

**DIAGNÓSTICO DE LA CONFIABILIDAD ELÉCTRICA Y DE  
COMUNICACIONES DEL SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO ABB  
ADVANT DE UNA REFINERÍA**

MARTICELA HERRERA VILLA

CALIXTO SÁENZ ROA

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y MECATRÓNICA  
CARTAGENA DE INDIAS**

**2003**

**DIAGNÓSTICO DE LA CONFIABILIDAD ELÉCTRICA Y DE  
COMUNICACIONES DEL SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO ABB  
ADVANT DE UNA REFINERÍA**

MARTICELA HERRERA VILLA

CALIXTO SÁENZ ROA

Monografía, presentada para optar al título de

Ingeniero Electrónico

Ingeniero Electricista.

Director

JAIME T. ARCILA IRIARTE

INGENIERO ELECTRICISTA

MSC. CIENCIAS COMPUTACIONALES

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y MECATRÓNICA  
CARTAGENA DE INDIAS**

**2003**

Cartagena de indias, mayo 28 de 2003

Señores:

**Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar**  
**Facultad De Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Mecatrónica**  
**Atn. Comité de Evaluación de Proyectos**

La ciudad

Apreciados señores:

Por medio de la presente me permito informarles que he aceptado ser el director del proyecto titulado “**Diagnóstico de la confiabilidad eléctrica y de comunicaciones del sistema de control distribuido ABB Advant de una refinería**”, que será presentado por los estudiantes Calixto Sáenz Roa y Marticela Herrera Villa.

El presente proyecto es un ejercicio estrictamente académico, el cual fue basado de un escenario industrial que se asemeja a la arquitectura existente en una Empresa Industrial cuyo nombre no se menciona por razones de confidencialidad.

Al respecto me permito comunicar que he dirigido el citado proyecto, el considero de gran importancia y utilidad.

Atentamente,

---

**Jaime Tadeo Arcila Iriarte**  
**Ing. Electricista**  
**MSC. Ciencias Computacionales**  
**Director**

Cartagena de indias, Mayo 28 de 2003

Señores:

**COMITÉ DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE GRADO**

Facultad de ingenierías

Programa de Eléctrica, Electrónica Y Mecatrónica

Corporación Universitaria Tecnológica De Bolivar

La ciudad

Distinguidos señores:

Por medio de la presente hago entrega formal de la monografía titulada  
**“DIAGNÓSTICO DE LA CONFIABILIDAD ELÉCTRICA Y DE  
COMUNICACIONES DEL SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO ABB  
ADVANT DE UNA REFINERÍA”**, como requisito para optar por el título de  
ingeniero electrónico.

En espera que éste cumpla con las normas pertinentes establecidas por la  
institución, me despido.

Cordialmente

---

**Marticela Herrera Villa**  
**COD 9804015**

Cartagena de indias, Mayo 28 de 2003

Señores:

**COMITÉ DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE GRADO**

Facultad de ingenierías

Programa de Eléctrica, Electrónica Y Mecatrónica

Corporación Universitaria Tecnológica De Bolivar

La ciudad

Distinguidos señores:

Por medio de la presente hago entrega formal de la monografía titulada  
**“DIAGNÓSTICO DE LA CONFIABILIDAD ELÉCTRICA Y DE  
COMUNICACIONES DEL SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO ABB  
ADVANT DE UNA REFINERÍA”**, como requisito para optar por el título de  
ingeniero electricista.

En espera que éste cumpla con las normas pertinentes establecidas por la  
institución, me despido.

Cordialmente

---

**Calixto Sáenz Roa**  
**COD 9804037**

Nota de aceptación

---

---

---

---

Firma de presidente del jurado

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

---

Cartagena de Indias, 30 de Mayo de 2003

*A DIOS por darme siempre la luz para hacer su voluntad y por darme la fuerza para seguir adelante.*

*A mis padres Benjamín y Vilma por brindarme todo su amor, dedicación, y hacerme crecer cada día en lo espiritual, por creer en mí, apoyándome en cada una de mis decisiones y por todos sus esfuerzos y sacrificios.*

*A mis hermanas Lucy, Vilma, Nathy, y a mi hermano Benjamín por brindarme toda su confianza y apoyo incondicional.*

*A mi novio Mao por su amor, dedicación, comprensión y confianza, y a mi suegra Myriam por ser parte de mi crecimiento.*

*A mi compañero Cali por darme la oportunidad de trabajar a su lado y enseñarme a crecer intelectualmente.*

*A todos mis amigos y amigas, en especial Valdé, Ronaldá, Luisca, Vane, Iván, Ángel, Mane y Gladys, por su verdadera, sincera y extraordinaria amistad y por estar siempre cuando los necesito.*

*Y a todos GRACIAS por hacer parte de este sueño.*

*A DIOS por brindarme  
protección y amor en  
cada momento de mi  
vida. A mis padres  
Calixto e Iris por  
apoyarme siempre y  
esforzarse en darme lo  
mejor. A mi hermana  
Alina por su confianza y  
apoyo incondicional. A  
mi amiga Marty por su  
cariño y amistad. A mis  
familiares y amigos por  
su ayuda desinteresada  
en especial Dina, Ruth,  
Ade, Vidal, Manuel y  
Ángel.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos a:

**JAIME T. ARCILA IRIARTE**, Ingeniero Electricista y director de la Investigación, por sus valiosas orientaciones y el tiempo dedicado a esta monografía.

Así como a todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron con el desarrollo y terminación del mismo.

## CONTENIDO

	<b>Pag.</b>
INTRODUCCIÓN	16
1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE COMUNICACIONES Y EL SISTEMA ELÉCTRICO	18
1.1 ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO ABB ADVANT DE LA REFINERÍA DE CARTAGENA	18
1.2 SISTEMA DE COMUNICACIONES DE LA RED DE CONTROL	22
1.3 SISTEMA ELÉCTRICO	25
1.3.1 Cuarto de Control Central	25
1.3.2 Cuartos de Control Satélites	26
2 DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y DE COMUNICACIONES	29
2.1 ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA ELÉCTRICO CUARTO DE CONTROL CENTRAL	29
2.2 CUARTOS DE CONTROL SATÉLITE SIH1	45
2.3 CUARTOS DE CONTROL SATÉLITE SIH2	54
2.4 CUARTOS DE CONTROL SATÉLITE SIH3	61
2.5 ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA DE COMUNICACIONES.	67
2.5.1 Área de Crudo.	69
2.5.1 Área de Cracking.	77

2.5.2	Área de Elementos Externos	88
3	ANÁLISIS POR ÁRBOL DE FALLA	98
3.1	ORÍGENES DEL FTA	98
3.2	DEFINICIONES BÁSICAS	98
3.2.1	Falla.	99
3.2.2	Falta.	99
3.2.3	Avería.	100
3.2.3.1	Averías Primarias ó Básicas.	100
3.2.3.2	Averías Secundarias.	100
3.3	DEFINICIÓN DE ÁRBOL DE FALLAS	101
3.4	CAMPO DE APLICACIÓN DE FTA	102
3.5	PREPARACIÓN PARA FTA	104
3.6	PASOS PARA EL ANÁLISIS POR ÁRBOL DE FALLAS	105
3.7	REGLAS Y CONVENCIONES	106
3.8	IDENTIFICACIÓN DE LOS EVENTOS TOPES	107
3.9	ANÁLISIS “¿QUÉ PASA SI?”	108
3.10	PROCESO DE AGREGAR CAUSAS AL ÁRBOL	109
3.11	PRUEBA LÓGICA EN EL DOMINIO DEL TIEMPO	111
3.12	ATRIBUCIONES Y LIMITACIONES	111
3.13	RESULTADOS DEL ANÁLISIS POR ÁRBOL DE FALLAS	112
3.14	HERRAMIENTAS UTILIZADAS PARA EL ANÁLISIS POR ÁRBOL DE FALLAS	114
3.14.1.	CARE®FTA.	114
3.14.2.	Formal-FTA.	116
3.14.3.	FaultreEASE.	118

3.14.4 Relex Fault Tree/Event Tree.	119
3.15 DESARROLLO DEL ÁRBOL DE FALLA	120
3.15.1 Construcción de la lógica.	120
3.16 DISEÑO COMPLETO DEL ÁRBOL DE FALLAS	124
3.17 SEGUIMIENTO DEL ANÁLISIS ANTE LA FALLA DE UN DISPOSITIVO DEL SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO ABB ADVANT	125
3.18 PRUEBA LÓGICA DEL ÁRBOL DE FALLO	130
4 CONCLUSIONES	134
RECOMENDACIONES	136
BIBLIOGRAFÍA	139
ANEXOS	140

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pag.</b>
<b>Figura 1.1</b> Áreas operativas de una refinería	19
<b>Figura 1.2</b> Grupo de consolas No. 1	23
<b>Figura 1.3.</b> Sistema eléctrico general del CCB	26
<b>Figura 1.4.</b> Sistema general eléctrico de SIHs	27
<b>Figura 1.5.</b> Arquitectura general del cuarto de control satélite SIH	28
<b>Figura 2.1.</b> Sistema eléctrico general del cuarto de control central	30
<b>Figura 2.2.</b> Subestación U300	31
<b>Figura 2.3.</b> Barraje planta de generación	32
<b>Figura 2.4.</b> Tablero de control y protecciones del generador	32
<b>Figura 2.5.</b> Tablero de distribución ARP-P-TDP-01	33
<b>Figura 2.6.</b> Alimentación del tablero ARP-P-TDP-01	34
<b>Figura 2.7.</b> Tablero de distribución ARP-P-UPS-01	35
<b>Figura 2.8.</b> Arreglo de la UPS1 y UPS2	36
<b>Figura 2.9.</b> Tablero de distribución ARP-P-TUPS-01	37
<b>Figura 2.10.</b> Alimentación del tablero ARP-P-TDP-02	39
<b>Figura 2.11.</b> Tipos de funcionamiento de las UPSs	41
<b>Figura 2.12.</b> Diagrama general del SIH 1	46
<b>Figura 2.13.</b> Tablero de distribución PS-P-TUPS-01A	51
<b>Figura 2.14.</b> Tablero de distribución PS-P-TUPS-01B	52

<b>Figura 2.15.</b> Tablero de distribución PS-P-TUPS-02A	53
<b>Figura 2.16.</b> Tablero de distribución PS-P-TUPS-02B	54
<b>Figura 2.17 .</b> Diagrama general del SIH 2	55
<b>Figura 2.18 .</b> Diagrama general del SIH 3	62
<b>Figura 2.19.</b> Cuarto satélite de crudo y viscorreductora	69
<b>Figura 2.20.</b> Cuarto satélite de crudo, viscorreductora y tratamiento	71
<b>Figura 2.21.</b> Cuarto satélite de merox y tratamiento	72
<b>Figura 2.22.</b> Área general de crudo	73
<b>Figura 2.23.</b> Grupo de consolas (aplicación y de operador)	75
<b>Figura 2.24.</b> Arquitectura del sistema de control del área de crudo	76
<b>Figura 2.25.</b> Cuarto satélite de cracking y poly LCB #2	78
<b>Figura 2.26.</b> Cuarto satélite de cracking y poly	80
<b>Figura 2.27.</b> Cuarto satélite de azufre LCB#3	81
<b>Figura 2.28.</b> Cuarto satélite de azufre LCB#3	83
<b>Figura 2.29.</b> TAE#2	83
<b>Figura 2.30.</b> Área general del área de cracking	84
<b>Figura 2.31.</b> Grupo de consolas (aplicación y de operador) de cracking	86
<b>Figura 2.32.</b> Arquitectura del sistema de control del área de cracking	87
<b>Figura 2.33.</b> Cuarto satélite de poliducto LCB #4	88
<b>Figura 2.34.</b> Cuarto satélite OFF – SITES	90
<b>Figura 2.35.</b> Cuarto satélite TNP	92
<b>Figura 2.36.</b> Cuarto satélite TNP LCB #5	93
<b>Figura 2.37.</b> Grupo de consolas (aplicación y de operador) del área de elementos externos	95

<b>Figura 2.38.</b> Arquitectura del sistema de control del área de elementos externos	97
<b>Figura 3.1.</b> Pasos para la construcción del árbol	105
<b>Figura 3.2.</b> Reglas y convenciones para el diseño del FTA	106
<b>Figura 3.3.</b> Reglas de los iniciadores	107
<b>Figura 3.4.</b> Reglas para agregar causas al árbol	110
<b>Figura 3.5.</b> Prueba lógica del FTA	111
<b>Figura 3.6</b> Plataforma del software CARE	115
<b>Figura 3.7</b> Plataforma del software Formal-FTA	117
<b>Figura 3.8.</b> Plataforma del software FaultrEASE.	118
<b>Figura 3.9</b> Plataforma del software Relex Fault Tree/Event Tree	119
<b>Figura 3.10</b> Construcción lógica de los dos primeros niveles	121
<b>Figura 3.11</b> Construcción lógica del segundo y tercer nivel	123
<b>Figura 3.12</b> Análisis del árbol de fallas ante la falla del HUB StarCoupler	127
<b>Figura 3.13</b> Sección I del análisis por árbol de fallas	128
<b>Figura 3.14</b> Sección S del análisis por árbol de fallas	129
<b>Figura 3.15</b> Prueba lógica del árbol de fallas	131
<b>Figura 3.16</b> Prueba lógica del árbol de fallas sección I	132
<b>Figura 3.17</b> Prueba lógica del árbol de fallas sección S	133

## TABLA DE ANEXOS

	<b>Pag.</b>
<b>Anexo A.</b> ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDOABB ADVANT.	140
<b>Anexo B.</b> SÍMBOLOS LÓGICOS UTILIZADOS EN EL FTA.	141
<b>Anexo C.</b> ÁRBOL DE FALLAS DE LA PLANTA CRUDO	142
<b>Anexo D.</b> LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS	143
<b>Anexo E.</b> OTROS SOFTWARES PARA REALIZAR ANÁLISIS POR ÁRBOL DE FALLAS	145

## RESUMEN

El presente documento consiste en desarrollar un diagnóstico de la confiabilidad del sistema de control distribuido ABB Advant MasterBus 300 de la refinería, mediante un análisis por árbol de fallo que ilustre gráficamente las relaciones, dependencias y combinaciones de fallas que provocan la pérdida del control e inestabilidad de la planta, por parte de los equipos que conforman dicho sistema.

