANTENIBILIDAD} = \frac{74,3}{74,3 + 92,9} = 0,44$$

$$\text{CALCULO PESO EN EL CRITERIO (Conocimiento de la tecnología) MANTENIBILIDAD} = \frac{92,9}{74,3 + 92,9} = 0,56$$

$$A1 = \frac{(75,7*0,54+68,6*0,46)100}{394,3} + \frac{(67,1*1)50}{394,3} + \frac{(58,6*0,44+61,4*0,56)78,6}{394,3} + \frac{(62,9*1)92,9}{394,3} + \frac{(78,6*1)72,9}{394,3} = 68,2$$

$$A2 = \frac{(100*0,54+98,6*0,46)100}{394,3} + \frac{(100*1)50}{394,3} + \frac{(100*0,44+100*0,56)78,6}{394,3} + \frac{(92,9*1)92,9}{394,3} + \frac{(100*1)72,9}{394,3} = 98,1$$

De acuerdo a la metodología planteada, la Alternativa 2, "Implementar un sistema completamente integrado para el control de la velocidad, desempeño, protección por sobre velocidad, antisurge y vibraciones" es la mejor alternativa.

## **5. ALTERNATIVA SELECCIONADA**

El sistema a ser suministrado integra en un controlador Tricon TS300 TMR SIL 3 las funciones de control y protección del compresor FL-C-2601.

### **5.1. HARDWARE Y SOFTWARE**

- Control de turbina
- Control antisurge del compresor
- Sistema de protección ESD
- Sistema protección sobrevelocidad independiente
- Control y monitoreo de variables de proceso.
- Secuenciador de eventos SOE
- Integración con el sistema de monitoreo de vibraciones
- Integración con el sistema DCS IA Foxboro
- Estación de Ingeniería
- HMI Local
- Gabinete de Control

### **5.2. SERVICIOS DE INGENIERIA**

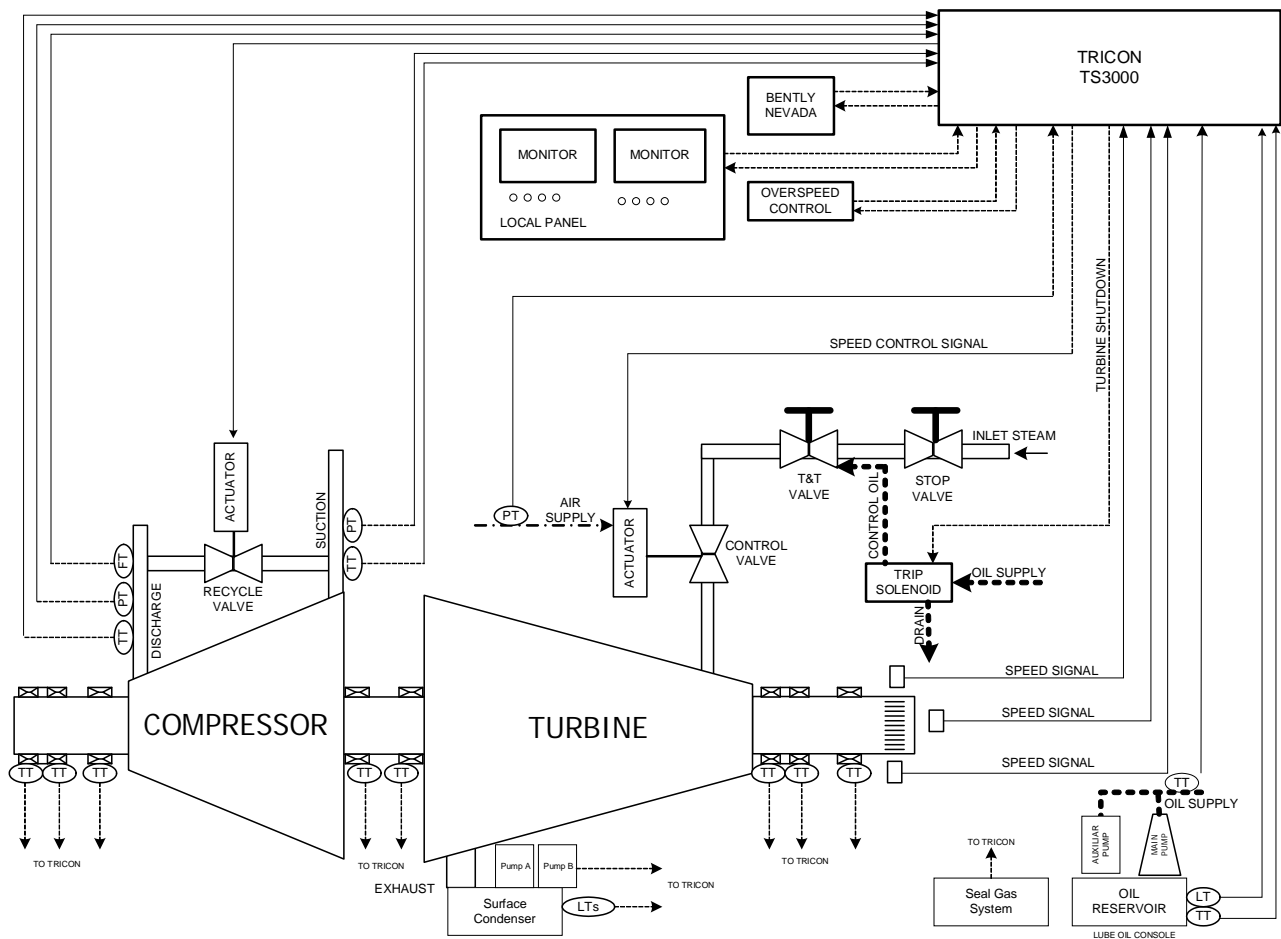
- Configuración Base de datos de control
- Control Turbina
- Algoritmo de antisurge
- Configuración Lógica de protección ESD
- Pruebas FAT

### **5.3. SERVICIOS ASISTENCIA EN PLANTA**

- Pruebas SAT
- Comisionamiento
- Asistencia en la puesta en servicio

El Tricon es un controlador con tecnología de avanzada que provee tolerancia a fallas mediante una arquitectura de Modularidad Triple Redundante (TMR). Este tipo de arquitectura integra tres controles paralelos aislados y diagnósticos extensivos en un sistema de control. El sistema utiliza una votación dos de tres para proveer una operación de proceso de altamente integrada, sin errores, e ininterrumpida, sin ningún punto único de falla. Para mayores detalles del sistema Tricon, por favor mire la sesión Overview Sistema Tricon y el Data Sheet Technical Produc Guide adjuntos.

**FIGURA 19.** Arquitectura de control planteada.



**Fuente:** Presupuestal Técnica N°: 12-0000948 Invensys System LA Colombia

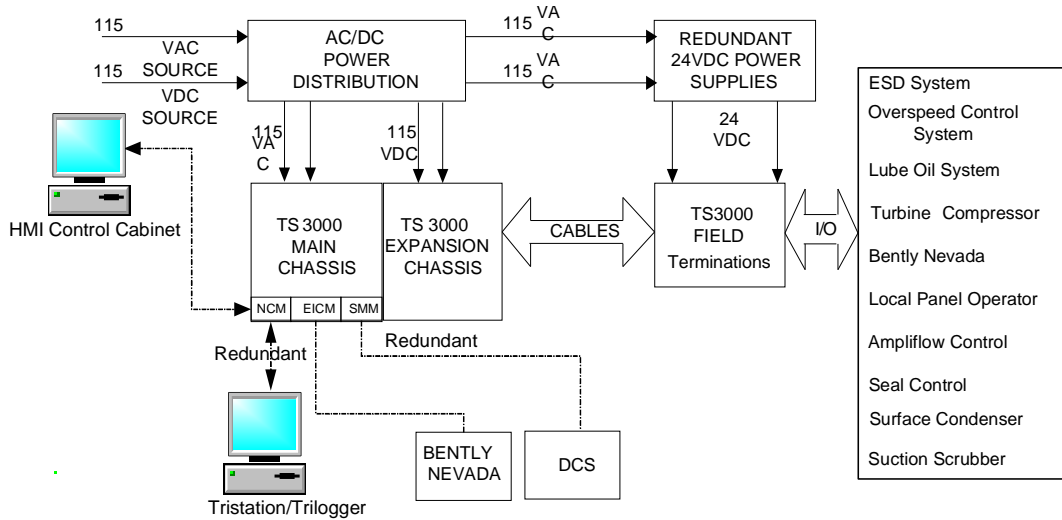


**5.4. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA INTEGRADO - ESD + ANTI SURGE Y SOBREVOLOCIDAD**

Signal	Qty	I/O Module	Channel/Module	Qty	Termination	Qty	Total I/O Oferted
AI	23	3721	32	1	9761-210	2	32
AI RTD	20	3721	32	1	9764-310	2	32
AO (4-20mA)	6	3805H	8	1	9853-610	1	8
AO (20-160mA)	2	3806E	2	1	9863-710	1	2
DI (24Vdc)	44	3503E	32	2	9563-810	4	64
DO (24Vdc)	27	3604E	16	2	9662-810	2	32
PI (Pulse Input)	3	3511	8	1	9753-110	1	8
<b>TOTAL</b>	<b>125</b>	-	-	<b>9</b>	-	<b>13</b>	<b>178</b>

## 5.5. ARQUITECTURA DEL SISTEMA

FIGURA 20. Arquitectura del sistema.