El documento incluye una breve descripción de la arquitectura del sistema de control distribuido ABB Advant referido al suministro ininterrumpido de energía eléctrica y el sistema de comunicaciones, seguido por su respectivo diagnóstico más detallado. Es importante anotar que por razones de seguridad, se realizaron algunas variaciones o reformas a la arquitectura, nombres y elementos que pudiesen comprometer a la refinería, pero sin perder por completo los objetivos académico que se propusieron para el documento.

La estrategia empleada para realizar el análisis del diagnóstico de la confiabilidad del sistema se basó en la teoría, reglas y conceptos propios de la metodología del Análisis por árbol de Fallo aplicada en sistemas industriales, con el fin de ofrecer ciertas recomendaciones que permitan mejorar la confiabilidad de dicho sistema.

Por encima de todas las consideraciones, el aporte que brinda este documento

radica en la base académica y analítica desarrollada para proporcionar mayor seguridad, contribuir con la productividad y asegurar un funcionamiento tolerante a fallas en los elementos encargados principalmente del suministro de potencia y la intercomunicación de la red de control de cualquier planta e industria.

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas de control distribuidos están presentes en la mayoría de las industrias; incluyendo dentro de ellas la industria petrolera, las cuales requieren ejercer acciones de control y supervisión precisas y constantes de la planta durante el tiempo que se extiende el determinado proceso. Dichas actividades, son cada vez más complejas y requieren de mayor confiabilidad, por lo que un error puede conducir a situaciones catastróficas, no sólo en la producción de la industria, sino incluso con peligro para vidas humanas. Por eso, las capacidades de tolerancia a fallas de este tipo de sistemas son críticas para su éxito a lo largo de su ciclo de vida. Si bien las estrategias de tolerancia a fallas son desarrolladas desde hace tiempo, su orientación principal fueron los sistemas distribuidos.

Existen distintas características de los sistemas de tiempo real, las cuales deben ser convertidas para hacerlas tolerantes a fallas, por lo cual se requiere de la utilización de diversas técnicas o metodologías que permitan hacer de la tolerancia a fallos una herramienta que brinde productividad, calidad, seguridad y ante todo confiabilidad al sistema.

De esta manera, se requiere realizar un diagnóstico de la confiabilidad del sistema de control distribuido ABB Advant, enfatizando en el suministro ininterrumpido de potencia y en el sistema de comunicación Master Bus 300, mediante un estudio y análisis del mismo.

Igualmente, se pretende desarrollar el Árbol de Fallas del sistema de control ABB Advant, con el fin de poder identificar, evaluar y controlar las probabilidades de fallas en el suministro de potencia y comunicación de dicha Refinería, ó dicho de otra forma, reducir la posibilidad de ocurrencia de los eventos topes (o de riesgo) al determinar las fallas y errores que pudieran causarlo, como se interactúan y como, la probabilidad de cada uno de ellos, determinan la probabilidad de ocurrencia de dichos eventos, permitiendo igualmente analizar los efectos de cambios o adición de componentes del sistema.

Así mismo, se procura lograr la apropiación de la tecnología del sistema de control distribuido. Por lo tanto, es importante conocer el funcionamiento de dichos equipos para prever situaciones de fallas, lo cual se puede plasmar a través de un documento que identifique, analice y brinde recomendaciones sobre dichas fallas que alteran el funcionamiento normal de la planta.

# **1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE COMUNICACIONES Y EL SISTEMA ELÉCTRICO**

## **1.1 ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO ABB ADVANT DE UNA REFINERÍA**

En la actualidad, el sistema de control distribuido de la refinería está basado en la tecnología ABB Advant implementado en un nuevo proyecto de automatización. La refinería en general consta de cuatro áreas operativas: Crudo, Cracking, Elementos Externos y Servicios Industriales (figura 1.1.); de las cuales, las tres primeras están bajo el Sistema de Control Distribuido ABB Advant. Sin embargo, cabe anotar que la última área no se ha implementado por completo.

Estas áreas se dividen así:

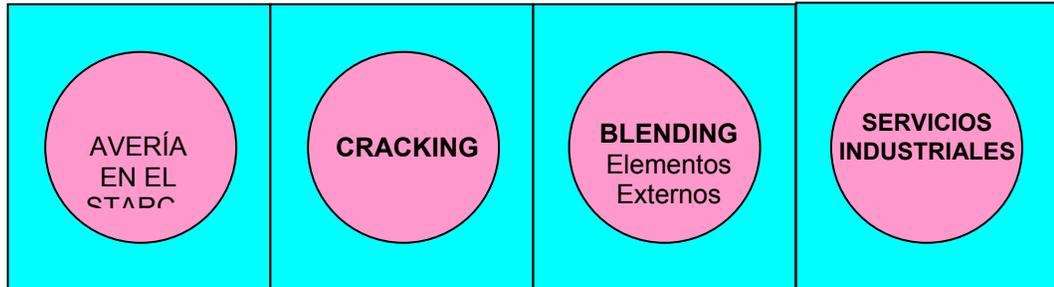
1. Área de Crudo:

ض Cuarto Satélite de Crudo y Viscorreductora (Satélite 1).

ض Cuarto Satélite de Merox y Tratamiento (Satélite 1B).

ض Cuarto de Aplicaciones y Cuarto de Control Central.

**Figura 1.1** Áreas operativas de una refinería



2. Área de Cracking:

ض Cuarto Satélite de FCCU y POLY (Satélite 2).

ض Cuarto Satélite de Azufre y Asfalto (Satélite 3).

ض Cuarto de Aplicaciones y Cuarto de Control Central.

3. Área de Elementos Externos:

ض Cuarto Satélite de Elementos Externos de Refinería (Satélite 4).

ض Cuarto Satélite de Elementos Externos de TNP (Satélite 5).

ض Cuarto de Aplicaciones y Cuarto de Control Central.

La red de control de la refinería es una red LAN MasterBus 300 que permite interconectar todos los nodos que pertenecen a su Sistema de Control Distribuido.

Dicha arquitectura consiste de tres redes de control independientes y una red de planta; además cuenta con un total de seis SIHs (Satellite Instrument House) o cuartos de control satélites que poseen en forma general los siguientes dispositivos:

1. Fuente dual para la alimentación de los dispositivos.
2. Dos UPSs para el suministro ininterrumpido de energía eléctrica de los controladores, módulos de I/O, y Marshalling Box conectadas en su respectivo tablero de distribución.
3. Tarjetas I/O (S100) que toman las señales provenientes de los transmisores del proceso.
4. Controladores Advant (AC 450).
5. Una estación de operación en la cual se puede monitorear la planta.

6. HUBs StarCoupler redundantes de red, con tarjetas que permiten la comunicación con los nodos del controlador y estación de operación y a su vez, por medio de tarjetas de fibra óptica, comunican en forma remota con el Hub de Cuarto de Control Central (CCB).

Por su parte en el Cuarto de Control Central se encuentran:

ض Tres UPSs con sus respectivos tableros de distribución, de la cuales dos de ellas permiten el suministro ininterrumpido de energía a cada uno de los tres grupos de consolas que corresponden a las tres áreas operativas.

ض Tres HUBs redundantes de red MB300E, para cada una de las tres áreas operativas.

ض Tres grupos de consolas, cada uno de los cuales está formado por las estaciones de consola de información, ingeniería y de operación, que permiten supervisar y controlar la información proveniente de cada uno de los cuartos satélites.

ض Una consola de Entrenamiento.

## **1.2 SISTEMA DE COMUNICACIONES DE LA RED DE CONTROL**

La arquitectura de comunicación de la red de control MasterBus 300 se encarga principalmente de mantener, permitir y asegurar el intercambio, cuando así se requiera, de información y datos provenientes de las distintas áreas operativas del proceso hasta los respectivos equipos que requieren analizarla, almacenarla, supervisarla y ejercer control sobre las variables de dicho proceso. Para ello, se cuenta con seis cuartos de control satélites encargados cada uno, de recopilar las señales provenientes de los distintos equipos o instrumentos de medición.

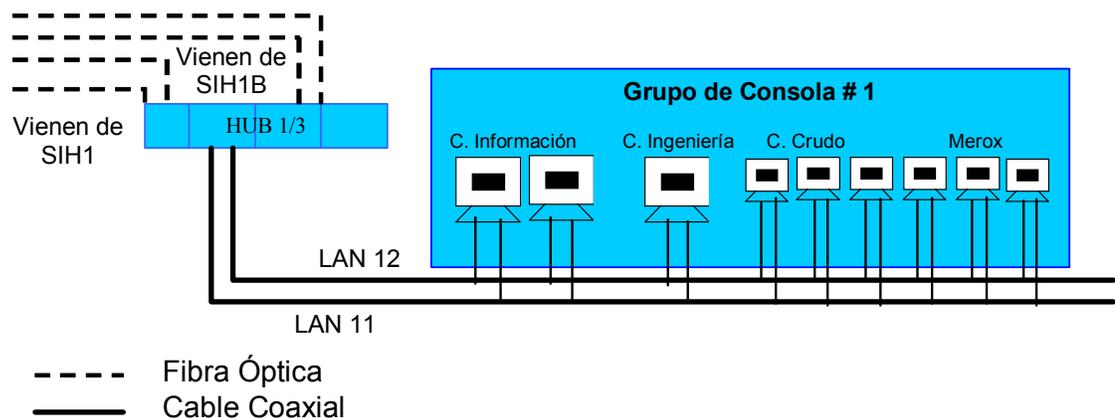
A través de las tarjetas S100, ubicadas en cada uno de los SIHs, se recogen las señales provenientes del proceso y se conduce a los respectivos controladores, comunicándose con cada uno de los controladores AC450 en forma redundante.

Cada uno de los controladores, así como la Estación de Operación presentan comunicación redundante con el HUB StarCoupler, que a su vez se comunica con su correspondiente HUB ubicado en el Cuarto de Control Central y que hace parte de la red de control, permitiendo así que exista disponibilidad de toda la información a la red de control MasterBus 300 proveniente de los Cuartos de Control Satelitales.

Por lo tanto, los SIHs establecen comunicación con la red de control a través de fibra óptica con sus respectivos sistemas de redundancia en el cuarto de control central CCB (Central Control Building), donde se pueden realizar o llevar a cabo todas aquellas funciones de control; tales como monitoreo de la planta, operaciones de órdenes, configuración de la red (agregar nodos), establecimiento de historias con IMS (Estación de Manejo de Información) de ABB, entre otros. Todas estas funciones se llevan a cabo en estaciones independientes.

Así mismo cada HUB ubicado en el cuarto de control conecta las diferentes estaciones que hacen parte del grupo de consola; como se muestra en la figura 1.2.

**Figura 1.2.** Grupo de consolas No. 1



En este caso, el Grupo de Consola #1 formado por la consola de información, ingeniería y de operación Crudo, Viscosreductora, Merox y tratamiento se conecta en forma redundante al HUB MB300E 1/3 que se encuentra en el CCB.

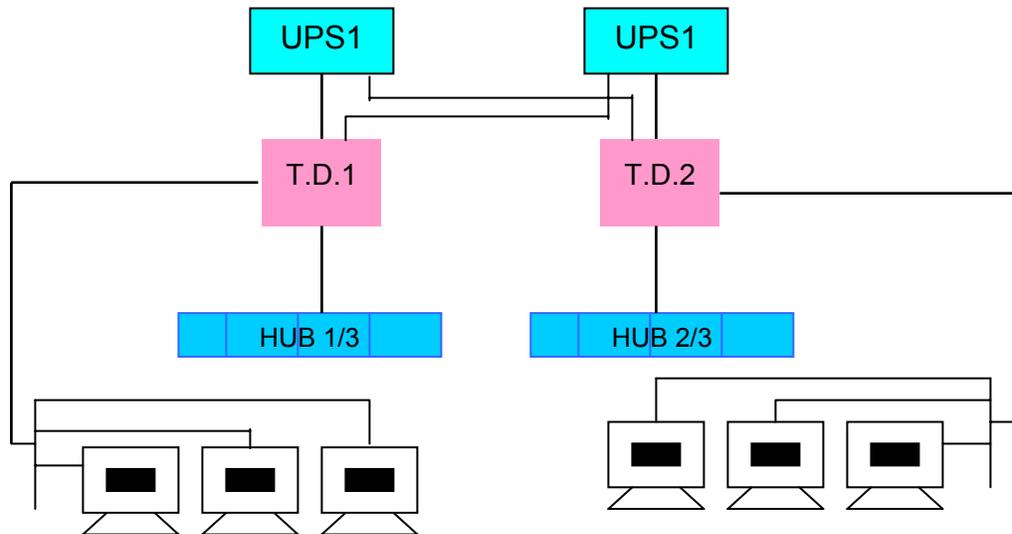
En la figura del anexo A. se muestra la forma en que se encuentra interconectado la red de comunicaciones del sistema de control distribuido ABB Advant de la refinería. En total, como se puede apreciar se dispone de tres HUBs ubicados en el Cuarto de Control Central, seis HUBs StarCoupler; uno ubicado en cada SIH, para la comunicación con su respectivo HUB en el CCB.

### **1.3 EL SISTEMA ELÉCTRICO**

Este sistema, se encarga de proporcionar alimentación a todos los equipos que hacen parte de la Red de Control, a través de Sistemas Ininterrumpidos de Potencia (UPSs) redundantes, debido a la criticidad de sus cargas. De esta manera, tanto el cuarto de control central, como los distintos cuartos de control satélites presentan una distribución determinada con el fin de suministrar de la manera más continua posible alimentación a sus respectivas cargas, tales como estaciones de operación, módulos de I/O, consolas, controladores, entre otras.