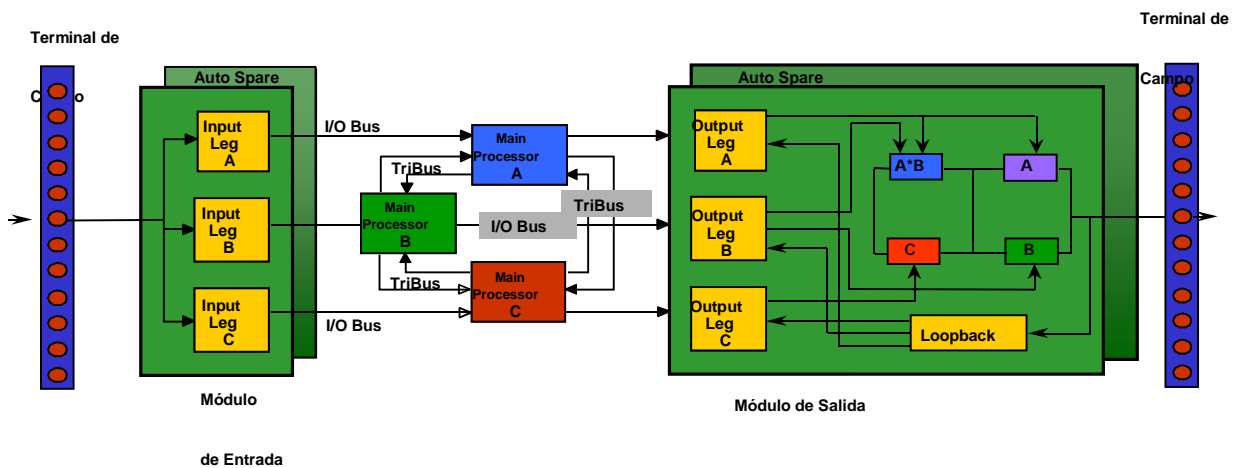
Fuente: Presupuestal Técnica N°: 12-0000948 Invensys System LA Colombia

## 5.6. OVERVIEW SISTEMA TRICON

El Tricon es un controlador de tecnología de avanzada que provee tolerancia a fallas por medio de una arquitectura Modular Triple Redundante (TMR). La TMR integra en un solo sistema de control tres sistemas aislados, paralelos y con diagnósticos extensivos. El sistema utiliza una votación dos de tres para suministrar una operación de proceso altamente integrada, ininterrumpida, libre de errores, y sin ningún punto único de falla.

El controlador Tricon usa tres canales idénticos. Cada canal ejecuta en forma independiente el programa de control en paralelo con los otros dos canales. Mecanismos de votación con software/hardware especializado califican y verifican todas las entradas y salidas digitales de campo, mientras que las entradas analógicas están sujetas a un proceso de selección de valor medio.

**FIGURA 21.** Topología del TRICON



**Fuente:** Invensys Operations Management

Siendo que cada canal está aislado de los otros, ningún punto de falla en cualquier canal puede pasar a otro. Si ocurre una falla de hardware en un canal, los otros canales la sobre escriben. El módulo que falla puede removerse y reemplazarse fácilmente mientras el controlador está en-línea, sin interrumpir el proceso.

Con el sistema Tricon triplicado, la implementación de programas de control se simplifica, ya que opera como un único sistema de control desde el punto de vista del usuario. El usuario conecta sensores y actuadores en un terminal de conexión único y programa el Tricon con un set de programa de control lógico. El controlador de Tricon maneja el resto.

Extensos diagnósticos en cada canal, módulo y circuito funcional detectan e informan inmediatamente fallas operacionales mediante indicadores o alarmas.

Se puede acceder a toda la información de diagnósticos de fallas mediante el programa de control y el operador. El programa o el operador pueden utilizar los datos de diagnóstico para modificar acciones de control o dirigir procedimientos de mantenimiento.

Otras propiedades importantes del controlador Tricon que aseguran la más alta integridad posible del sistema son:

- Ningún punto único de falla
- Capacidad para operar con 3, 2 ó 1 Procesador Principal antes de parar el proceso.
- Triplicación transparente y completamente implementada
- Diagnósticos del sistema exhaustivos
- Rango completo de módulos I/O
- Módulos I/O dobles y simples para puntos seguros/críticos con una limitada necesidad de disponibilidad.
- I/O remoto a hasta 7,5 millas (12 kilómetros) del Procesador Principal (MPs)
- Reparación simple y en línea de módulos
- Confiabilidad y disponibilidad Insuperables

#### **5.6.1. Configuración del sistema**

El sistema Tricon está compuesto de un chasis principal y hasta 14 chasis de expansión o de expansión remota (RXM). El tamaño máximo del sistema es de 15 chasis, soportando un total de 118 módulos de I/O y módulos de comunicación que interactúan con clientes OPC, dispositivos Modbus, otros Tricons, y aplicaciones externas de servidor principal en redes Ethernet (802.3), como también los sistemas de control distribuidos de Foxboro y Honeywell .

#### **5.6.2. Distribución del chasis**

Dos fuentes de alimentación se encuentran en la parte izquierda de todos los chasis, una encima de la otra. En el chasis principal los tres procesadores principales se encuentran inmediatamente a la derecha. El resto del chasis está dividido en seis ranuras lógicas para módulos de I/O y de comunicación y una ranura COM sin posición de respaldo. Cada ranura lógica provee dos espacios físicos para módulos, uno para el módulo activo y el otro para el módulo de respaldo opcional.

La distribución de un chasis de expansión es similar a la de un chasis principal, salvo por el hecho de que el chasis de expansión provee ocho ranuras lógicas para módulos I/O. (Los espacios utilizados por los procesadores principales y la ranura COM en el chasis principal están ahora disponibles para otros propósitos).

El chasis principal y el chasis de expansión están interconectados por medio de cables triplicados de bus de I/O. La máxima longitud del bus de I/O de cable entre el chasis principal y el último chasis de expansión normalmente es de 100 pies (30 metros), pero en aplicaciones particulares el largo puede ser de hasta 1000 pies (300 metros). (Consulte a su representante de Atención al Cliente de Invensys - Triconex para asesoramiento cuando esté configurando un sistema cuya longitud del bus de I/O de cable exceda los 30 metros)

Los chasis RXM se utilizan para sistemas en los que se excede la distancia total de cable entre el primer chasis y el último excede, que puede ser soportada por cobre. Cada chasis RXM aloja un grupo de tres módulos RXM en la misma posición que los procesadores principales en el chasis principal.

El resto del chasis RXM tiene seis ranuras lógicas disponibles y una ranura en blanco (sin usar).

### **5.6.3. Chasis principal**

- Hay un chasis principal con una dirección chasis de 1. El chasis principal debe contener tres Procesadores Principales Modelo 3008 para sistemas Tricon v9.6 y posteriores. El chasis principal debe tener dos fuentes de alimentación.
- El chasis principal provee seis ranuras lógicas para módulos seleccionados por el usuario y una ranura COM.

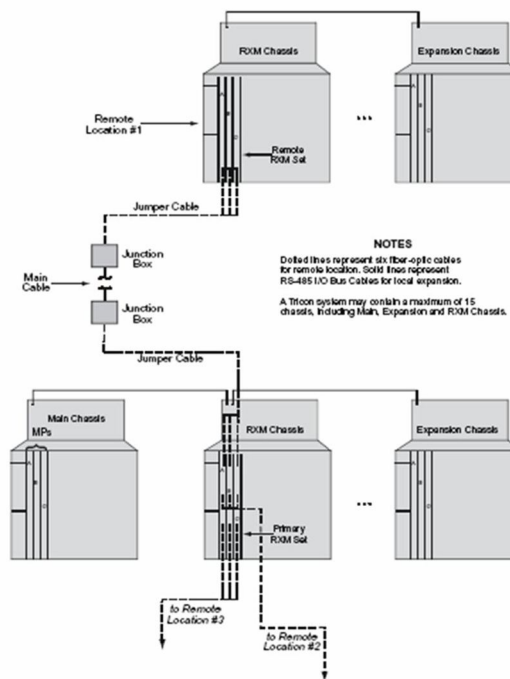
### **5.6.4. Chasis de expansión**

- Los chasis de expansión se utilizan cuando la extensión total del bus de I/O de cable para el sistema es menor de 100 pies (30 metros) para cada canal.
- Cada chasis de expansión debe tener una única dirección entre 2 y 15. Esta dirección no debe ser utilizada por ningún otro chasis.
- Cada chasis de expansión debe tener dos fuentes de alimentación.
- Para interconectar los canales A, B y C, se utiliza un bus de I/O triplicado de cables entre chasis de expansión.
- Cada chasis de expansión provee ocho ranuras lógicas.

### 5.6.5. Chasis RXM

- El chasis RXM debe ser utilizado cuando la extensión total del bus de I/O de cable para el sistema es mayor a 100 pies (30 metros) para cada canal.
- Cada chasis RXM debe tener una única dirección entre 2 y 15. Esta dirección no debe ser utilizada por ningún otro chasis.
- Un chasis RXM debe ubicarse dentro de los 100 pies (30 metros) del chasis principal. Este chasis RXM debe alojar el conjunto primario de módulos RXM. Normalmente se soportan hasta 3 conjuntos de módulos RXM primarios. Contacte a Invensys - Triconex respecto a otras configuraciones.
- Cada conjunto de módulos RXM primarios puede soportar hasta 3 sitios remotos, cada uno a hasta una distancia de 7,5 millas (12 kilómetros).
- Un chasis RXM debe ubicarse en cada sitio remoto. Este chasis RXM debe alojar un conjunto remoto de módulos RXM.
- Un conjunto de módulos RXM primarios y un conjunto remoto de módulos RXM se conectan por 6 cables de fibras ópticas que transmiten y reciben señales para los canales A, B y C.

**FIGURA 22.** Configuración con tres locaciones remotas.



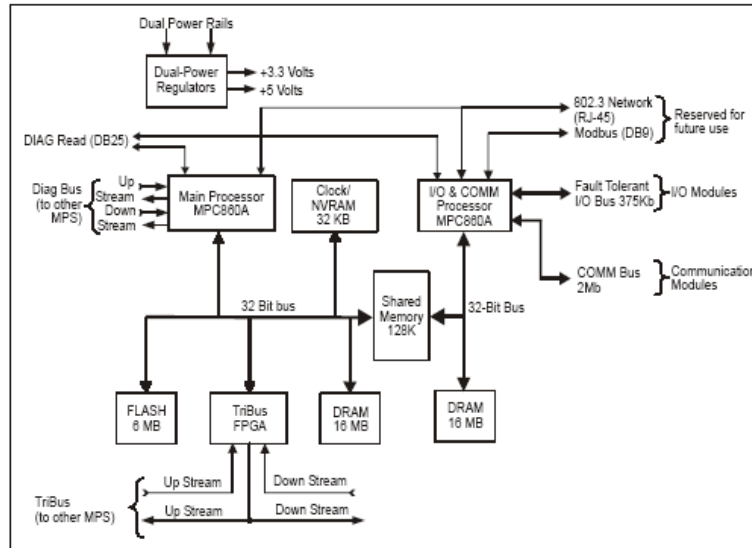
Fuente: Invensys Operations Management

### 5.6.6. Módulos del procesador principal

El sistema Tricon contiene tres módulos procesadores principales (MP) para controlar tres canales separados del sistema. Cada procesador principal opera en paralelo con los otros dos procesadores principales, como miembro de una terna.

Un procesador de I/O y COMM dedicado en cada uno de los procesadores principales administra los datos intercambiados entre los procesadores principales y los módulos I/O. En el plano posterior del chasis hay un bus de I/O triplicado y se extiende de chasis a chasis por medio de cables de bus de I/O.

**FIGURA 23.** Procesador principal.



**Fuente: Invensys Operations Management**

A medida que se va interrogando cada módulo de entrada, los datos nuevos de entrada se transmiten al procesador principal sobre el canal apropiado del bus de I/O. Los datos de entrada provenientes de cada módulo de entrada son agrupados en una tabla en el procesador principal y almacenados en memoria para su uso en el proceso de votación de hardware.

La tabla individual de entrada en cada procesador principal se transfiere a sus procesadores principales contiguos sobre el TriBus. Durante esta transferencia, tiene

lugar la votación de hardware. El TriBus utiliza un dispositivo de acceso directo de memoria (DMA) programable para sincronizar, transmitir, votar y comparar los datos entre los tres procesadores principales.

Si se descubre alguna diferencia, prevalece el valor de señal que se encuentra en dos de las tres tablas, y la tercera tabla se corrige adecuadamente. Las diferencias que resultan de variaciones de tiempo de muestras pueden distinguirse a partir de un patrón de diferencias de datos. Cada uno de los tres procesadores principales independientes mantiene los datos sobre correcciones necesarias en la memoria local. Cualquier disparidad es señalada y utilizada al final del scan por las rutinas del Analizador de Fallas incluido, para determinar si existe una falla en un módulo en particular.

Luego de que el TriBus transfiere los datos de entrada y de que la votación ha corregido los valores de entrada, los procesadores principales utilizan estos valores corregidos como entrada para el programa de control escrito por el usuario. (El programa de control se desarrolla en el software TriStation y se descarga en los procesadores principales). El microprocesador principal de 32-bits ejecuta el programa de control escrito por el usuario en paralelo a los módulos de procesador principal contiguos.

El programa de control escrito por el usuario genera una tabla de valores de salida basada en la tabla de valores de entrada, de acuerdo a las reglas construidas por el cliente en el programa de control. El procesador de I/O en cada procesador principal administra la transmisión de los datos de salida a los módulos de salida por medio del bus de I/O.

Utilizando la tabla de valores de salida, el procesador de I/O genera tablas más pequeñas, cada una de éstas correspondiente a un módulo individual en el sistema. Cada tabla pequeña es transmitida al canal apropiado del módulo de salida correspondiente sobre el bus de I/O. Por ejemplo, el Procesador Principal A transmite la tabla apropiada al Canal A de cada módulo de salida sobre el Bus A de I/O. La transmisión de datos de salida tiene prioridad sobre la rutina de scanning de todos los módulos de I/O.



El procesador de I/O y COMM administra los datos intercambiados entre los procesadores principales y los módulos de comunicación utilizando el bus de comunicación, que soporta un mecanismo en broadcast.

Los Procesadores Principales modelo 3008 proveen una DRAM de 16 megabytes, que es utilizada por el programa de control, datos de secuencia de eventos, datos de I/O, diagnósticos y buffer de comunicación.

En el caso en de que haya una falla externa de energía, la integridad del programa escrito por el usuario y las variables relevantes están protegidas por un mínimo de seis meses.

Los módulos del procesador principal reciben energía desde las fuentes de alimentación y las barras de alimentación duales en el chasis principal. Una falla en una fuente de alimentación o en la barra de alimentación no afectará el rendimiento del sistema.

#### **5.6.7. Diagnósticos**

Diagnósticos extensivos validan el estado de cada Procesador Principal así como el de cada módulo de I/O y del canal de comunicaciones. Las fallas transitorias son registradas y emascaradas por el circuito de votación por mayoría de hardware. Se diagnostican las fallas persistentes y el módulo con error se reemplaza en caliente o se opera en una forma tolerante a fallas hasta que se completa el reemplazo en caliente. Los diagnósticos del Procesador Principal hacen lo siguiente:

- Verifican memoria del programa fijo
- Verifican la porción estática de la RAM
- Prueban todas las instrucciones básicas del procesador y los modos de operación
- Prueban todas las instrucciones básicas del punto flotante del procesador.
- Verifican la interfaz de memoria compartida con los procesadores de I/O

- Revisan cada procesador I/O, procesador de comunicación, memoria local, acceso a la memoria compartida, y lazos de retroalimentación de transceptores RS-485
- Verifican la interfaz TriClock
- Verifican la interfaz Tribus

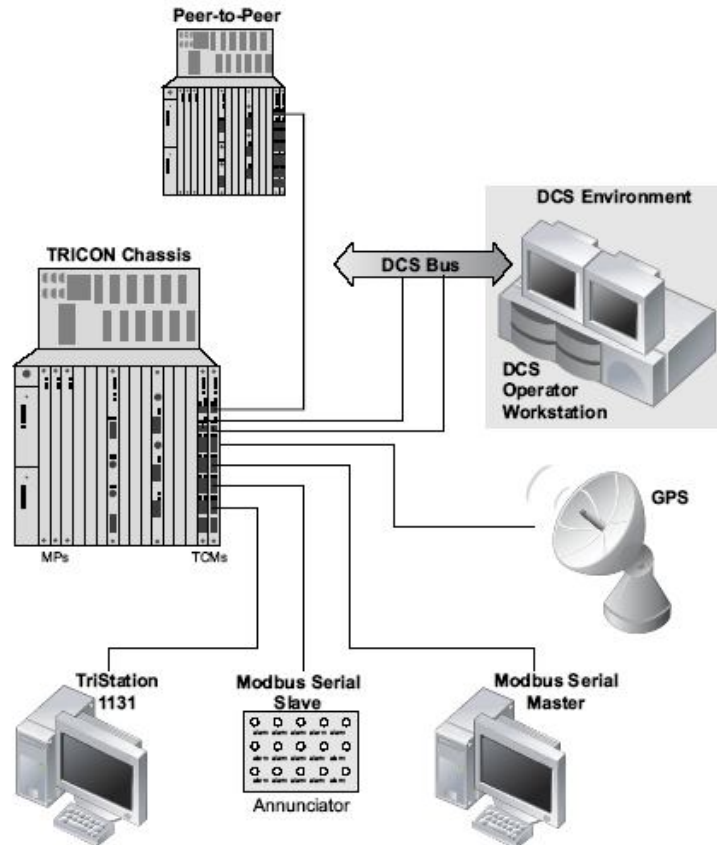
## **5.7. MÓDULOS DE COMUNICACIÓN**

Por medio de los módulos de comunicación descritos en esta sección Tricon puede interactuar con Modbus maestros y esclavos, otros controladores Invensys - Triconex en una red Invensys - Triconex peer-to-peer, servidores principales (host) externos en redes Ethernet, y sistemas de control distribuidos Foxboro y de Honeywell. Los procesadores principales envían datos en broadcast a los módulos de comunicación a través del bus de comunicaciones. Los datos se actualizan típicamente en cada scan, y no corresponden nunca a más de dos períodos de exploración previos.

### **5.7.1. Módulos de comunicación TRICON (TCM)**

Los Módulos de Comunicación Tricon (TCM) le permiten a un controlador Tricon comunicarse con dispositivos Modbus (maestros o esclavos), una PC TriStation, una impresora de red, otros controladores Invensys - Triconex, y otros dispositivos externos en redes Ethernet.

**FIGURA 24.** TCM



**Fuente:** Invensys Operations Management

El módulo TCM también tiene incluida una capacidad de servidor OPC, que permite la suscripción de hasta 10 clientes OPC a los datos recolectados por el servidor OPC. El servidor OPC incluido soporta la versión 2.05 estándar del Data Access.

Cada TCM tiene cuatro puertos serie, dos puertos de red Ethernet, y un puerto de debug (para uso Invensys - Triconex).

Un controlador Tricon único soporta hasta cuatro TCM's, que se alojan en dos ranuras lógicas. Esta disposición provee un total de 16 puertos serie y ocho puertos de red Ethernet.

#### **5.7.2. Módulo de Comunicación Inteligente Mejorado (EICM)**

El EICM soporta comunicación en serie del tipo RS-232, RS-422 y RS-485 con dispositivos externos a velocidades de hasta 19.2 kilobits por segundo.

El EICM suministra cuatro puertos serie opto-aislados, que pueden interactuar con Modbus maestros o esclavos, o ambos, o con una TriStation.

El módulo también provee un puerto paralelo compatible con Centronics

#### **5.7.3. Módulo de Comunicación de Red (NCM)**

El NCM soporta comunicación Ethernet (802.3) a 10 megabits por segundo para protocolos y aplicaciones propietarias de Invensys – Triconex.

El NCM también soporta Servidores OPC, que pueden ser utilizados por cualquier cliente OPC. Además los usuarios pueden escribir sus propias aplicaciones utilizando el protocolo TSAA.

El NCMG permite la sincronización de tiempo a un dispositivo GPS.

#### **5.7.4. Módulo de Interfaz de Highway (HIM)**

El HIM actúa como interfaz entre un controlador Tricon y un Sistema de Control Distribuido (DCS) Honeywell TDC 3000 por medio del Highway Gateway y la Red de Control Local (LCN). El HIM permite que dispositivos de mayor nivel, como las computadoras o estaciones de trabajo, se comuniquen con el Tricon.