**1.3.1 Cuarto de Control Central.** El sistema eléctrico que alimenta las cargas del Cuarto de Control Central se encuentra en forma general, distribuido de la manera como se muestra en la figura 1.3.

**Figura 1.3.** Sistema eléctrico general del CCB



Una Subestación o en su defecto, una planta de generación Stand By (con el fin de suministrar de manera ininterumpida la alimentación a las respectivas cargas) alimenta a un grupo de UPSs; quienes proporcionan distribución a los grupos de consolas de cada área operativa a través de sus respectivos tableros como se muestra en el esquema anterior.

**1.3.2 Cuartos de Control Satélites.** Se encargan del control y supervisión de cada una de sus respectivas áreas operativas; se encuentran divididos principalmente en:

ض Cuarto Eléctrico.

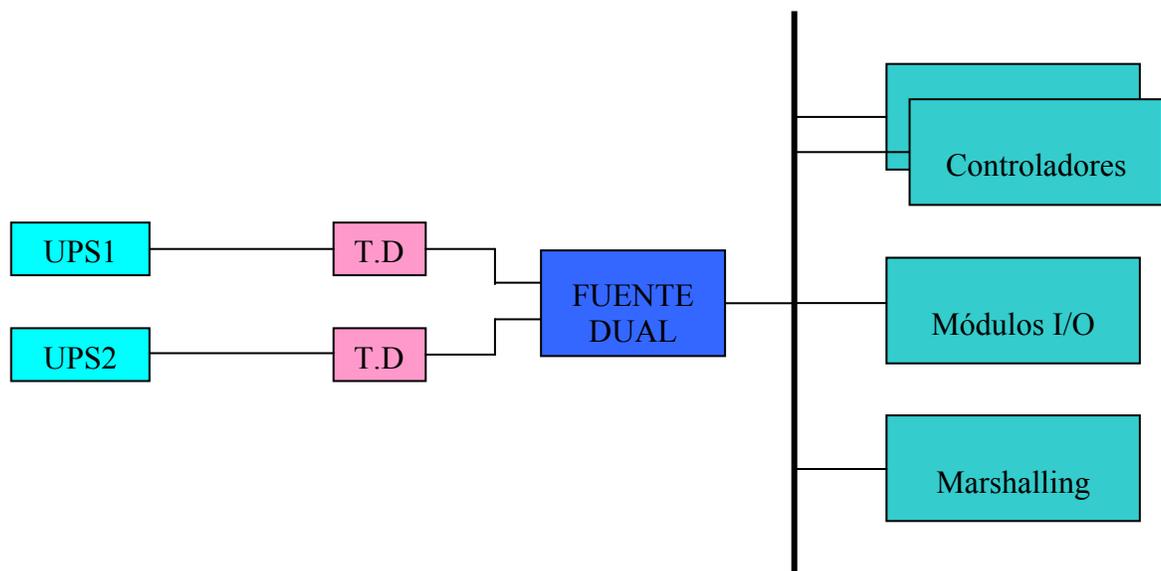
ض Cuarto de Baterías.

ض Cuarto para Aires Acondicionados.

ض Cuarto de Racks para los equipos del DCS y ESD.

El sistema eléctrico para la alimentación de los dispositivos que se encuentran en cada uno de los SIHs; tales como controladores y módulos de I/O, está basado en una fuente dual que posee en caso de falla, un arreglo de seguridad formado por dos UPSs con sus respectivos tableros de distribución (T.D.), como se muestra a continuación en la figura 1.4. La alimentación principal de las UPSs proviene igualmente de la subestación correspondiente a su área operativa.

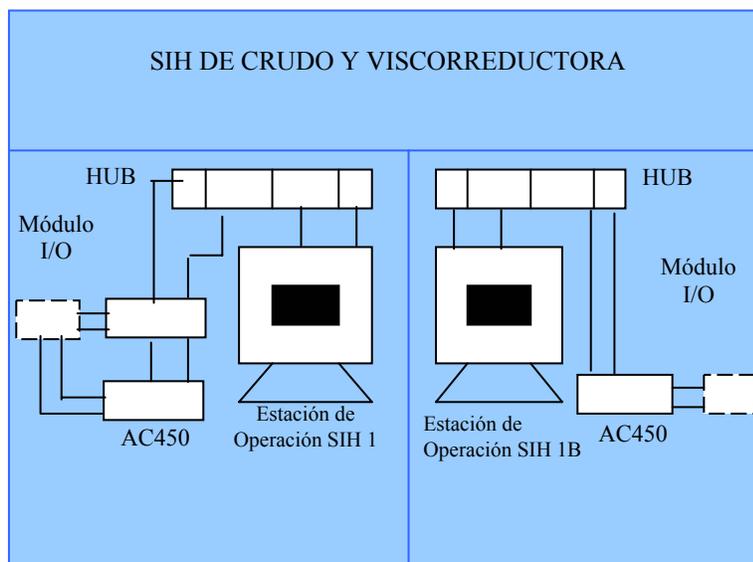
**Figura 1.4.** Sistema general eléctrico de SIHs



En general, los cuartos satélites presentan un sistema de alimentación para sus cargas muy similar a la distribución del Cuarto de Control Central, su principal diferencia radica en la presencia o ausencia de una planta de generación Stand By para la alimentación de las UPSs.

Por su parte, el cuarto de control satélite SIH1 presenta una variación que la diferencia del resto de SIHs, y está relacionada con la alimentación de las UPSs, la cual radica en la presencia de una planta de generación Stand By adicional a la alimentación proveniente de su respectiva subestación, pero a su vez, presenta una división adicional de los tableros principales de distribución de las UPSs para el suministro de potencia de las distintas cargas.

**Figura 1.5.** Arquitectura general del cuarto de control satélite SIH

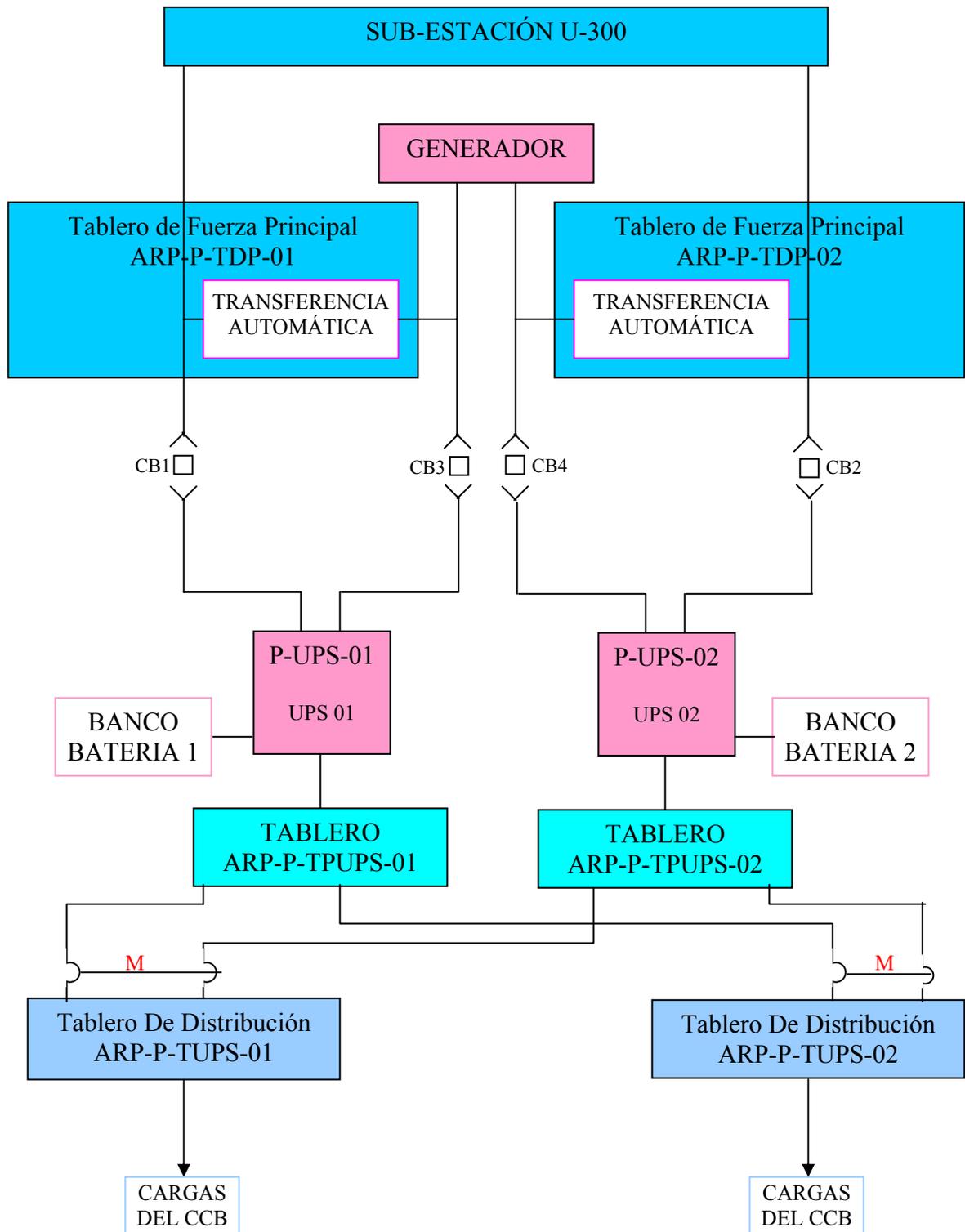


## **2. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y DE COMUNICACIONES**

### **2.1 ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA ELÉCTRICO CUARTO DE CONTROL CENTRAL**

El Cuarto de Control Central presenta en forma general los equipos y acometidas dispuestas de la forma como se muestra en el la figura 2.1.

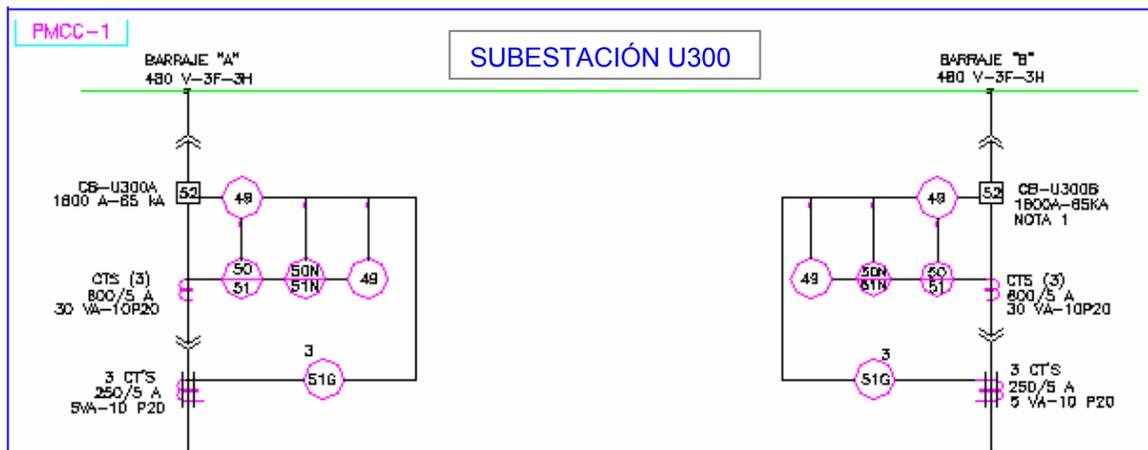
**Figura 2.1.** Sistema eléctrico general del cuarto de control central



El sistema eléctrico que proporciona alimentación al Cuarto de Control Central de una Refinería, está distribuido de la siguiente manera:

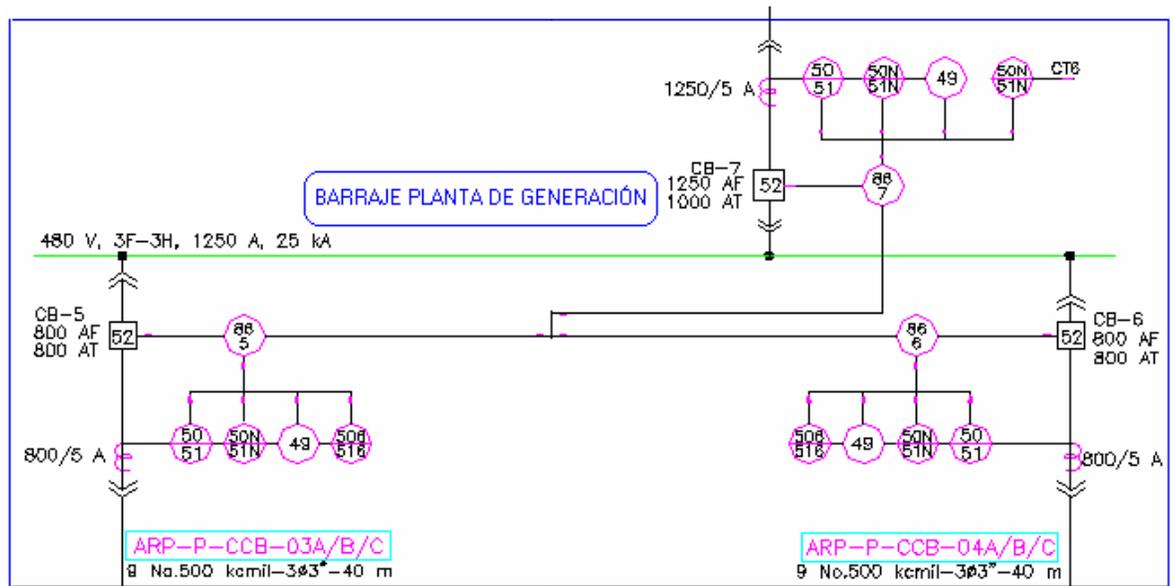
Inicialmente el suministro de potencia proviene de la Subestación U-300 cuyo barraje presenta como características; 480V, 3F (trifásico), 3H (trifilar), de la cual se desprenden dos acometidas cada una de las cuales presenta sus respectivas protecciones de sobrecorriente (instantánea y de tiempo inverso) y sobrevoltaje.