#### **5.7.5. Módulo Administrador de Seguridad (SMM)**

El SMM actúa como interfaz entre un controlador Tricon y una Universal Control Network (UCN) de Honeywell, una de tres redes principales del Sistema de Control Distribuido TDC 3000. El SMM se le presenta al TDC 3000 como un nodo de seguridad en la UCN,

permitiéndole al Tricon administrar los puntos críticos del proceso dentro de todo el ambiente del TDC 3000. El SMM le transmite a las estaciones de trabajo del operador del TDC 3000 todos los datos de alias y de información de diagnóstico del Tricon, en formatos de presentación que resultan familiares a los operadores.

#### **5.7.6. Módulo de Comunicación Avanzada (ACM)**

El ACM actúa como interfaz entre un controlador Tricon y un Sistema de Control Distribuido de la Serie de Automatización Inteligente (I/A) Series de Foxboro. El ACM se le presenta al sistema de Foxboro como un nodo de seguridad en los Nodebus de la I/A Serie, permitiéndole al Tricon administrar los puntos críticos del proceso dentro de todo el ambiente del sistema I/A. El ACM le transmite a las estaciones de trabajo del operador I/A todos los datos e información de diagnóstico asociados de Tricon, en formatos de presentación que resultan familiares a los operadores Foxboro.

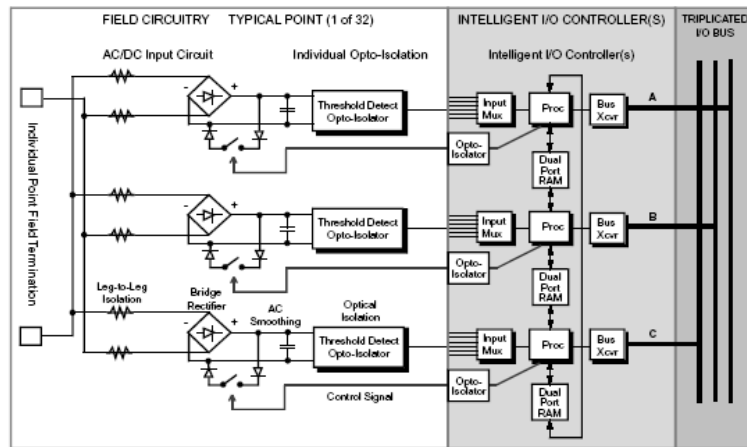
### **5.8. MÓDULOS DE I/O**

#### **5.8.1 Módulos de Entradas Digitales**

El Tricon soporta dos tipos básicos de módulos de entradas digitales: TMR y simples. Los siguientes párrafos describen a los módulos de entradas digitales en forma general, seguido por las especificaciones de los módulos TMR y módulos simples.

Cada módulo de entradas digitales aloja el circuito para tres canales idénticos (A, B y C.) Aunque los canales están en el mismo módulo, son completamente aislados el uno de los otros y operan en forma independiente. Una falla en un canal no puede pasar a otro. Además, cada canal contiene un microprocesador de 8 bits, llamado procesador de comunicación de I/O, que maneja la información con su correspondiente procesador principal.

**FIGURA 25.** Arquitectura TMR.



**Fuente:** Invensys Operations Management

Cada uno de los tres canales de entrada mide en forma asincrónica las señales de entrada desde cada punto en el módulo terminal de entradas, determina los estados correspondientes de las señales de entrada y ubica los valores en tablas de entrada A, B, y C respectivamente. El procesador de comunicación I/O ubicado en el correspondiente módulo del procesador principal interroga regularmente a cada tabla de entrada sobre el bus de I/O. Por ejemplo, el Procesador Principal A interroga a la Tabla de Entrada A sobre el Bus de I/O A.

En el caso de los módulos TMR de entrada digital, todas las rutas de señales críticas son triplicadas en un 100 por ciento para una seguridad garantizada y máxima disponibilidad. Cada canal acondiciona las señales independientemente y provee aislación entre el campo y el Tricon. (El módulo de entradas digitales de alta densidad de 64 puntos es una excepción, ya que no tiene aislación entre canales.)

Los modelos DC de los módulos de entrada digital pueden auto examinarse para detectar condiciones de STUCK-ON cuando el circuito no puede decir si un punto ha pasado al estado OFF. Dado que la mayoría de los sistemas de seguridad son configurados con la capacidad para desenergizar por trip, la habilidad para detectar puntos fijados en ON es

una característica importante. Para probar las entradas fijadas en ON, se cierra un switch dentro del circuito de entrada para permitir la lectura de una entrada cero (OFF) por el circuito de aislación. La última lectura de datos se congela en el procesador de comunicaciones de I/O mientras se realiza la prueba.

En los módulos simples de entrada digital están triplicadas sólo aquellas porciones de la ruta de señal que se requieren para garantizar operaciones seguras. Los módulos simples están optimizados para aquellas aplicaciones de seguridad crítica en las que los costos son más importantes que una máxima disponibilidad. Los circuitos especiales de auto test detectan en menos de medio segundo todas las condiciones de falla en ON y en OFF dentro de los acondicionadores de señal no triplicados. Esta es una característica obligatoria en un sistema seguro de fallas, que debe detectar todas las fallas a tiempo y ante la detección de una falla en la entrada forzar el valor de entrada medido al valor seguro. Ya que Tricon está optimizado para aplicaciones con desenergización por trip, la detección de una falla en el circuito de entrada fuerza a OFF (el estado desenergizado) al valor reportado por cada canal a los procesadores principales.

### **5.8.2 Módulos Discretos de Salidas Digitales**

El modulo discreto de salida digital de próxima generación permite la supervisión de carga de salidas digitales, configurable por el usuario en una base por puntos. Esto permite una alta flexibilidad en instalaciones donde la combinación de dispositivos de campo con diferentes necesidades de supervisión pueden ser conectadas a un mismo módulo.

El número de parte del módulo es 3615 y tiene 32 Salidas Digitales. Es un módulo TMR que tiene una supervisión seleccionable por punto por el usuario y umbrales de carga abierta y cerrada configurables.

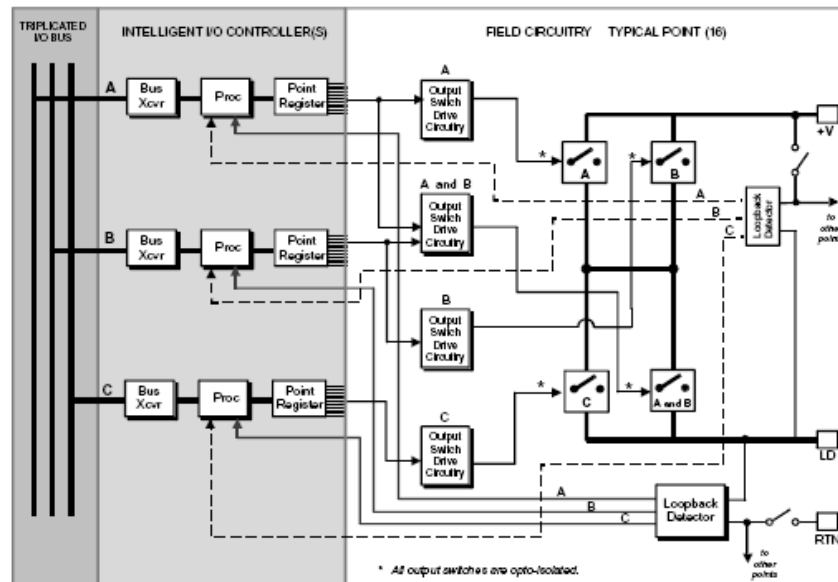
### **5.8.3 Módulos de Salidas Digitales**

Existen cuatro tipos básicos de módulos de salidas digitales: TMR de tensión AC y tensión DC, duales y supervisados. En los siguientes párrafos se describen los módulos de salidas digitales en forma general, y luego las especificaciones de los cuatro tipos.

Cada módulo de salidas digitales aloja los circuitos para tres canales aislados idénticos. Cada canal incluye un microprocesador de I/O que recibe su tabla de salida a través del procesador de comunicaciones de I/O en su procesador principal correspondiente. Todos los módulos de salidas digitales, excepto los módulos duales de DC, utilizan circuitos especiales de salida cuadruplicados, que votan las señales individuales de salida antes de que éstas se apliquen a la carga. Este circuito de votación está basado en rutas en paralelo-serie que dejan pasar la energía si los drivers para los canales A y B, o canales B y C, o canales A y C les ordenan que se cierren. En otras palabras, 2 de 3 drivers votaron ON. El circuito cuadruplicado de votación provee redundancia múltiple para todas las rutas de señales críticas, garantizando seguridad y máxima disponibilidad.

Cada tipo de módulo de salidas digitales ejecuta una Diagnóstico de Votación de Salida particular (OVD) para cada punto. Los lazos de retroalimentación en el módulo permiten a cada microprocesador leer el valor de salida hacia el punto, para determinar si existe una falla latente dentro del circuito de salida.

**FIGURA 26.** Arquitectura módulos de salida supervisados.

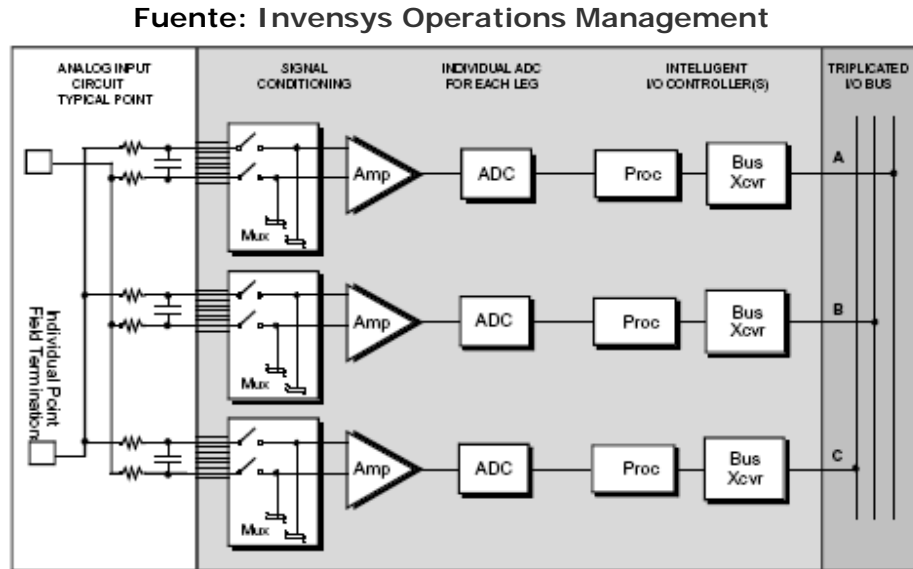


Fuente: Invensys Operations Management



#### 5.8.4 Módulos de Entradas Analógicas

FIGURA 27. Arquitectura módulos analógicos de entrada.