**Figura 2.2** Subestación U300



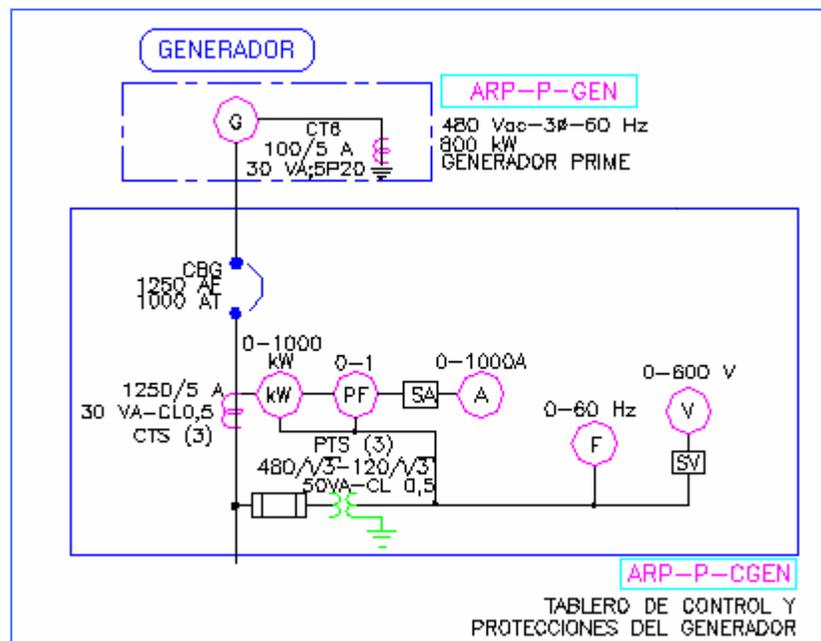
Así mismo, se cuenta con una planta de generación con un generador Stand-By de 800KW, 60 Hz trifásico y sus respectivos tableros de control y protección y tablero de fuerza.

**Figura 2.3.** Barraje planta de generación



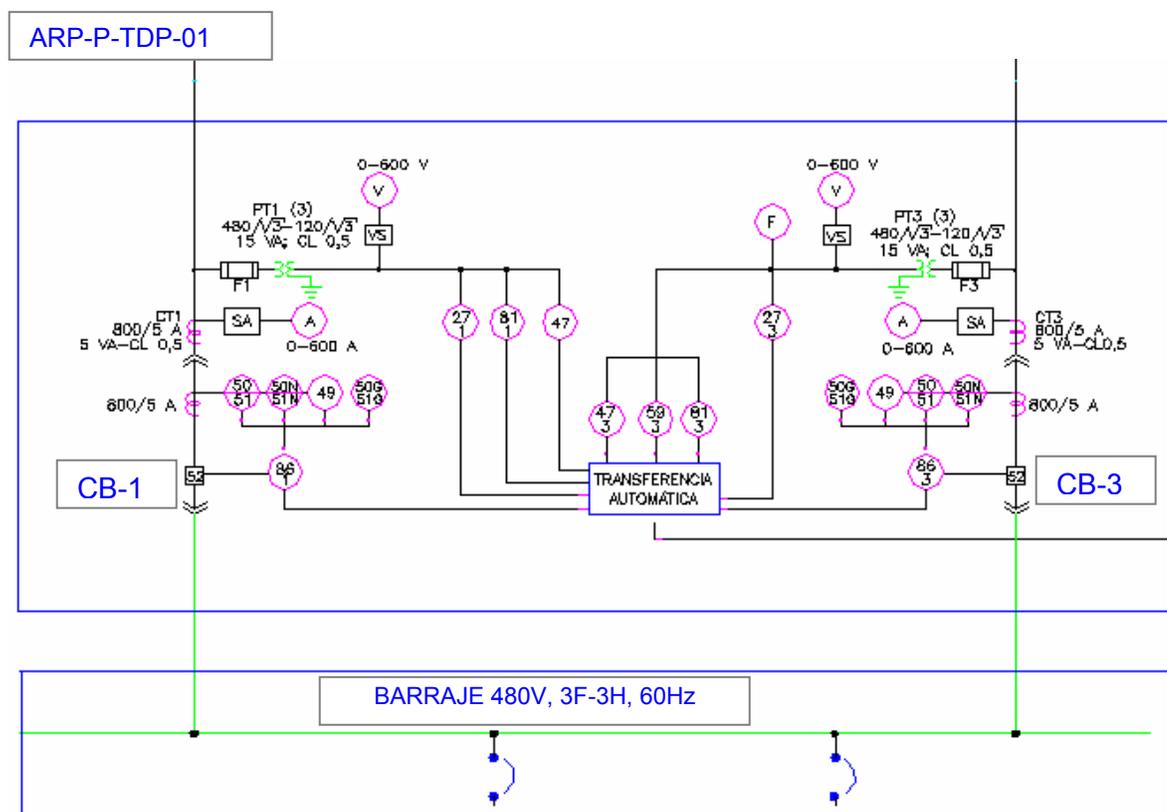
Este tablero de fuerza del generador se caracteriza por tener un barraje de 480V suministrados por el generador antes mencionado.

**Figura 2.4.** Tablero de control y protecciones del generador



Cada una de las acometidas provenientes tanto de la subestación (Dos acometidas), como del tablero de fuerza del generador (Dos acometidas) llegan a un tablero de distribución (ARP-P-TDP-01 ó a ARP-P-TDP-02).

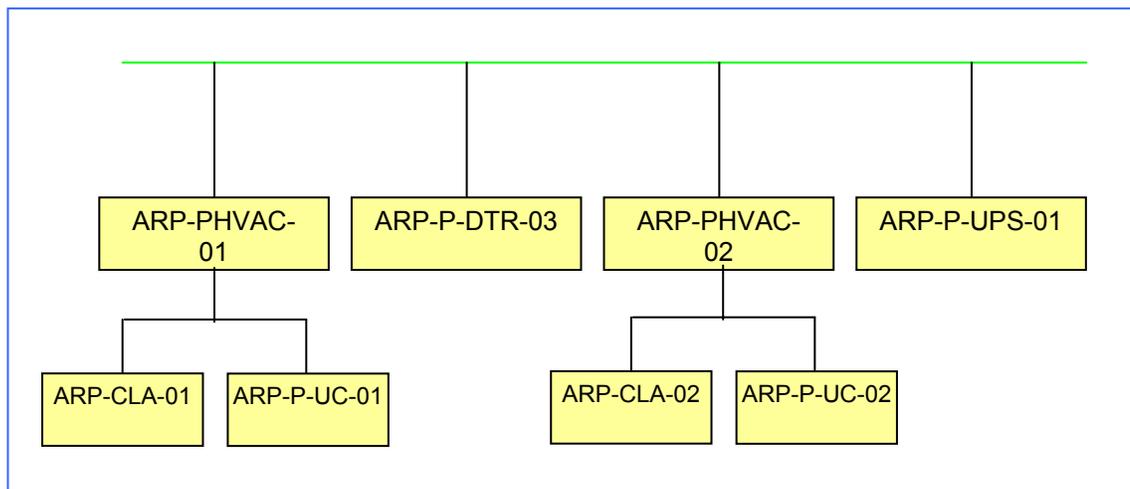
**Figura 2.5.** Tablero de distribución ARP-P-TDP-01



Las acometidas provenientes de la planta de generación, entrarán a suministrar potencia en caso que exista una falla en la alimentación proveniente de las acometidas de la subestación U-300, a través de un sistema de transferencia automática ejercido por un controlador de transferencia, que actuará directamente

sobre los interruptores CB1 y CB3 (para ARP-P-TDP-01), CB2 y CB4 (para ARP-P-TDP-02). Los interruptores CB3 y CB4 permiten la entrada del suministro de potencia de las acometidas provenientes de la planta generadora, mientras CB1 y CB2 son los interruptores que permiten la entrada del suministro de potencia de las acometidas provenientes de la subestación; sustituyendo CB3 la ausencia de potencia ocasionada por CB1 y CB4 sustituye la de CB2.

**Figura 2.6.** Cargas del tablero ARP-P-TDP-01

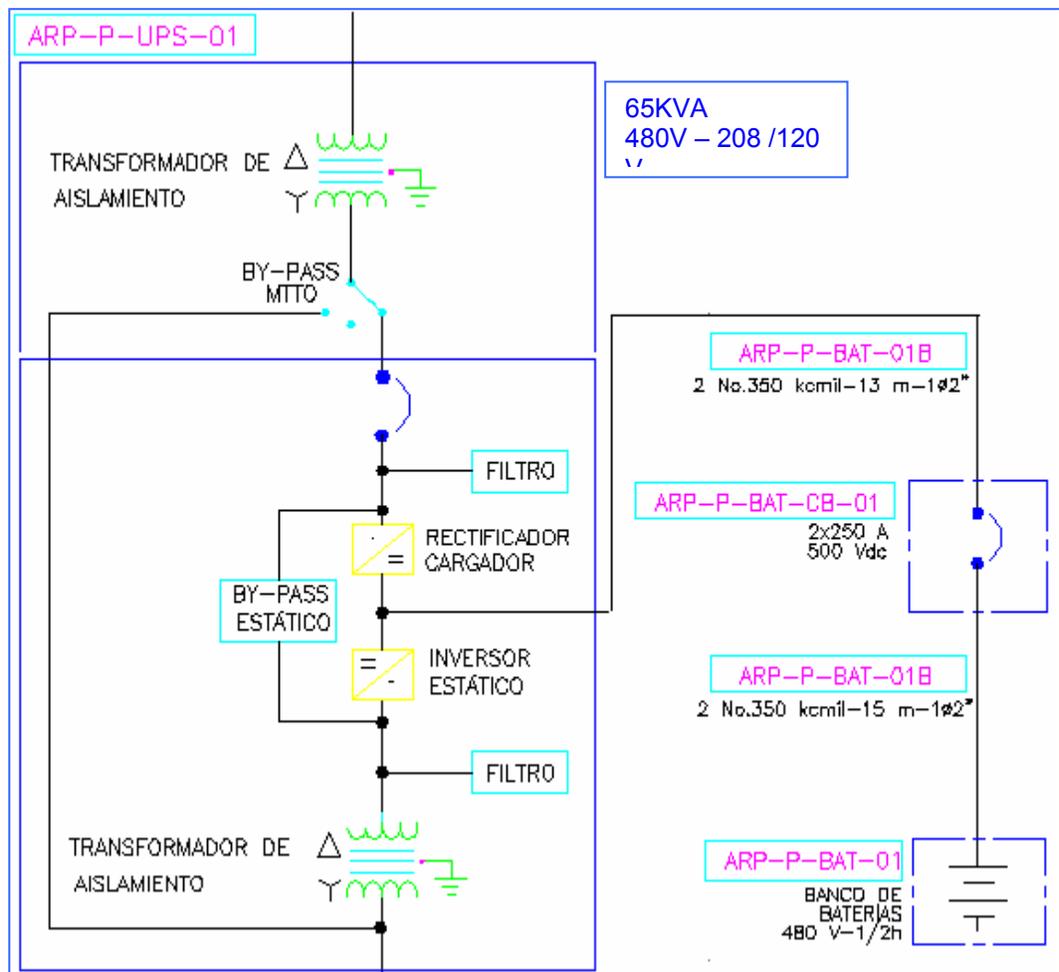


Como se muestra en la figura 2.6 el tablero ARP-P-TDP-01 alimenta a los tableros:

1. ARP-PHVAC-01 ( tablero para aires acondicionados 1)
  - a. ARP-CLA-01 Tablero unidad de climatización (humedad, calefacción).
  - b. ARP-P-UC-01 Tablero unidad condensadora
2. ARP-P-DTR-03 ( Tablero para distribución de alumbrado)

3. ARP-PHVAC-02 ( tablero para aires acondicionados 2)
  - a. ARP-CLA-02 Tablero unidad de climatización (humedad, calefacción).
  - b. ARP-P-UC-02 Tablero unidad condensadora
4. **ARP-P-UPS-01**

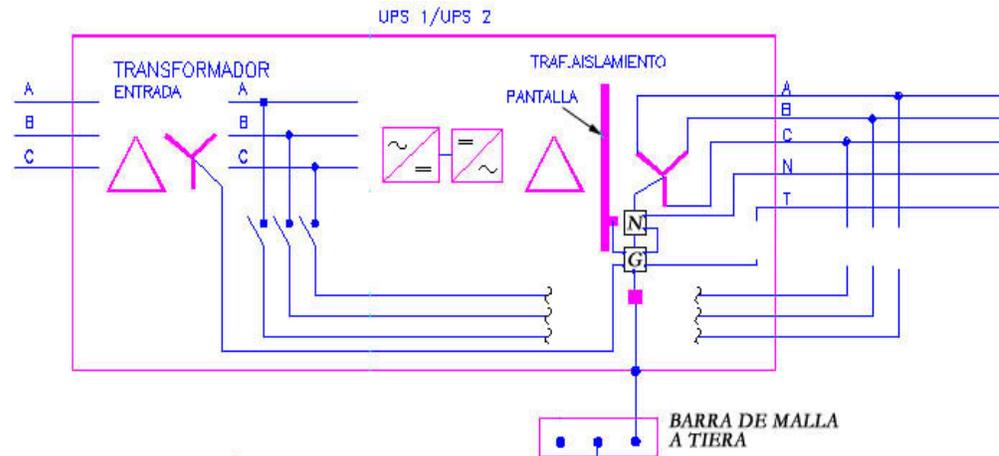
**Figura 2.7.** Tablero de distribución ARP-P-UPS-01



La UPS se alimenta del tablero de distribución principal y a través de un transformador de aislamiento en disposición delta-estrella de 480V-208/120

transforma a 208V y 120V que proporciona el nivel de voltaje requerido por ésta y además proporciona un aislamiento contra armónicos.

**Figura 2.8** Arreglo de la UPS1 y UPS2



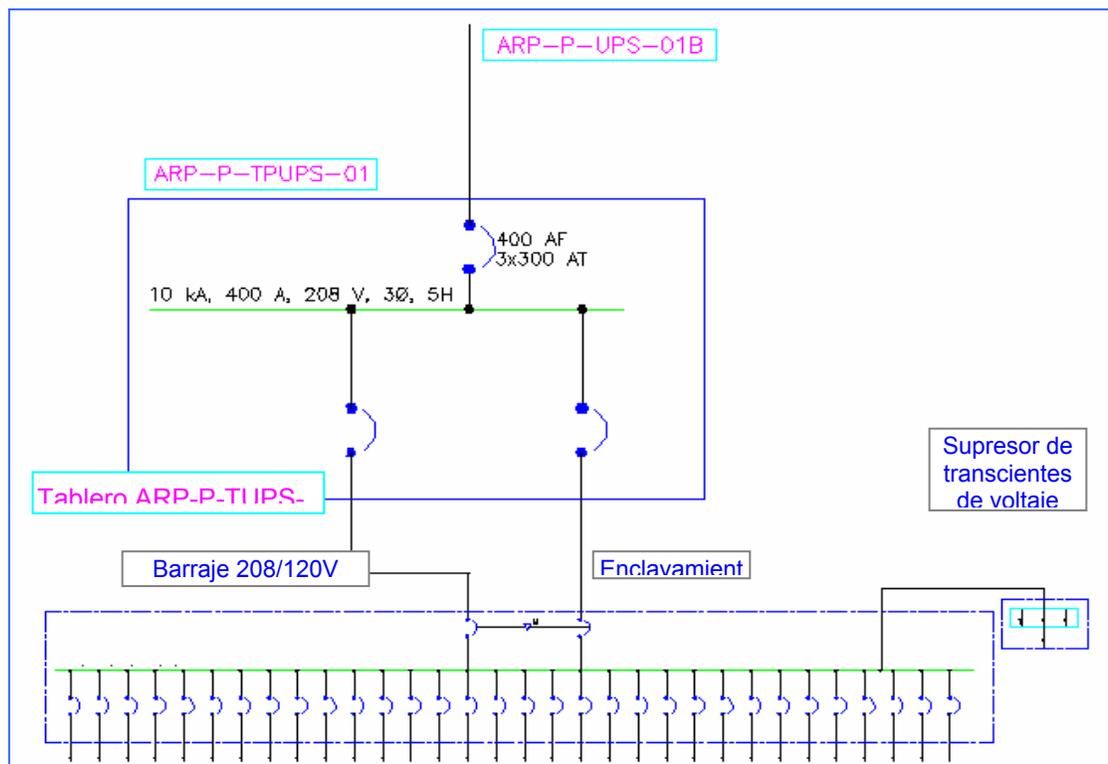
La UPS-01 y UPS-02 están compuestas por un arreglo que cuenta como se muestra en la figura 2.8 :

- ض Un transformador en configuración delta-estrella que permite proporcionarle el nivel de voltaje requerido por la carga y por las baterías propias de las UPSs.
- ض Un rectificador de voltaje que permite cargar el banco de baterías cuando el sistema se encuentra en modo de operación normal.
- ض Un inversor que convierte nuevamente a voltaje A.C la potencia suministrada por el rectificador .

ض Dos filtros cuya función radica en eliminar cualquier tipo de ruido y transcientes tanto a la entrada del rectificador de onda como a la salida del inversor.

ض Un transformador de aislamiento con configuración Delta-Estrella para la protección de las cargas que se alimentan del tablero principal de distribución de cada UPS.

**Figura 2.9.** Tablero de distribución ARP-P-TUPS-01



Cada una de las UPSs posee su correspondiente tablero de maniobra (ARP-TPUPS-01 y ARP-TPUPS-02) que presenta un barraje de 208V trifásico y desde el cual se desprenden respectivamente una acometida para cada uno de los dos tableros que corresponden a cada UPS (ARP-TUPS-01 y ARP-TUPS-02).

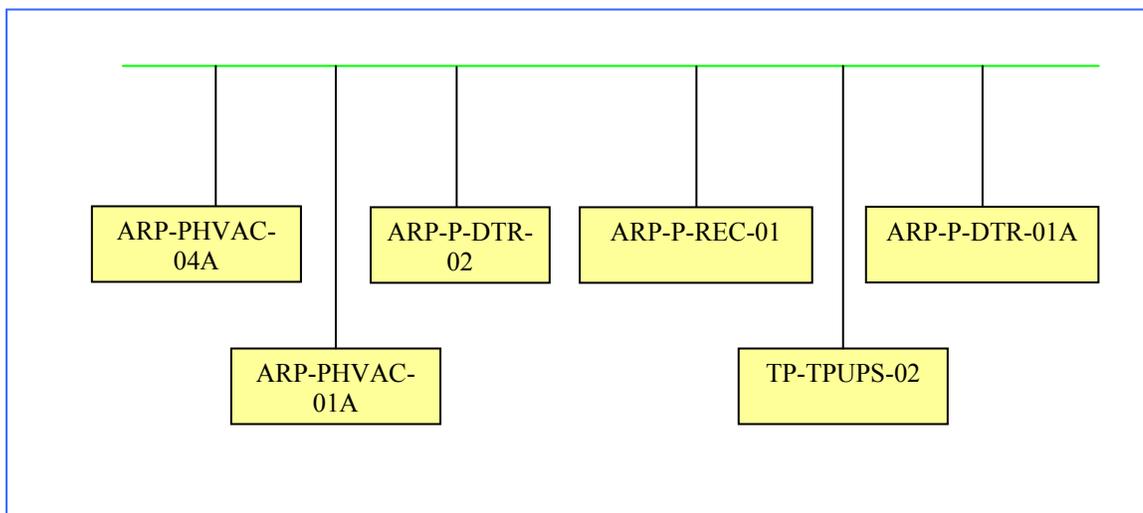
Debido a la presencia de dos tableros ARP-TPUPS (ARP-TPUPS-01 y ARP-TPUPS-02) con las características que se muestran con la figura 2.9, llegarán a cada tablero que alimenta a las cargas de las UPSs (ARP-TUPS-01 y ARP-TUPS-02) dos acometidas distintas, las cuales antes de llegar al barraje del tablero tienen un enclavamiento (como se muestra en la figura 2.9) de tipo mecánico que permite realizar una transferencia (manual) con accionamiento de cuatro polos en forma simultánea. Luego cada una de las UPSs alimenta sus respectivas cargas desde el tablero de distribución ARP-P-TUPS-01. Dicho tablero presenta adicionalmente un supresor de pico.

De la misma manera, del tablero ARP-P-TDP-2 se alimentan:

1. ARP-P-DTR-02 (que va a proporcionar energía a los tableros de iluminación del CCR y oficinas).
2. ARP-P-REC-01 (tablero de distribución de servicios auxiliares), que requiere de un rectificador Cargador que presenta un barraje de distribución de 125 VDC.
3. ARP-P-HVAC-04A
4. ARP-P-DTR-01A (que va a proporcionar energía a los tableros de iluminación del CCR y oficinas)
5. ARP-P-HVAC-03A

6. Además se alimenta el tablero ARP-TPUPS-02 que permite suministrar potencia a la UPS-02. La UPS-02 se alimenta de la misma forma como se señaló para la UPS-01.
7. Igualmente alimenta el tablero ARP-TPUPS-03 permite suministrar potencia al arreglo de la UPS-03.

**Figura 2.10.** Alimentación del tablero ARP-P-TDP-2



Por su parte, la UPS-03 mediante su tablero ARP-TUPS-03 suministra energía a:

ض Computadores de oficinas del cuarto de control central.

ض Computadores del cuarto de entrenamiento.

ض Cuarto de aplicación de Blending.

ض Cuarto de aplicación de Crudo.

ض Computador Cuarto de Control Central Cracking

ض Computador Cuarto de Control Central Blending.

ض Computador Cuarto de Control Central Crudo.

ض Armario de comunicaciones.

ض HUB TCP/IP.

ض Computadores de administración del sistema.

ض Computador cuarto de Aplicación de Cracking.

A diferencia de las UPS-01 y UPS-02, la UPS-03 presenta sólo una posible acometida para la alimentación del tablero ARP-TUPS-03.

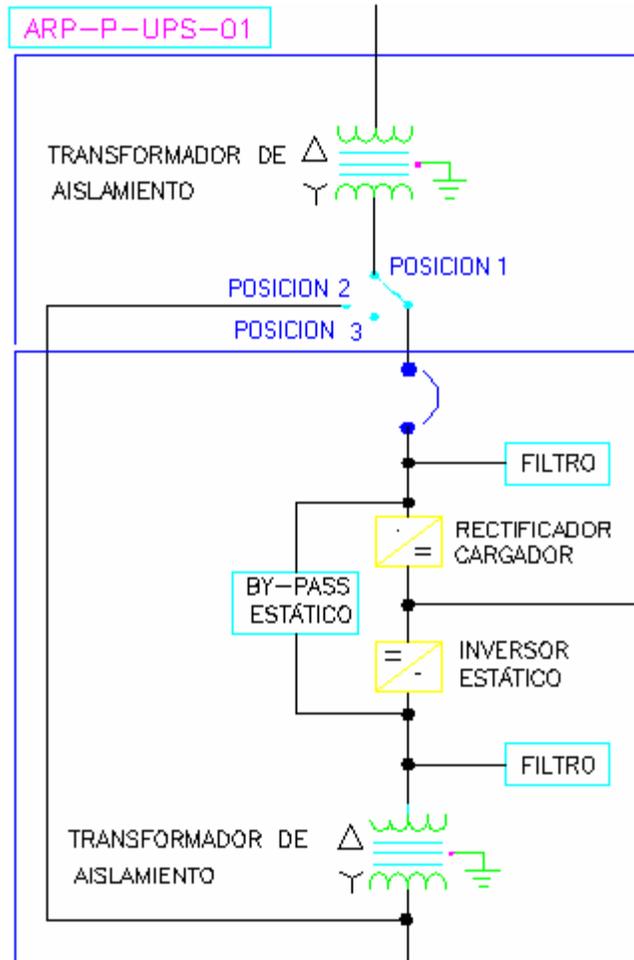
Las tres UPSs son de tipo ON-LINE por lo que presentan tres tipos de funcionamiento básicos:

ض Funcionamiento Normal.

ض Funcionamiento de Mantenimiento.

ض Funcionamiento Batería.

**Figura 2.11.** Tipos de funcionamiento de las UPSs



El funcionamiento normal del sistema se caracteriza por el suministro de potencia proveniente directamente ya sea de la planta de emergencia o de la subestación U-300.

En este momento, (en la posición 1 del interruptor) las baterías se encuentran cargando a su valor nominal o en su defecto se mantienen “flotante”; estado en el cual existe un flujo de corriente mínimo hacia las baterías.

En el caso que se desee realizar mantenimiento a elementos como filtros, baterías, inversor y rectificador se procede a ejecutar el funcionamiento de Mantenimiento mediante el posicionamiento del interruptor en la posición 2, en este modo de funcionamiento la alimentación del tablero de distribución de la UPS se realiza a través de la acometida proveniente directamente del transformador de aislamiento de 460/208-120 y el transformador de aislamiento galvanizado, de manera que en este modo se corre el riesgo que queden sin alimentación las cargas correspondientes a este tablero, en caso de ocurrencia de alguna falla en los sistemas de alimentación de las acometidas de la subestación y/o planta degeneración.

Por su parte, en el caso de ocurrencia de alguna falla total del sistema normal se procede a ejecutar el funcionamiento batería mediante la ubicación del interruptor en la posición 3; dicho funcionamiento se caracteriza por la desconexión de las cargas del tablero ARP-P-TPUPS-01 del suministro de potencia eléctrica normal, y entra en su defecto la alimentación por parte del banco de baterías, la cual por medio del inversor se convierte en nuevamente voltaje A.C. para alimentar al transformador de aislamiento.

Adicionalmente las UPSs cuentan con un By-Pass estático que brinda la posibilidad de sacar de funcionamiento tanto al rectificador y al inversor como al banco de baterías, con el fin de poder realizar el mantenimiento de dichos equipos.

El cuarto de control central posee dos tableros para la distribución de sus cargas, estos tableros son los denominados ARP-TUPS-01 y ARP-TUPS-02.

Las cargas que se alimentan del tablero ARP-TUPS-01 de la UPS-01 son:

ض La consola 1.

ض La consola 2.

ض La consola 3.

ض La consola 4.

ض El cuarto de entrenamiento.

ض El cuarto de Aplicaciones Cracking.

ض El Cuarto de Aplicaciones Crudo.

ض El Cuarto de Aplicaciones Blending.

ض El Cuarto de Administrador del Sistema.

ض El Cuarto de Mantenimiento de DCS COM1.

ض El Cuarto de Comunicaciones de DCS COM2.

La UPS-02 mediante su tablero ARP-TUPS-02 que se encuentra en el cuarto de control central suministra energía a:

ض La consola 1.

ض La consola 2.

ض La consola 3.

ض La consola 4.

ض El cuarto de entrenamiento de sistema.

ض El cuarto de Aplicaciones Cracking.

ض El Cuarto de Aplicaciones Crudo.

ض El Cuarto de Aplicaciones Blending.

ض El Cuarto de Administrador del Sistema.

ض El Cuarto de Mantenimiento de DCS COM3.