En un módulo de entradas analógicas cada uno de los tres canales de entrada mide en forma asincrónica las señales de entrada y ubica los resultados en una tabla de valores. Cada una de las tres tablas de entrada se pasa a su módulo procesador principal asociado, utilizando el bus de I/O correspondiente. La tabla de entrada en cada módulo procesador principal se transfiere a sus contiguos a través del Tricon. Cada procesador principal selecciona el valor medio, y en cada procesador principal se corrige adecuadamente la tabla de entrada. En el modo TMR, el programa de control utiliza los datos del valor medio, mientras que en el modo duplex se utiliza el promedio. Cada módulo de entradas analógicas se calibra automáticamente utilizando múltiples tensiones de referencia leídas a través del multiplexor. Estas tensiones determinan la ganancia y polarización (bias) que se requieren para ajustar las lecturas del convertidor analógico-digital (ADC).

Están disponibles módulos de entradas analógicas y paneles terminales para soportar una amplia variedad de entradas analógicas, tanto en versión aislada como no aislada:

0-5 VDC, 0-10 VDC, 4-20 mA, termocuplas (tipos K, J, T, E), y termorresistencias (RTDs).

### **5.8.5 Módulos de Entradas Analógicas TRICON**

Se encuentra disponible una cantidad determinada de módulos de I/O de próxima generación en la familia Tricon, que mejoran la eficiencia de ejecución y facilitan el mantenimiento. Los nuevos módulos de entradas analógicas proveen períodos de muestreo más rápidos en comparación con los módulos anteriores; permitiendo de ese modo al sistema Tricon ofrecer un período total de ejecución desde la entrada a la salida mejorado. Este tipo de módulo también proporciona una mejor exactitud de entrada analógica para un procesamiento de señal de alta precisión que permite conversiones de señales y cálculos más exactos. También se encuentra disponible una opción de alta densidad para reducir la cantidad de módulos en el sistema y mejorar las dimensiones del sistema.

- Modelo de módulos de entradas analógicas 3720 – 64 puntos - entrada única
- Modelo de módulos de entrada analógica 3721 – 32 puntos - diferencial

Ambos módulos tienen son TMR con:

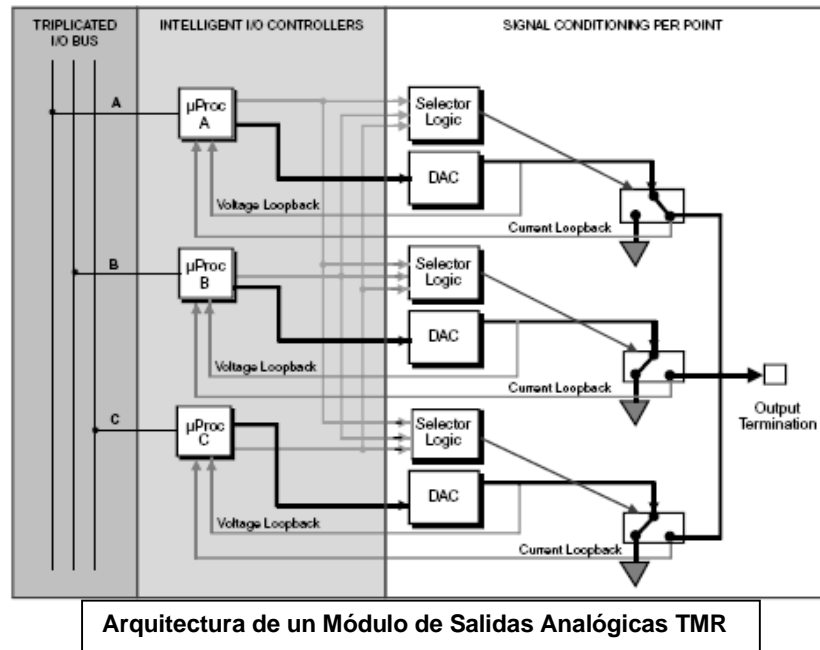
- Velocidad de muestreo de 0 milisegundos.
- Resolución de 15 bits seleccionable por el usuario
- (14 bits más signo) de exactitud y monitoreo de alimentación de campo

### **5.8.6 Módulos de Salidas Analógicas**

El módulo de salidas analógicas recibe tres tablas de valores de salida, una para cada canal del procesador principal correspondiente. Cada canal tiene su propio convertidor digital-analógico (DAC). Se selecciona uno de los tres canales para manejar las salidas analógicas. Para comprobar que son correctas, las salidas son continuamente verificadas por lazos de retroalimentación en cada punto, que son leídos por los tres microprocesadores. Si ocurre una falla en el canal de mando, se declara a ese canal como fallado y se selecciona un nuevo canal para manejar el dispositivo de campo. La

designación de un “canal de comando” se va rotando entre los canales, con lo que se prueban todos los canales.

**FIGURA 28.** Arquitectura de un módulo de salidas analógicas TMR.



**Fuente: Invensys Operations Management**

## 5.9. TRISTATION 1131 DEVELOPER'S WORKBENCH

TriStation 1131 Developer's Workbench es una herramienta integrada para desarrollar, probar, y documentar aplicaciones de seguridad y de control de procesos críticos para el controlador Trident. La metodología de programación, interfaz de usuario, y las capacidades de auto documentación hacen al sistema superior a las herramientas de ingeniería tradicionales y competitivas.

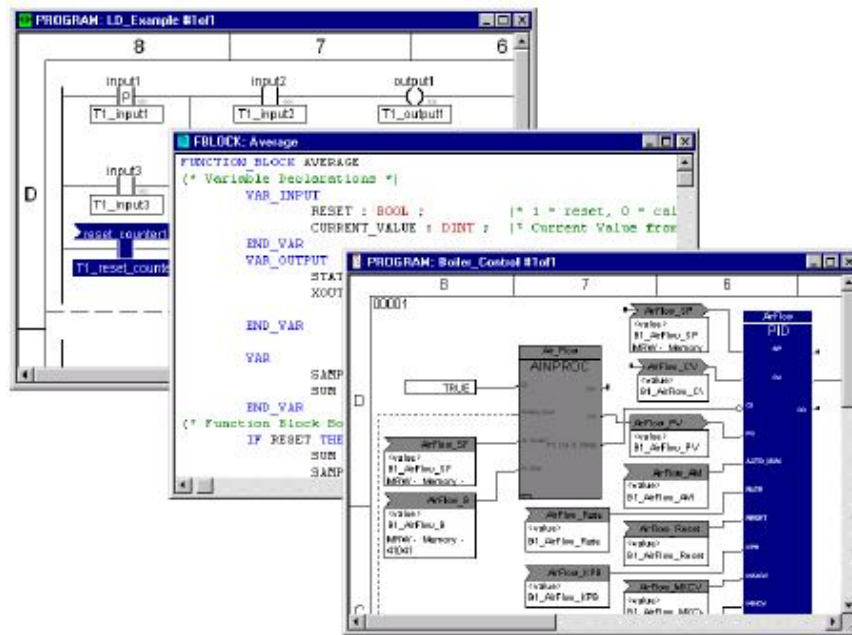
TriStation cumple con la Parte 3 de la Norma Internacional para Controladores Programables IEC 61131, la cual define lenguajes de programación. TriStation v4.1 se ejecuta en Windows 2000 y Windows XP. TriStation v4.0 se ejecuta únicamente en

Windows 2000. Aquellas versiones de TriStation anteriores a la versión 4.0 se ejecutan en Windows NT.

### Aspectos Funcionales

- TriStation provee tres editores, que soportan los lenguajes IEC 61131-3:
- Diagrama de Bloques Funcionales.
- Diagram Escalera
- Text Estructurado

**FIGURA 29.** FBD.



Sample Logic in FBD, ST and LD Languages

Fuente: Invensys Operations Management

El lenguaje opcional de Programación de Invensys-Triconex, CEMPLE (Cause and Effect Matrix Programming Language Editor) – Editor de Lenguaje de Programación de Matriz

de Causa y Efecto-soporta la metodología ampliamente utilizada de Matriz de Causa y Efecto (CEM). TriStation permite:

- Crear programas, funciones y bloques de funciones
- Definir la configuración del controlador
- Declarar nombres de etiquetas (tagnames)
- Probar las aplicaciones en un emulador
- Descargar y monitorear aplicaciones

### **Nuevas funcionalidades en el TriStation v4.1**

Estos son las nuevas funcionalidades del TriStation v4.1:

- Compatible con MS Windows 2000 y Windows XP.
- Configuración para nuevos Módulos de Comunicación, Módulos de Entrada Analógica, y Módulos de Salida Digital.
- Graba automáticamente una copia de respaldo del archivo de proyecto luego de "Descargar Todo" o "Descargar Cambio" y puede utilizarse para restaurar el archivo del proyecto.
- Característica Write to File para código ST intermedio

El EnDM es un software de diagnóstico de sistema que se ejecuta separadamente del TriStation 1131. El EnDM permite a los usuarios monitorear y mejorar la eficiencia de mantenimiento.