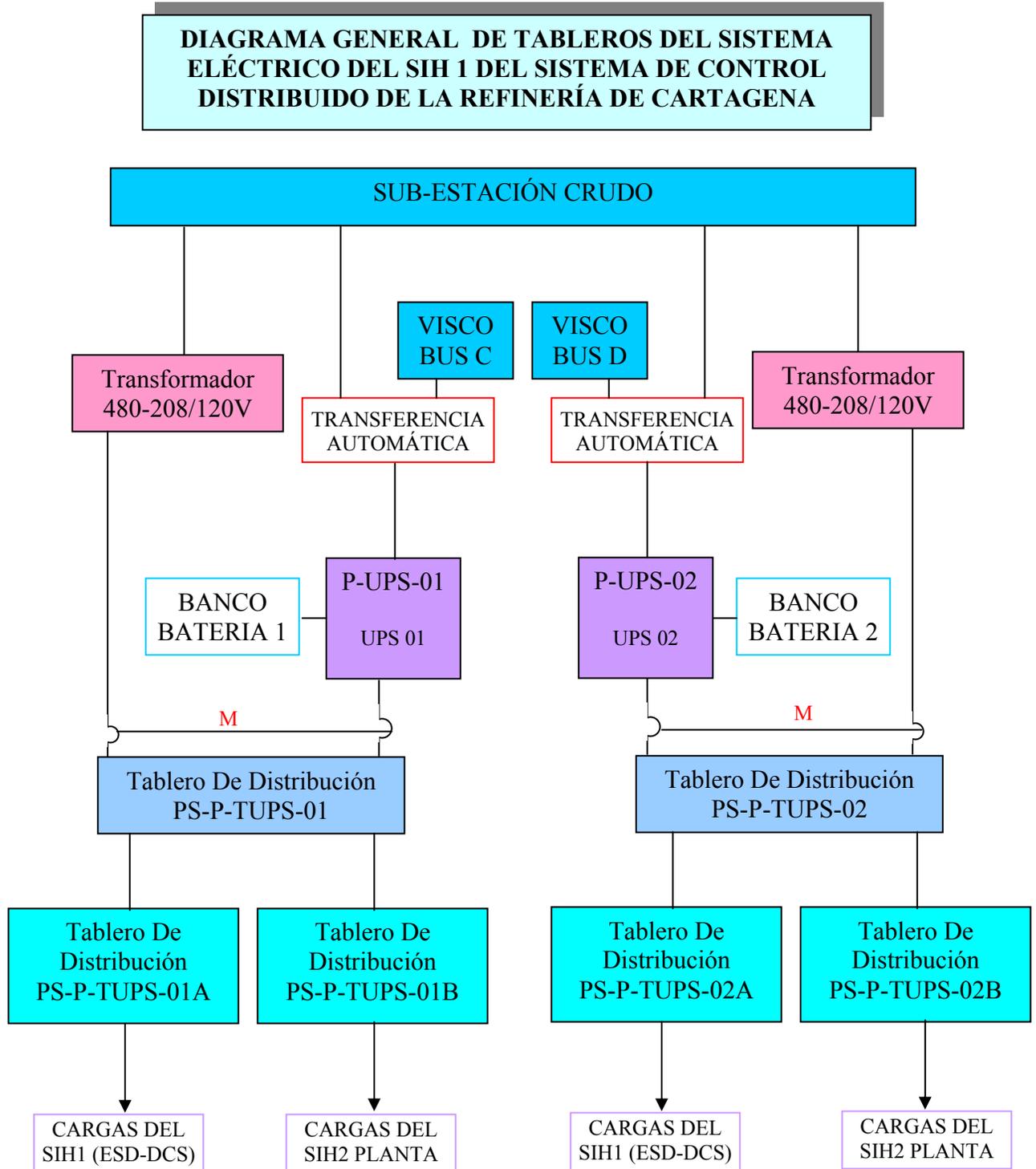
ض El Cuarto de Comunicaciones de DCS COM4.

ض El Cuarto de Entrenamiento de Consola.

## **2.2 CUARTOS DE CONTROL SATÉLITE SIH1**

El cuarto de control satélite SIH1 presenta el suministro de energía a sus cargas como se muestra en la figura 2.12.

**Figura 2.12.** Diagrama general del SIH 1



El cuarto de control satélite 1 (SIH 1) que controla y supervisa el área de Crudo y Viscosreductora, a diferencia del resto de cuartos satélites de control, presenta una distribución o suministro de potencia con algunas variantes.

Este cuarto de control se puede dividir en cuatro cuartos principales:

ض Cuarto de equipos eléctricos.

ض Cuarto de Racks.

ض Cuarto de supervisión.

ض Cuarto de Control.

Específicamente en el cuarto de Racks encontramos las siguientes cargas:

ض Diecinueve gabinetes de equipos del DCS.

ض Seis gabinetes de equipos del ESD para la Viscosreductora.

ض Los seis tableros de distribución de las UPSs 1 y 2 correspondientes a PS-TUPS-01 con sus correspondientes PS-TUPS-01A y PS-TUPS-01B y PS-TUPS-02 con sus correspondientes PS-TUPS-02A y PS-TUPS-02B.

ض Dos tableros supresores de pico.

ض Las dos UPSs (UPS-01 y UPS-02); las cuales se caracterizan por ser de operación ON-LINE con los modos de operación antes explicados.

ض Los dos interruptores para los dos arreglos de cuatro bancos de baterías.

En el cuarto eléctrico se encuentran:

ض Los switches de transferencia manual.

ض Dos transformadores.

ض Tablero de potencia para aire acondicionado PS-P-HVAC.

ض Los dos arreglos de Bancos de Baterías (para UPS1 y UPS2) de cuatro Racks cada uno de ellos.

En general, todas las cargas que se encuentran en este cuarto satélite, están principalmente alimentadas por la subestación de Crudo, desde el cual se desprenden dos acometidas principales, a las cuales se le realiza la respectiva transformación a los niveles de voltaje que requieren las cargas mediante un transformador delta-estrella 480V-208/120V, estas acometidas llegan a cada uno

de los tableros de distribución principales de las UPSs (PS-P-TUPS-01 y PS-P-TUPS-01). Sin embargo, existen adicionalmente dos acometidas que provienen de esta misma subestación (con las misma características que las dos anteriores; 480V, 60Hz) y que a su vez llegan a un switch de tres polos que realizará la transferencia manual entre dicha acometida y la acometida que proviene del BUS de la subestación de Viscorreducción con iguales características. De esta manera, se alimentan luego las respectivas UPSs.

Luego desde cada una de las UPSs se desprende una acometida hacia un tablero de distribución (PS-P-TUPS-01 y PS-P-TUPS-02) al igual que las dos acometidas principales que provenían directamente de la subestación crudo con sus respectiva transformación a 208/120. Estas dos acometidas que llegan a cada una de los tableros de distribución de las respectivas UPSs presentan un enclavamiento mecánico.

Luego, tomando de sus tableros de distribución principal dos acometidas correspondientes a PS-P-TUPS-01A y PS-P-TUPS-01B para el tablero PS-P-TUPS-01 y de igual forma PS-P-TUPS-02A y PS-P-TUPS-02B para la PS-P-TUPS-02.

De esta manera, cada tablero provee alimentación a sus respectivas cargas.

Las cargas más importantes del sistema de control distribuido (figura 2.13) que son alimentadas por estos tableros son:

Para PS-P-TUPS-01A:

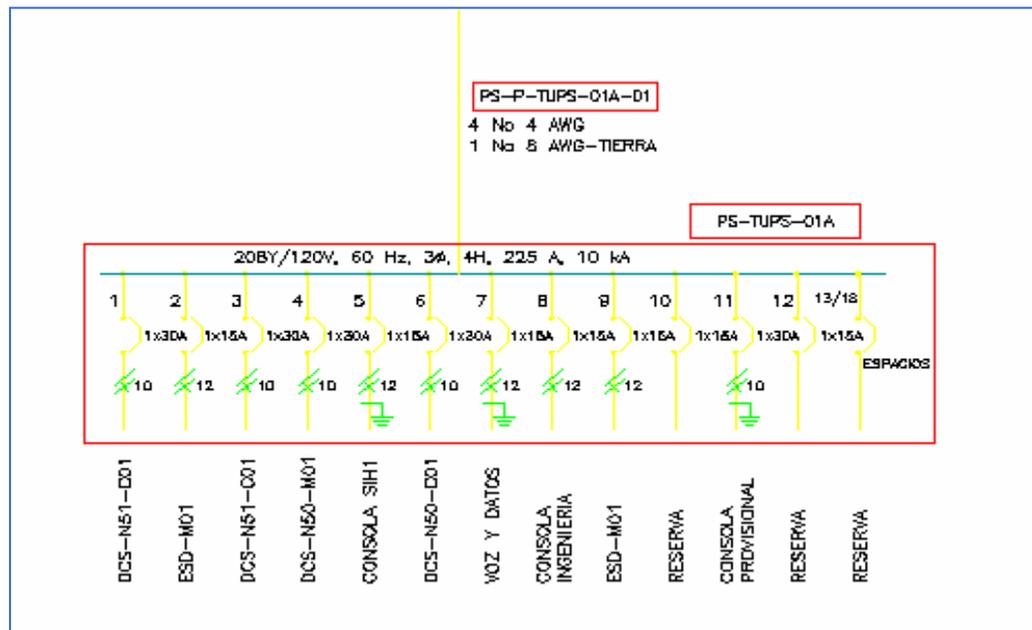
ض Gabinetes para DCS con sus respectivas fuentes, HUBs MB300, módems, unidades.

ض Gabinetes para el ESD (estación de Shutdown) con sus respectivas fuentes (entrada / salida) y PLCs.

ض Consola de SIH1: AS520 con sus respectivos módems de ESD.

ض Consola de IMS (estación de manejo de información) con su respectiva estación de ingeniería.

**Figura 2.13.** Tablero de distribución PS-P-TUPS-01A



Para el tablero de distribución PS-P-TUPS-01B (figura 2.14) se tiene:

ض Analizador de shelter gasolina.

ض Analizador Blending crudo.

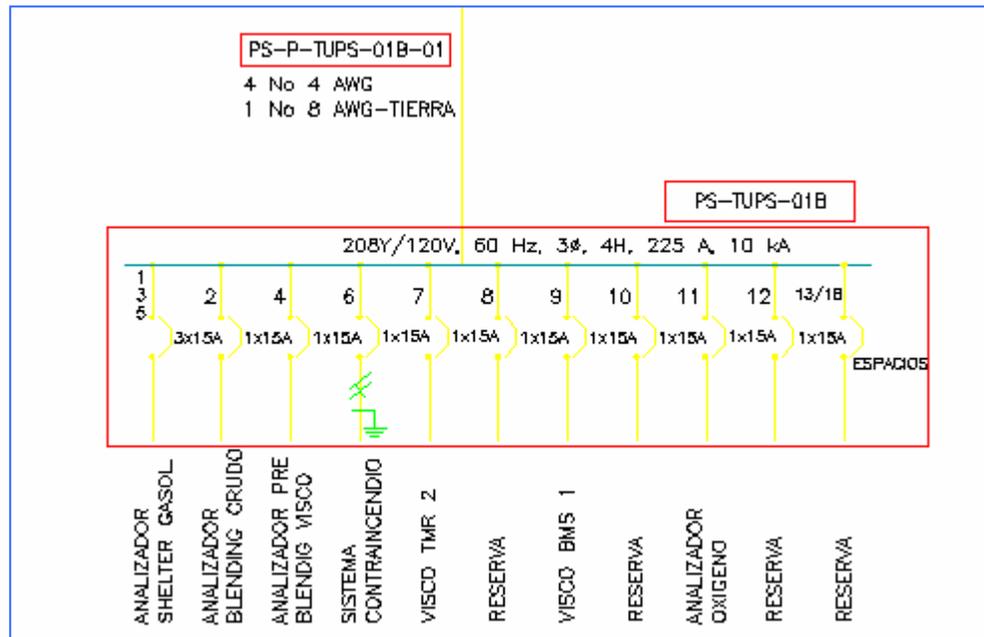
ض Analizador pre-Blending visco.

ض Viscorreductora con su respectiva fuente de poder TMR2.

ض Fuente de poder BMS1.

ض Analizador de oxígeno.

**Figura 2.14.** Tablero de distribución PS-P-TUPS-01B



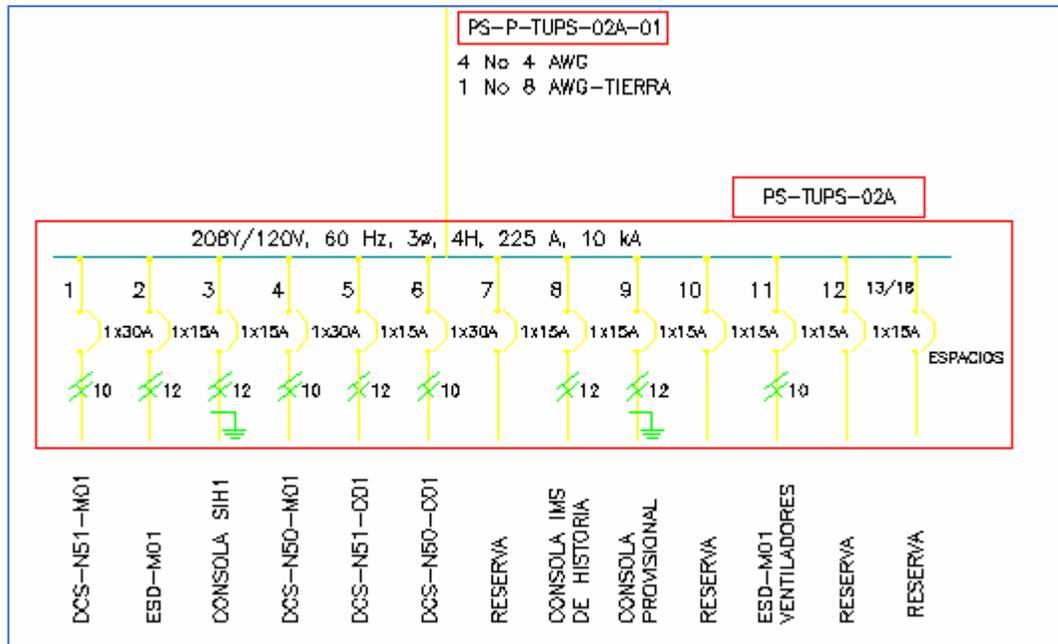
Para el tablero de distribución PS-P-TUPS-2A (figura 2.15) se tienen las siguientes cargas:

ض Consola IMS de historia.