### **Reduzca períodos de localización y resolución de problemas**

- Diagnósticos exhaustivos y sencillos de interpretar
- Estatus de salud de la red y comunicaciones

### **Mejore la eficiencia del Mantenimiento**

- Obtenga información de diagnóstico desde cualquier lado
- Diseñado para ser instalado y ejecutado desde la estación de operador del DCS
- Independiente del TriStation 1131
- Acceso asegurado a personal autorizado
- Separación entre proceso y seguridad

- Filtrado de eventos
- Capacidad para exportar mensajes de eventos de diagnósticos
- Eventos exportados en formato .DBF
- Generación de informes personalizados

### **5.10. TRILOGGER**

TriLogger es un programa basado en PC que permite al usuario recolectar y analizar datos desde su sistema (Tricon/ Trident). Las comunicaciones a la PC se realizan mediante una red Ethernet utilizando un Tricon Communication Module (TCM) – Módulo de Comunicación Tricon- El software se divide en 3 paquetes separados:

- TriLogger Event, que recolecta datos analógicos y digitales desde un Tricon.
- TriLogger Playback, que provee una potente interfaz gráfica orientada a tendencias que permite al usuario ver datos históricos recolectados por el TriLogger Event.
- TriLogger Remote, que provee una interfaz gráfica orientada a tendencias que le permite al usuario observar datos en tiempo real cuando está conectado al servidor del TriLogger Event.

### **5.11. SOE**

Los controladores y software Invensys - Triconex de Invensys incluyen la capacidad de Secuencia de Eventos -Sequence of Events- (SOE), que provee el potencial de rastrear eventos que llevan a un proceso condición no segura y a la parada del sistema. El software SOE puede utilizarse para recuperar los datos de eventos desde el controlador.

Con el software SOE usted puede:

- Recoger y analizar datos de eventos
- Exportar archivos de bases de datos de eventos
- Imprimir informes con datos de eventos.

El software SOE también permite que se exporten los datos de eventos a una base de datos o a archivos de textos ASCII, ya sea en forma manual o automática.

## 6. ANALISIS FINANCIERO

### 6.1 PRESUPUESTO

**Descripción:** El presupuesto para el proyecto fue realizado con base en la propuesta Técnica N° 12-00000948 de Invensys System LA Colombia.

**TABLA 10.** Presupuesto.

PRESUPUESTO					
PROYECTO "Actualización tecnológica del sistema de protección, control y Monitoreo del compresor de gas húmedo FL-C 2601 del área URC"					
Item	Descripción	Unidad	Q	Precio Unitario (USD)	Precio Global (USD)
<b>1</b>	<b>Suministros</b>				
1.1	Suministro de sistema de control y protección (desempeño, antisurge, velocidad y ESD)	GLB	1	189.984,80	189.984,80
1.2	Suministro de sistema de control de Vibraciones	GLB	1	95.887,92	95.887,92
1.3	Suministro de sistema de protección de sobrevelocidad	GLB	1	110.200,00	110.200,00
1.4	Suministro de Panel de Sellos	GLB	1	336.400,00	336.400,00
1.5	Suministro de transmisores de temperatura	UND	18	1.972,00	35.496,00
1.6	Suministro de transmisores de Presión	UND	30	1.740,00	52.200,00
1.7	Suministro de transmisor de Nivel	UND	15	1.740,00	26.100,00
1.8	Suministro de transmisores de Flujo	UND	15	2.320,00	34.800,00
	<b>Subtotal Suministros</b>				881.068,72
<b>2</b>	<b>Ingenierías</b>				
2.1	Ingeniería local y remota USA, Diseño aplicación estrategia de control de turbina y algoritmos de control Antisurge. Incluye desplazamiento y estadia para la puesta en servicio del técnico especialista.	GLB	1	231.617,20	231.617,20
2.2	Ingeniería, instalación de System 1 y entrenamiento de Bently Nevada	GLB	1	90.833,80	90.833,80
	<b>Subtotal Ingenierías</b>				322.451,00

**TABLA 10.** Presupuesto. (Continuación)

<b>3</b>		<b>Montaje y Desmantelamiento</b>			
3.1	Instalación de instrumentos (incluye soportería)	UND	78	800,00	62.400,00
3.2	Instalación de cable de instrumentos (1x2x16 AWG)	ML	936	8,00	7.488,00
3.3	Desmantelamiento de Sistemas de control y protección existente	UND	3	1.500,00	4.500,00
3.4	Instalación de Sistema de control y protección	UND	3	2.100,00	6.300,00
3.5	Desmantelamiento del panel de sellos existente	UND	1	10.000,00	10.000,00
3.6	Instalación del panel de sellos nuevo	UND	1	5.000,00	5.000,00
3.7	Desmantelamiento de instrumentación de campo	UND	78	300,00	23.400,00
3.8	Montaje del panel de control	GLB	1	5.000,00	5.000,00
3.9	Cuadrilla de arranque	DIA	20	2.500,00	50.000,00
	<b>Subtotal Montaje y desmantelamiento</b>				174.088,00
<b>4</b>		<b>Gerenciamiento</b>			
4.1	Líder de proyecto	MES	18	660,00	11.880,00
4.2	Especialista (Electrónico, Mecánico)	MES	12	4.180,00	50.160,00
4.3	Supervisor (Electrónico, Mecánico)	MES	12	4.180,00	50.160,00
4.4	Gestión administrativa	GLB	1	55.704,32	55.704,32
	<b>Subtotal Gerenciamiento</b>				167.904,32
	<b>Total General</b>				1.545.512,04



## 6.2 ESTIMADO DE COSTOS

**Descripción:** El estimado de costos fue realizado con base en los precios del presupuesto y se discriminan en base los costos asumidos por el CONTRATISTA y por ECOPETROL, los cuales se subdividen en suministro de material y labor.

**TABLA 11. Estimado de costos.**

ITEM DE COSTO	CONTRATISTA			ECOPETROL		TOTAL (USD)	OBSERVACIONES (USD)
	GASTOS REEMBOLSABLES	MATERIALES (APLICA AIU) (USD)	LABOR (APLICA AIU) (USD)	MATERIALES (USD)	LABOR		
<b>COMPRAS Y CONSTRUCCION</b>							
CIVIL						-	
CONCRETO						-	
ACERO						-	
ELECTRICOS			10.000			10.000	
INSTRUMENTACION Y CONTROL			174.088	1.203.520		1.377.608	
MECANICOS			10.000	136.400		146.400	
TUBERIA DE PROCESOS (PIPING)			10.900			10.900	
TUBERIA						-	
EDIFICACIONES (TODO INCLUIDO)						-	
AIRE DE PROCESOS						-	
PINTURA/AISLAMIENTOS/REVESTIMIENTOS						-	
PERFORACION/COMPLETAMIENTO/WORKOVER						-	
CONSOLIDACION ORGANIZACIONAL						-	
INVESTIGACION Y DESARROLLO						-	
<b>SUBTOTAL COMPRAS Y CONSTRUCCION</b>	-	-	204.988	1.339.920		1.544.908	

**TABLA 11. Estimado de costos. (continuación)**

<b>AIU COMPRAS Y CONSTRUCCION</b>							
% ADMINISTRACION GASTOS REEMBOLSABLES							
ADMINISTRACION	-		20.499			<b>20.499</b>	10%
IMPREVISTOS			10.249			<b>10.249</b>	5%
UTILIDAD			10.249			<b>10.249</b>	5%
IVA			1.640			<b>1.640</b>	16% DE UTILIDAD
<b>SUBTOTAL AIU</b>	-	-	42.638			<b>42.638</b>	

**OTROS COSTOS**

<b>GERENCIA DE PROYECTO</b>							
Gestión del Proyecto					167.904	<b>167.904</b>	
Servicios Especializados						-	
Contratación y Compras					33.708	<b>33.708</b>	
Otros gastos gerenciales						-	
<b>SUBTOTAL GERENCIA DE PROYECTO</b>	-	-	-	-	201.612	201.612	

<b>INGENIERIA / ESTUDIOS / DISEÑO</b>							
Conceptual						-	
Básica					100.000	<b>100.000</b>	
Detalle					70.000	<b>70.000</b>	
Otros Servicios de Ingeniería/Estudios/Diseño						-	
<b>SUBTOTAL INGENIERÍA/ESTUDIOS/DISEÑO</b>	-	-	-	-	170.000	<b>170.000</b>	

**TABLA 11. Estimado de costos (continuación)**

<b>GERENCIAMIENTO DE CONSTRUCCION</b>							
Gerencia de Construcción						-	
Equipos de construcción (no contratista)						-	
Facilidades y Servicios temporales						-	
<b>SUBTOTAL GERENCIAMIENTO CONSTRUCCION</b>			-	-	-	-	

<b>PCA (Pruebas de comisionamiento y arranque)</b>							
PRECOMISIONAMIENTO							
COMISIONAMIENTO							
ARRANQUE						-	INCLUIDO EN EL SUMINISTRO
<b>SUBTOTAL PCA</b>			-		-	-	

<b>ESPECIALES</b>							
Aranceles/Fletes/Infraestructura Internacional							
Catalizadores y Llenado inicial para arranques							
Repuestos							
Licencias y Permisos						-	
Predios, Servidumbres y/o Afectaciones						-	
Otros costos y gastos especiales (intereses, etc.)							
<b>SUBTOTAL COSTOS ESPECIALES</b>			-			-	

<b>CONTINGENCIA</b>						97.958	5,0%
<b>ESCALACIÓN</b>						97.958	5,0%

<b>TOTAL COSTO ESTIMATIVO PROYECTO</b>							<b>2.155.073</b>	
--	--	--	--	--	--	--	------------------	--

### 6.3. ANALISIS DE FACTIBILIDAD TECNICO ECONOMICO

#### 6.3.1 Riesgo base del proyecto

**Descripción:** La tabla 12 muestra los costos de mantenimiento que se tienen con los proveedores por subsistema.

**TABLA 12.** Costos de mantenimiento.

Fuente	EQUIPO	COSTO MANTENIMIENTO
1	Contrato CCC	COP \$140.000.000
1	Contrato Siemens	COP \$20.000.000
1	Contrato Bently Nevada	COP \$20.000.000
1	Repuestos en bodega	COP \$15.384.615
	TOTAL (COP) (Pesos)	COP \$195.384.615
	TOTAL (USD) (Dólares)	USD 111.961,97

**Fuente:**

1. Ingeniero Jairo Picón Dpto. Confiabilidad

**Descripción:** Tabla con las duraciones de la falla hasta su restablecimiento de los eventos asociados al sistema de control y protección que en promedio sumaron 5 días o 120 horas.

En caso de apagada de la planta por falla en el sistema de control y protección es en promedio 15 días, teniendo en cuenta que se debe hacer pedido especial para los componentes que se encuentran en estado de obsolescencia y/o obtener repuestos con otras filiales.

Actualmente por el cumplimiento de la vida útil de los componentes del sistema de protección y control, la probabilidad de ocurrencia de un evento o falla es aproximadamente 50% según MTBF del PLC S5.

**TABLA 13.** Eventos del sistema de control.

Año	Eventos	Imputables a Sistema de control de Compresor	Duración promedio (horas)	Duración promedio (días)
2000	13	6	5,46	0,23
2001	11	2	4,25	0,18
2002	4	2	6,00	0,25
2003	23	2	3,50	0,15
2004	3	0	0,00	0,00

2005	8	0	0,00	0,00
2006	9	2	10,25	0,43
2007	7	1	8,00	0,33
2008	5	1	6,00	0,25
2009	3	0	0,00	0,00
2010	2	1	6,00	0,25
2011	6	1	5,00	0,21
2012	2	1	66,50	2,77
Total	96	19	120,96	5,04

### 6.3.2 Riesgo con proyecto

**Descripción:** La tabla 14 muestra los costos de mantenimiento para el sistema de control y protección teniendo un contrato directo con Invensys.

Los contratos de mantenimiento de equipos se iniciaran 3 años después de la implementación del proyecto.

Se espera que la probabilidad de ocurrencia de eventos del compresor no sea mayor al 0,5%.

**TABLA 14.** Riesgo con proyecto.

Fuente	EQUIPO	COSTO MANTENIMIENTO
1	Contrato INVENSYS	COP \$ 61.534.790
	TOTAL (COP)	\$ 61.534.790
	TOTAL (USD)	USD 34.570

**Fuente:**

1. Ingeniero Jairo Picón Dpto. Confiabilidad

### 6.3.3 VPN Riesgo base

**Descripción:** La tabla 15 muestra el Valor presente neto del riesgo base, es decir sin hacer el proyecto, en el escenario actual de baja confiabilidad por el ciclo de vida.

**TABLA 15.** VPN riesgo base.

<b>TMR ( Ecopetrol)</b>	11,10%	EA. USD									
<b>FASE DEL PROYECTO</b>	1										
<b>RIESGO BASE</b>	Beneficios Económicos en KUSD										
Pérdidas y Costos sin Proyecto	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Perdidas por disponibilidad y confiabilidad	\$ 4.227	\$ 4.227	\$ 4.227	\$ 4.227	\$ 4.227	\$ 4.227	\$ 4.227	\$ 4.227	\$ 4.227	\$ 4.227	\$ 4.227
Perdidas por infraestructura	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Perdidas por energía	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Otras pérdidas	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
	\$ 4.227	\$ 4.227	\$ 4.227	\$ 4.227	\$ 4.227	\$ 4.227	\$ 4.227	\$ 4.227	\$ 4.227	\$ 4.227	\$ 4.227
Máxima probabilidad de ocurrencia	50%	52%	55%	57%	59%	61%	63%	65%	67%	69%	71%
Pérdidas brutas *probabilidad de ocurrencia	\$ 2.113	\$ 2.198	\$ 2.325	\$ 2.409	\$ 2.494	\$ 2.578	\$ 2.663	\$ 2.747	\$ 2.832	\$ 2.916	\$ 3.001
Costos de mantenimiento	\$ 112	\$ 112	\$ 112	\$ 112	\$ 112	\$ 112	\$ 112	\$ 112	\$ 112	\$ 112	\$ 112
Costos de operación	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Costos de disposición	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Costos de parada	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Costos ambientales	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Otros Costos	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Flujo de caja	\$ 2.225,25	\$ 2.309,78	\$ 2.436,57	\$ 2.521,11	\$ 2.605,64	\$ 2.690,17	\$ 2.774,70	\$ 2.859,23	\$ 2.943,76	\$ 3.028,29	\$ 3.112,82
Flujo de caja con depreciación	\$ 2.225,25	\$ 2.309,78	\$ 2.436,57	\$ 2.521,11	\$ 2.605,64	\$ 2.690,17	\$ 2.774,70	\$ 2.859,23	\$ 2.943,76	\$ 3.028,29	\$ 3.112,82
<b>VPN Riesgo base</b>	<b>\$ 17.789,20</b>										

### 6.3.4 VPN con proyecto

**Descripción:** La tabla 16 muestra el Valor presente neto del riesgo con el proyecto, por lo tanto la mayoría de los costos están asociados a la inversión inicial y los costos de mantenimiento bajan sustancialmente.

**TABLA 16.** VPN con proyecto.

<b>RIESGO CON PROYECTO</b>	Inversiones en KUSD										
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Inversión, Pérdidas y Costos con Proyecto	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Diseño (Consultoría)	\$ 170										
Compras (Global para la actividad)	\$ 1.340	\$ 0									
Montaje (Global para la actividad)	\$ 0	\$ 205									
Interventoría	\$ 101	\$ 101									
AIU	\$ 0	\$ 43									
Bruto (Global para la actividad)	\$ 1.852	\$ 402	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Costo inicial de compra ( Inversión inicial)	\$ 2.215										
Costos de mantenimiento	\$ 112	\$ 0	\$ 0	\$ 35	\$ 36	\$ 38	\$ 40	\$ 42	\$ 44	\$ 46	\$ 49
Costos de operación	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Costos de disposición	\$ 0,00	\$ 0,00									
Costos de parada	\$ 0,00	\$ 0,00									
Costos ambientales	\$ 0,00	\$ 0,00									
Otros Costos	\$ 0,00	\$ 0,00									
Pérdidas por disponibilidad y confiabilidad	\$ 4.227	\$ 4.227	\$ 4.227	\$ 4.227	\$ 4.227	\$ 4.227	\$ 4.227	\$ 4.227	\$ 4.227	\$ 4.227	\$ 4.227
Pérdidas por infraestructura											
Pérdidas por energía											
Otras pérdidas											
	\$ 4.227	\$ 4.227	\$ 4.227	\$ 4.227	\$ 4.227	\$ 4.227	\$ 4.227	\$ 4.227	\$ 4.227	\$ 4.227	\$ 4.227
Máxima probabilidad de ocurrencia	50%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%
Pérdidas Brutas (por equipo y falla)	\$ 2.113	\$ 22	\$ 22	\$ 22	\$ 22	\$ 22	\$ 22	\$ 22	\$ 22	\$ 22	\$ 22
FLUJO DE CAJA	\$ 4.078	\$ 424	\$ 22	\$ 56	\$ 58	\$ 60	\$ 62	\$ 64	\$ 66	\$ 68	\$ 70
<b>VPN del Riesgo con proyecto</b>	<b>\$4.733,16</b>										

## 6.4 RELACIÓN BENEFICIO COSTO

**Descripción:** Las tablas siguientes muestran el análisis de la relación Beneficio/costo

$$\text{Relacion Beneficio/Costo} = \frac{17.789 - 4.733}{2.215} = 5,90$$

**TABLA 17.** Análisis Beneficio/Costo.

Riesgo Base	17.789		
Riesgo Alternativa (KUSD)	4.733		
VPN Inversión Alternativa (KUSD)	2.215		
VPN Costos de O&M (KUSD)	279		
<b>Relación Beneficio/Costo</b>	<b>5,90</b>		
<b>Análisis de Sensibilidad +</b>	<b>3,93</b>	50%	
<b>Análisis de Sensibilidad -</b>	<b>9,07</b>	-35%	
<b>Análisis de Sensibilidad Crítico</b>	<b>4,90</b>		

**Descripción:** La tabla 18 muestra el análisis incremental, relación entre el riesgo base y el riesgo con proyecto, donde se grafica el flujo de caja para desde el año 0 hasta el final del proyecto.

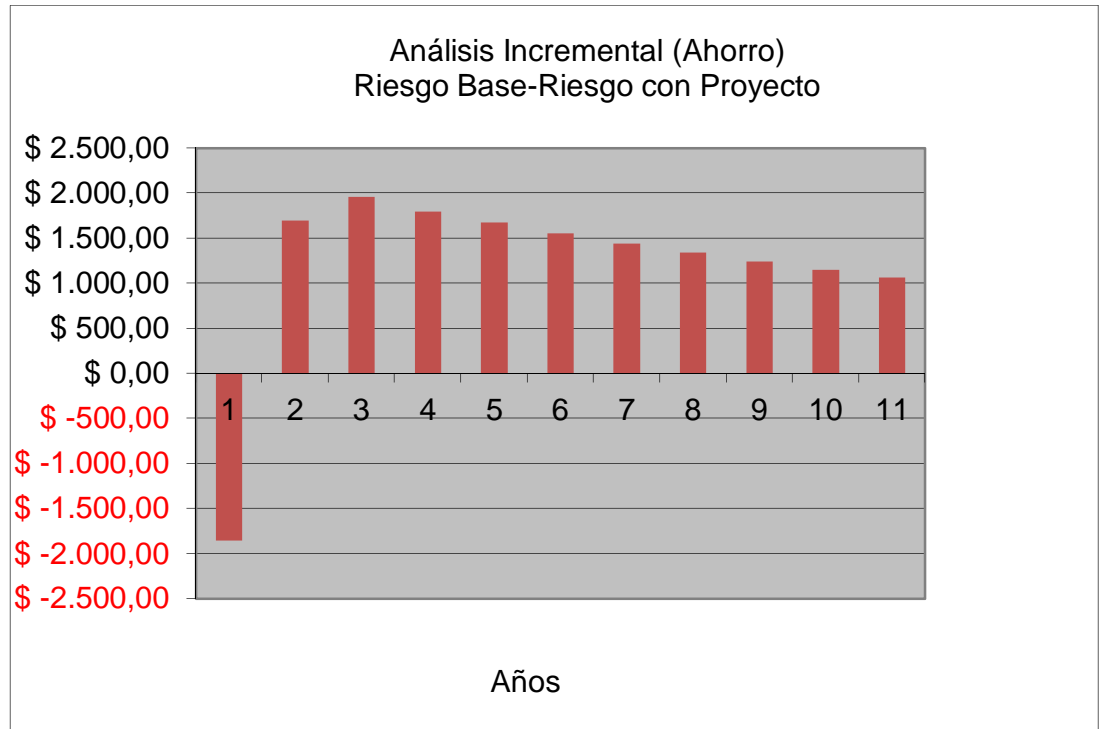
**TABLA 18.** Análisis incremental.