ض Consola de SIH1: ESD MMI y módems.

ض Gabinetes para el ESD (estación de Shutdown) con sus respectivas fuentes.

**Figura 2.15.** Tablero de distribución PS-P-TUPS-02A



Para PS-P-TUPS-2B (figura 2.16):

ض Analizador Shelter CDU.

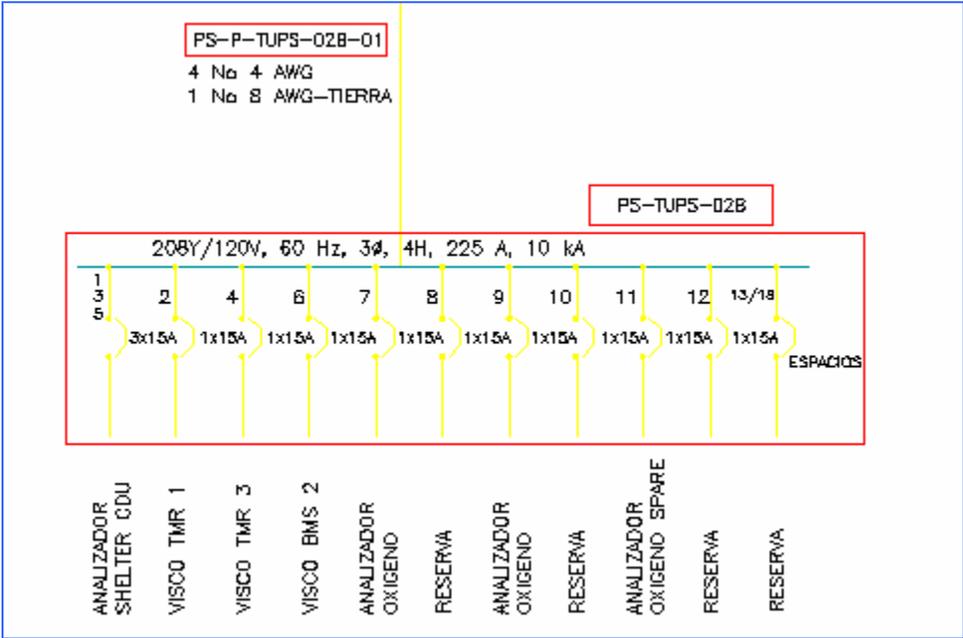
ض Fuente de Poder TMR1.

ض Fuente de Poder TMR2.

ض Fuente de Poder BMS2.

ض Analizadores de oxigeno.

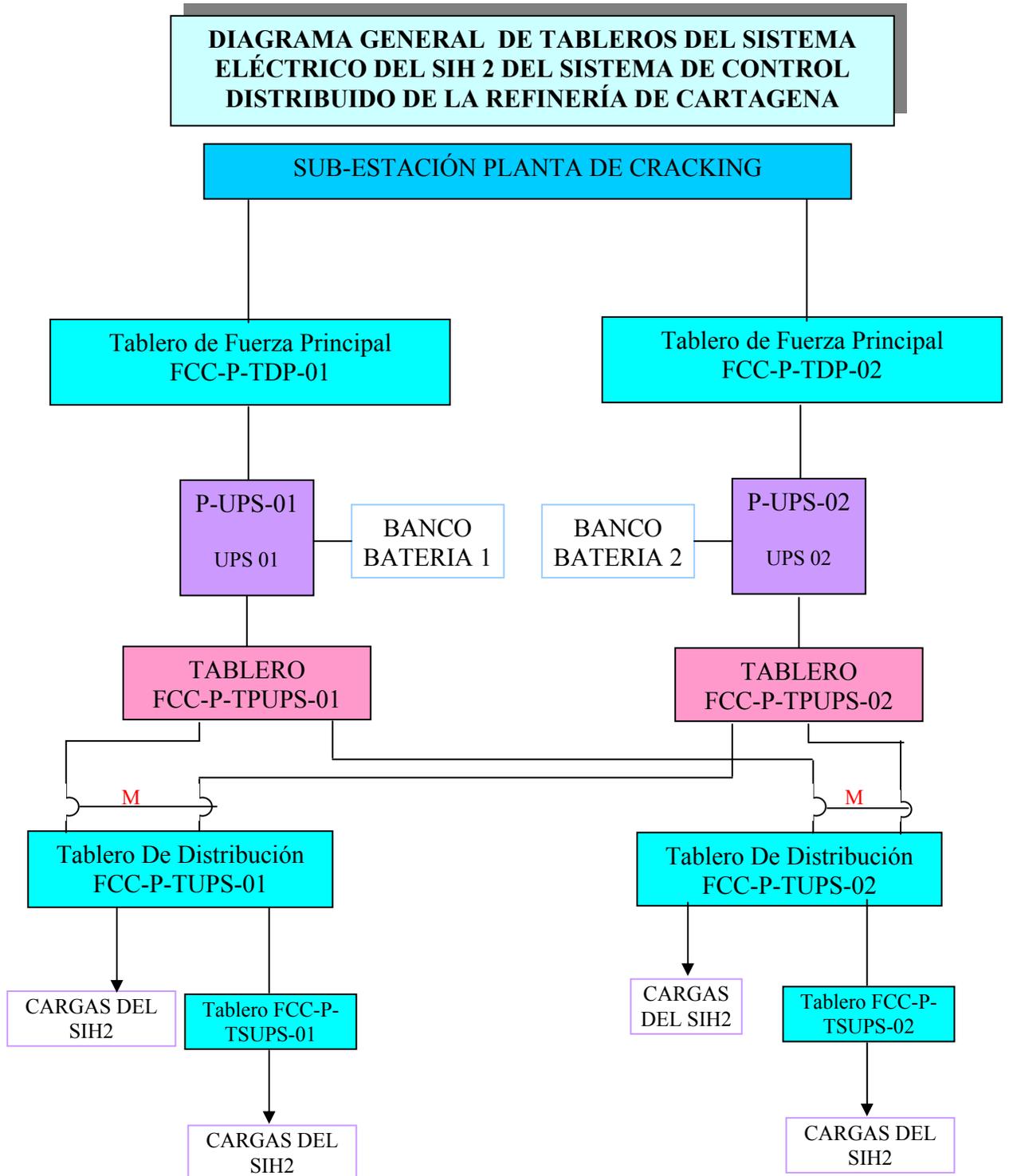
**Figura 2.16.** Tablero de distribución PS-P-TUPS-02B



**2.3 CUARTOS DE CONTROL SATÉLITE SIH2**

El cuarto de control satélite SIH2 presenta el suministro de energía a sus cargas como se muestra en la figura.

**Figura 2.17 . Diagrama general del SIH 2**



El SIH2 o cuarto de control satélite para Cracking, en cuanto a la organización de acometidas y tableros de distribución y alimentación de equipos del sistema de control distribuido se encuentra dividido principalmente en las siguientes secciones:

ض Cuarto de baterías.

ض Cuarto para aires acondicionados.

ض Cuarto de Racks de los equipos del DCS y ESD.

En el cuarto de Racks encontramos:

ض Las UPSs 1 y 2 las cuales se caracterizan por ser de funcionamiento ON-LINE con los modos de operación antes explicados.

ض Los interruptores para las baterías 1 y 2.

ض Los dos tableros de fuerza FCC-P-TDP-01 Y FCC-P-TDP-02.

ض Tableros de distribución de las UPSs 1 y 2 (FCC-P-TUPS-01 y FCC-P-TUPS-02).

ض Los dos tableros de maniobras de las UPSs 1 y 2 (FCC-P-TPUPS-01 y FCC-P-TPUPS-02).

ض El tablero para alumbrado y tomas.

ض El transformador para alumbrado FCC-P-DTR.

ض Dos tableros de supresores de pico para (uno para cada uno de los tableros de distribución de las UPSs) FCC-P-TVSS-01 y FCC-P-TVSS-02.

ض Dos tableros de distribución secundarios (uno para cada UPS) FCC-P-TSUPS-01 y FCC-P-TSUPS-02.

ض Dieciocho gabinetes de equipos del DCS correspondientes a los nodos 53 y 54 de la red MasterBus 300.

ض Seis gabinetes de equipos del ESD.

ض Rack de comunicaciones.

Por su parte, en el cuarto para aires acondicionados se encuentran:

ض El tablero de distribución principal para aire acondicionado FCC-P-HVAC-01.

ض Tablero de Control FCC-P-UC .

ض Tablero de unidad climatizadora FCC-P-CLA.

ض Unidad climatizadora.

En el cuarto de baterías se encuentran cuatro bancos de baterías; (dos para cada una de las UPSs). Cada uno de dichos arreglos de dos baterías está conectado mediante una acometida a cada uno de los interruptores que les permiten o no entrar en funcionamiento.

Cada uno de estos interruptores se encuentra conectado a su vez, mediante una acometida, a cada una de las dos UPSs que se encuentran; al igual que los interruptores, en el cuarto de Racks del SIH2. Dichas UPSs reciben alimentación a 480V (realizan su respectiva transformación a 208V) de su respectivo tablero de fuerza FCC-P-TDP-01 y FCC-P-TDP-02 y cada una se conecta mediante una acometida a sus tableros afines de maniobras (FCC-P-TPUPS-01 y FCC-P-TPUPS-02); de los cuales (para cada uno de ellos) se desprenden dos acometidas: una acometida para el tablero de distribución de la UPS 1 (FCC-P-TPUPS-01) y la otra para el tablero de distribución de la UPS 2 (FCC-P-TPUPS-02), de manera que a cada tablero de maniobra que se encuentra en el cuarto de Racks le llegan dos acometidas (una por cada uno de los tableros de maniobras).

Adicionalmente, desde dichos tableros de distribución de las UPSs se desprenden las acometidas que conectan dicho tablero con sus respectivos tableros de supresores de pico y con sus tableros de distribución secundarios FCC-P-TSUPS-01 y FCC-P-TSUPS-02.

De esta forma, desde los tableros FCC-TUPS-01 y FCC-TUPS-02 se le proporciona suministro de potencia a las cargas correspondientes al cuarto de control para el área de Cracking.

De manera que el tablero FCC-TUPS-01 suministra energía a :

ض La consola SIH2 bahía 1 :AS520.

ض El gabinete del DCS ABB Advant para el SIH2 con sus respectivas fuentes (1A y 2A), el HUB MB300E y HUB TCP/IP para comunicación.

ض El gabinete del DCS ABB Advant para el SIH2 con sus respectivas fuentes (3A y 4A) y MODEM.

ض El gabinete del DCS ABB Advant para el SIH2 con sus respectivas fuentes (5A y 6A) .

ض El gabinete del DCS ABB Advant para el SIH2 con sus respectivas fuentes (7A y 8A) y el Marshalling Box de alumbrado del nodo 54.

ض El gabinete de la ESD con su respectivo PLC y fuentes.

ض El tablero secundario de distribución FCC-P-TSUPS-01 con el cual se alimentan las cargas externas del SIH2.

Por su parte el tablero FCC-TUPS-02 alimenta a:

ض La consola SIH2 bahía 1A: ESD.

ض El gabinete del DCS ABB Advant para el SIH2 con sus respectivas fuentes (1B y 2B), el HUB MB300E, alumbrado DCS del nodo 53 y HUB TCP/IP para comunicación.

ض El gabinete del DCS ABB Advant para el SIH2 con sus respectivas fuentes (3B y 4B) y el Marshalling Box de alumbrado del nodo 54.

ض El gabinete del DCS ABB Advant para el SIH2 con sus respectivas fuentes (5B y 6B) y el Marshalling Box de alumbrado del nodo 53.

ض El gabinete del DCS ABB Advant para el SIH2 con sus respectivas fuentes (7B y 8B) del nodo 54.

ض El gabinete de la ESD con su respectivo PLC y fuentes.

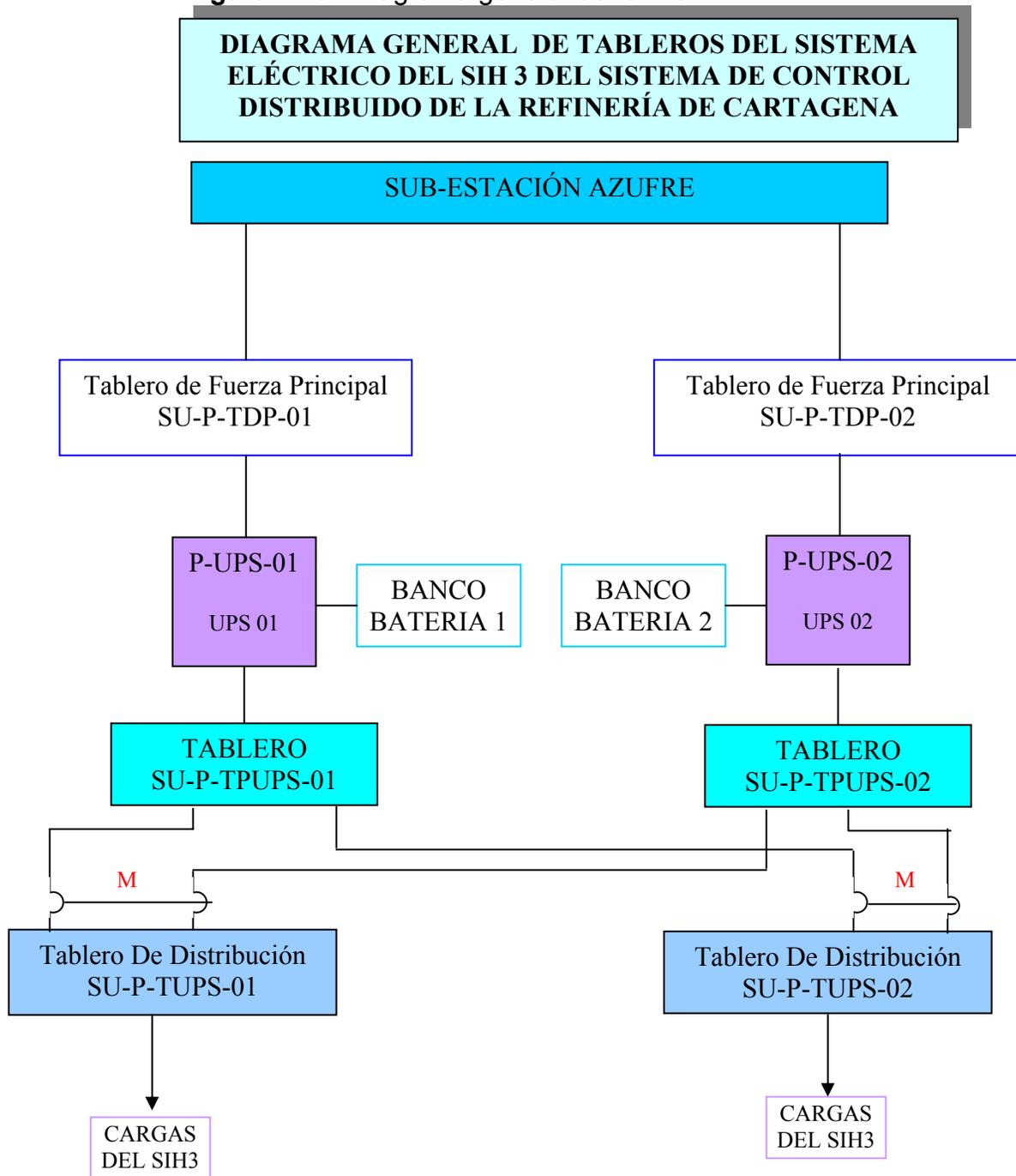
ض El tablero secundario de distribución FCC-P-TSUPS-02 con el cual se alimentan las cargas externas del SIH2.