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Riesgo base	\$ 2.225,25	\$ 2.079,01	\$ 1.974,02	\$ 1.838,44	\$ 1.710,24	\$ 1.589,31	\$ 1.475,47	\$ 1.368,52	\$ 1.268,21	\$ 1.174,28	\$ 1.086,46
Riesgo con proyecto	\$ 4.077,62	\$ 381,63	\$ 17,46	\$ 40,93	\$ 37,97	\$ 35,25	\$ 32,74	\$ 30,43	\$ 28,29	\$ 26,32	\$ 24,50
Análisis incremental	\$ - 1.852,37	\$ 1.697,37	\$ 1.956,56	\$ 1.797,51	\$ 1.672,27	\$ 1.554,06	\$ 1.442,73	\$ 1.338,09	\$ 1.239,91	\$ 1.147,96	\$ 1.061,96



## 6.5 ANÁLISIS INCREMENTAL

FIGURA 30. Análisis incremental.



## 7. CONCLUSIONES

- Mediante esta actualización se garantiza la mantenibilidad y suministro de repuestos para los equipos del compresor de gases húmedos FL-C.2601, por un tiempo de vida útil de 10 años.
- Con la implementación de este proyecto podemos garantizar el control y salvaguarda de los equipos de la turbo maquinaria, incluyendo la seguridad a las personas, el ambiente y los activos de la empresa, incorporando las mejores prácticas aplicables para gobernadores de equipos rotativos mayores.
- Aplicando la integración de las diversas funciones de control y protección en una sola plataforma se podrá alcanzar la disponibilidad establecida para el equipo, la cual está en el orden de 99,950%.
- Con el desarrollo de este proyecto podremos garantizar la disponibilidad y confiabilidad del sistema protección, control y monitoreo en hardware y software, disminuyendo el riesgo por paradas no programadas en la unidad de Cracking de GRC.
- La relación beneficio costo para este proyecto es de 5,90, lo que quiere decir que es muy atractiva para el negocio
- Se cumple con las normas aplicables para equipos de control de turbo maquinaria incluidos los estándares de ingeniería de ECOPETROL S.A e internacionales como API 670 y ANSI/ISA-84.00.01.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

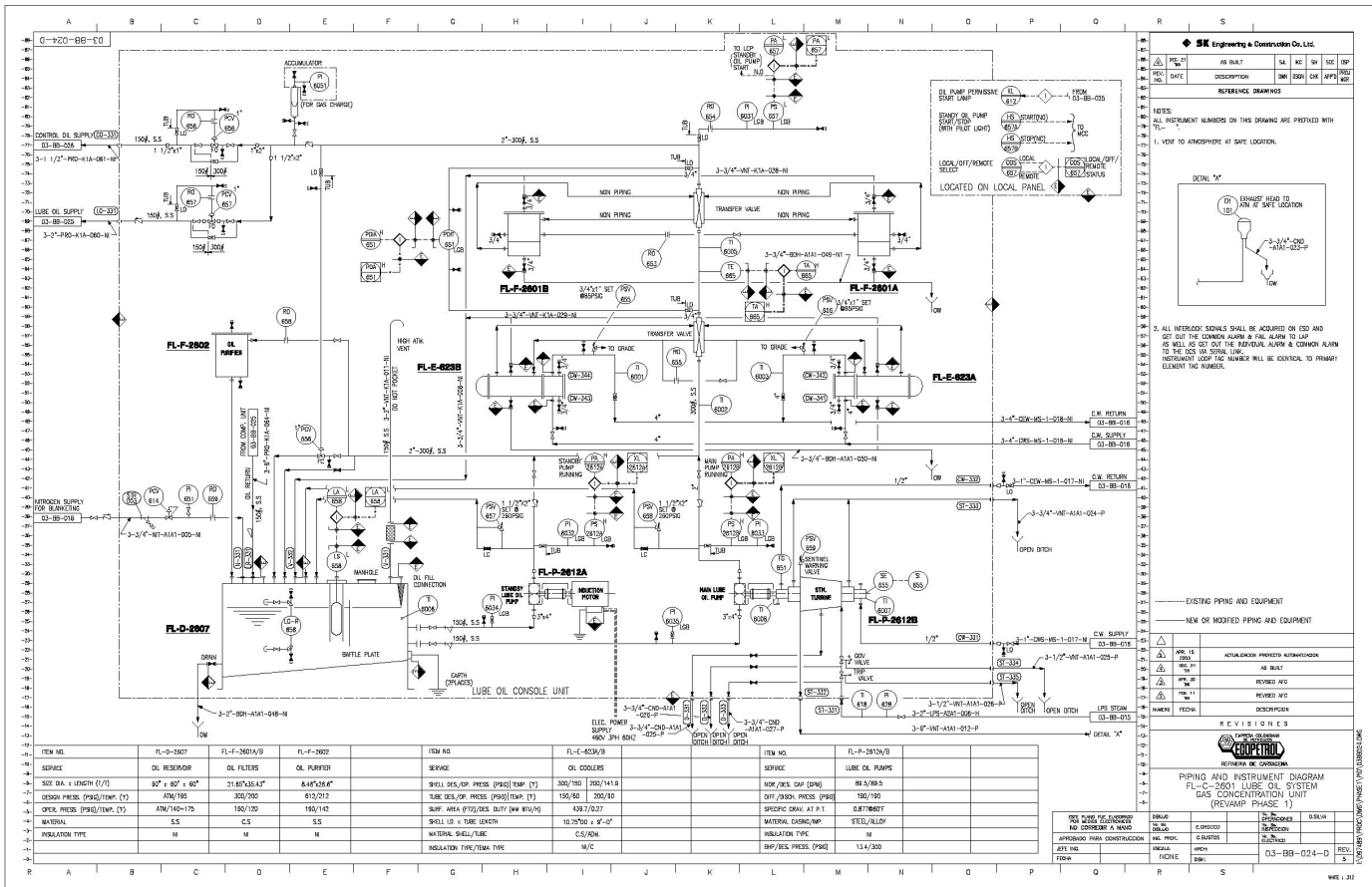
[1] API. Machinery Protection Systems. API STANDARD 670 FOURTH EDITION, DECEMBER 2000.

[2] ECOPETROL. ECP-DPY-M-004. Manual para la implementación de prácticas de incremento de valor en proyectos. 2011

[3] Manual de entrenamiento del control Antisurge de CCC (COMPRESSOR CONTROL CORPORATION).

[4] Propuesta técnica N 12-00000948 Invensys System LA Colombia.

# ANEXO 1. Piping and instrument diagram FL-C-2601 Steam Turbine System Gas concentration Unit.



## ANEXO 2. Ciclo de vida S5-SIEMENS

SIEMENS

**Product Lifecycle States:** Usually, spare parts or repairs for most of our products and systems are provided over a period of 10 years after phase-out announcement

### Phase-out

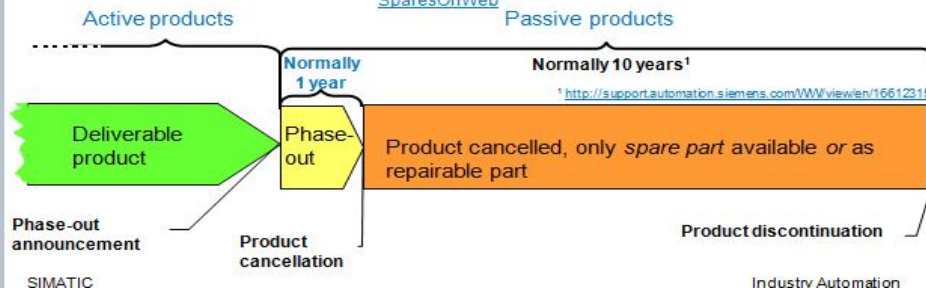
- Newsletter Update announces the planned phase-out
- *New part* not actively marketed any longer
- Start of the 10-year spare parts or repair obligation
- Remains regularly orderable, production continues *until product cancellation*, after as long as it is economical as *spare part*

### Product cancelled

- Upon the cancellation, a notice is given that the products will from now on only be available as spare parts (replacement of defective components) *or only be repaired*
- Spare parts are generated mainly through the repair of defective components/devices
- More Information regarding lifecycle milestones see [SparesOnWeb](#)

### Product discontinued

- Newsletter Update announces that the product has been discontinued
- Removed from the catalog
- Production ceases
- End of the technical support and consultation



## ANEXO 3. Ciclo de vida BENTLY NEVADA 3000

### GE Energy

#### Product Life Cycle Support Notice

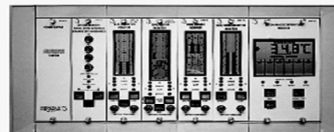
Bently Nevada\* Asset Condition Monitoring

---

#### 3300 Monitoring System transitioning to Phase 4

30 July 2010

*Our Product Life Cycle Management Program is intended to help you proactively plan the ongoing operation and maintenance of your Bently Nevada products by providing information on the availability of parts and support. Notices such as this are issued at life cycle milestones to inform you of changes and to provide recommendations on how to move forward.*



#### Contents

Section	Page
Status Details	1
Affected Parts List	2
Product Support	2
Specific Recommendations	2

#### Status Details

This notice is to inform you that the 3300 series monitoring system will be transitioning to life cycle Phase 4 as of **30 January 2011**. Previous communications were showing estimates of July 2010. We are pleased to extend that date based on the availability of some additional components.

- **Phase 4: No Spares, Limited Support**

New spare parts are no longer available and support is limited to repair, exchange, or remanufacture (subject to component availability). Notice of last date to repair is typically issued several months<sup>1</sup> before transitioning to Phase 5.