Mientras que los tableros de distribución secundarios de cada una de las UPSs FCC-P-TSUPS-01 y FCC-P-TSUPS-02 suministran energía a las distintas cargas externas del SIH2.

## **2.4 CUARTOS DE CONTROL SATÉLITE SIH3**

El cuarto de control satélite SIH3 presenta el suministro de energía a sus cargas como se muestra en la figura.

Figura 2.18. Diagrama general del SIH 3



El SIH3 o cuarto de control satélite para Azufre, en cuanto a la organización de acometidas y tableros de distribución y alimentación de equipos del sistema de control distribuido se encuentra dividido principalmente en:

ض Cuarto eléctrico.

ض Cuarto de baterías.

ض Cuarto para aires acondicionados.

ض Cuarto de Racks de los equipos del DCS y ESD.

En el cuarto eléctrico encontramos:

ض Las UPSs 1 y 2; las cuales se caracterizan por presentar un funcionamiento ON-LINE con los modos de operación antes explicados.

ض Los interruptores de las baterías 1 y 2.

ض Los dos tableros de fuerza SU-P-TDP-01 Y SU-P-TDP-02.

ض Los dos tableros de maniobras de las UPSs 1 y 2 (SU-P-TPUPS-01 y SU-P-TPUPS-02).

ض El tablero para alumbrado y tomas SU-P-DTR.

ض El transformador para alumbrado.

De igual forma en el Rack para equipos del DCS y ESD se encuentran:

ض Los tableros de distribución de las UPSs 1 y 2 (SU-P-TUPS-01 y SU-P-TUPS-02).

ض Un supresor de picos para cada una de las UPSs.

ض Los tableros de protección de las UPSs a las casetas de operador para la alimentación de los servicios externos.

ض Cinco gabinetes de equipos del DCS.

ض Cinco gabinetes de equipos del ESD.

Por su parte en el cuarto para aires acondicionados se encuentran:

ض El tablero de distribución para aire acondicionado SU-P-HVAC-01.

ض El tablero de condensadora.

ض El tablero de unidad climatizadora.

ض La unidad climatizadora.

En el cuarto de baterías se encuentran dos bancos de baterías; cada uno de los cuales se conectan mediante una acometida a cada uno de los interruptores que les permiten o no entrar en funcionamiento.

Cada uno de estos interruptores se conectan mediante una acometida a cada una de las dos UPSs que se encuentran al igual que los interruptores en el cuarto eléctrico del SIH3. Dichas UPSs reciben alimentación a 480V de su respectivo tablero de fuerza SU-P-TDP-01 y SU-P-TDP-02, realizan su conversión correspondiente a un nivel de voltaje de 208V y a su vez cada una de estas UPSs se conectan mediante una acometida a sus respectivos tableros de maniobras SU-P-TPUPS-01 y SU-P-TPUPS-02, de los cuales se desprenden dos acometidas: una acometida para el tablero de distribución de la UPS 1 (SU-P-TUPS-01) y la otra para el tablero de distribución de la UPS 2 (SU-P-TPUPS-01), de manera que a cada tablero de maniobra que se encuentran en el cuarto de Racks le llegan dos acometidas (una por cada uno de los tableros de maniobras).

De esta manera desde los tableros SU-TUPS-01 y SU-TUPS-02 se les proporciona el suministro de potencia a las respectivas cargas del cuarto de control para el área de azufre.

De manera que el tablero SU-TUPS-01 proporciona energía:

ض Al gabinete del DCS ABB Advant para el SIH3 con sus respectivas fuentes (1A y 2A), el HUB MB300E y HUB TCP/IP para comunicación del nodo 55.

ض Al gabinete del DCS ABB Advant para el SIH3 con sus respectivas fuentes (3A y 4A) y MODEM del nodo 55 (MO).

ض Al gabinete de la ESD con su respectivo PLC y fuentes.

ض Al tablero SU-P-TC01-01, que alimenta a su vez a la consola SIH3 AS520 (MODEM ESD bahía A1).

Por su parte el tablero SU-TUPS-02 alimenta:

ض Al tablero SU-P-TC01-01, que alimenta a su vez a la consola SIH3 AS520 (controlador, MODEM ESD bahía A3).

ض Al gabinete del DCS ABB Advant para el SIH3 con sus respectivas fuentes (1B), el HUB MB300E, alumbrado DCS del nodo 55.

ض Al gabinete del DCS ABB Advant para el SIH3 con sus respectivas fuentes (2B), el HUB MB300E, alumbrado DCS del nodo 55 y HUB TCP/IP para comunicación (MO).

ض Al gabinete de la ESD con su respectivo PLC y fuentes.

## **2.5 ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA DE COMUNICACIONES**

El sistema de comunicaciones ABB ADVANT que proporciona la interconexión a la refinería, está distribuido en tres grandes áreas, las cuales constan de cuartos satélites y grupos de consolas que se encuentran ubicados en el CCB.

Estas áreas se dividen así:

1. Área de Crudo:

ض Cuarto Satélite de Crudo y Viscorreductra (Satélite 1).

ض Cuarto Satélite de Merox y Tratamiento (Satélite 1B).

ض Cuarto de Aplicaciones y Cuarto de Control Central.

2. Área de Cracking:

ض Cuarto Satélite de FCCU y POLY (Satélite 2).

ض Cuarto Satélite de Azufre y Asfalto (Satélite 3).

ض Cuarto de Aplicaciones y Cuarto de Control Central.

3. Área de Elementos Externos:

ض Cuarto Satélite de Elementos Externos de Refinería (Satélite 4).

ض Cuarto Satélite de Elementos Externos de TNP (Satélite 5).

ض Cuarto de Aplicaciones y Cuarto de Control Central.

A continuación se describe cada una de estas grandes áreas:

### 2.5.1 Área de Crudo

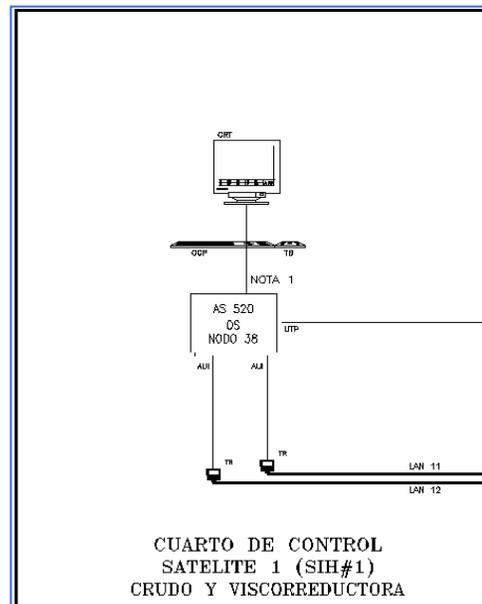
a. Cuarto Satélite de Crudo y Viscosreductora (Satélite 1).

En esta sección encontramos un AS520 ( estación de trabajo), que se encuentra conectada de manera redundante a través de dos transceptores (los cuales permiten realizar la conversión de cable coaxial a AUI) a un Hub STARCOUPLER MASTERBUS 300E ( permite realizar la interfase entre el AS520 y los controladores avanzados). La función que cumple esta estación es:

ض Realizar cambios en los parámetros del proceso.

ض Realizar el monitoreo y supervisión del proceso de Crudo y Viscosreductora y del proceso de Merox y Tratamiento.

**Figura 2.19.** Cuarto satélite de crudo y viscosreductora



b. Cuarto Satélite de Crudo, Viscosreductora y Tratamiento (Satélite 1).

Esta sección está dividida de la siguiente manera:

ض Una estación de operación AS520 que se encuentra conectada de manera redundante al Hub MASTERBUS 300E y realiza las mismas función de la sección anterior.

ض Un Hub STARCOUPLER MASTERBUS 300E cuyas funciones son:

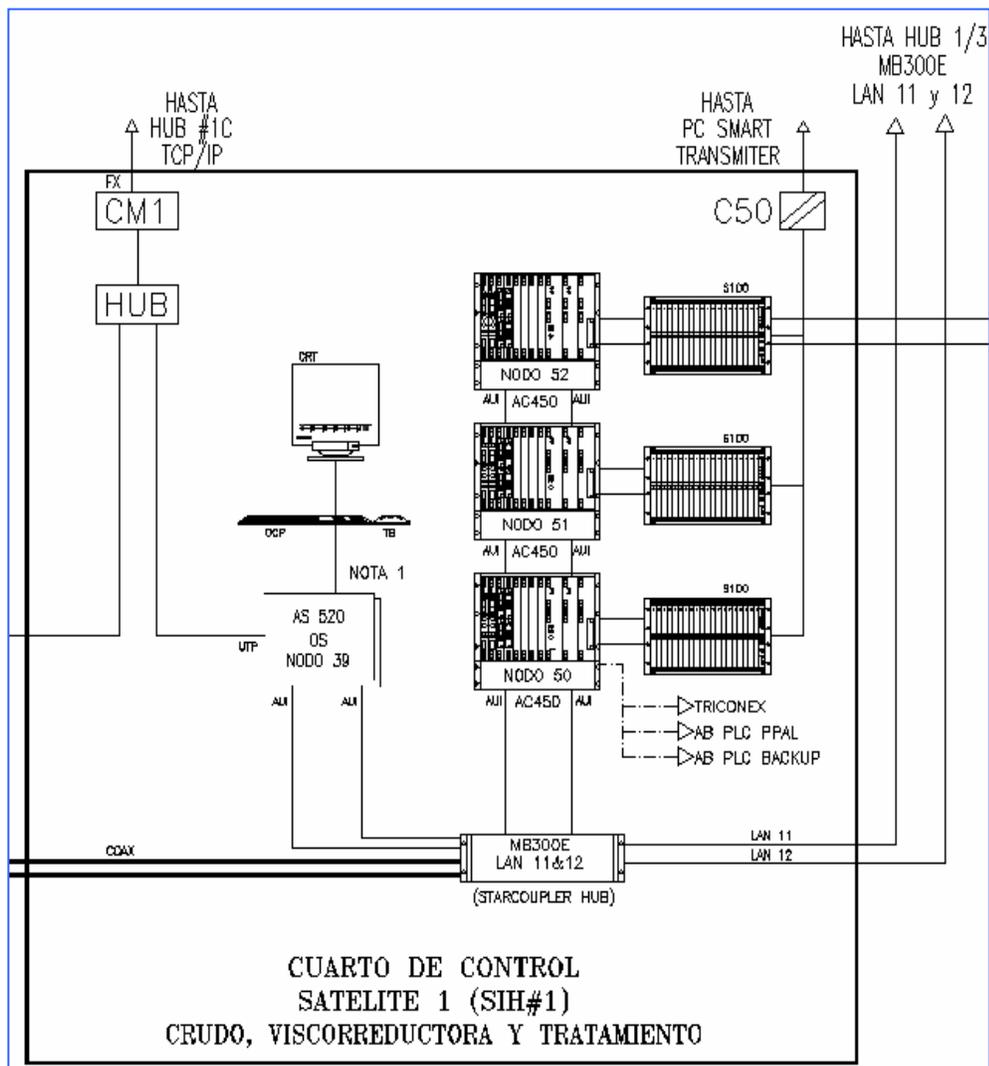
- Principalmente realizar la interfase entre la AS520 (estación de operación) y los AC450 (controladores avanzados).
- Enviar toda la información del proceso al Hub 1/3 de la red de control MB300E (ubicado en el cuadro de comunicaciones, utilizando la red MASTERBUS 300) de manera redundante.

ض Tres AC450 (Controladores Avanzados), ubicados en los nodos 50 (Proceso de Crudo), nodo 51 (Proceso de Viscosreductora) y nodo 52 (Proceso de Merox y Tratamiento) respectivamente; los cuales son alimentados por cada uno de los módulos S100. Además, como el sistema es redundante, se tienen tres AC450 de respaldo. La funciones de estos controladores son:

- Compartir los datos del proceso.
- Llevar los datos hasta el Hub STARCOUPLER .

هـ Tres S100 (módulos de E/S), conectados cada uno a un controlador AC450 de manera redundante. También existe una conexión entre cada S100 y un C50 (Convertor de RS232 a Fibra Óptica Monomodo) que permite enviar información a un PC (Smart Transmitter) ubicado en el cuarto de Computadoras.

**Figura 2.20.** Cuarto satélite de crudo, viscorreductora y tratamiento

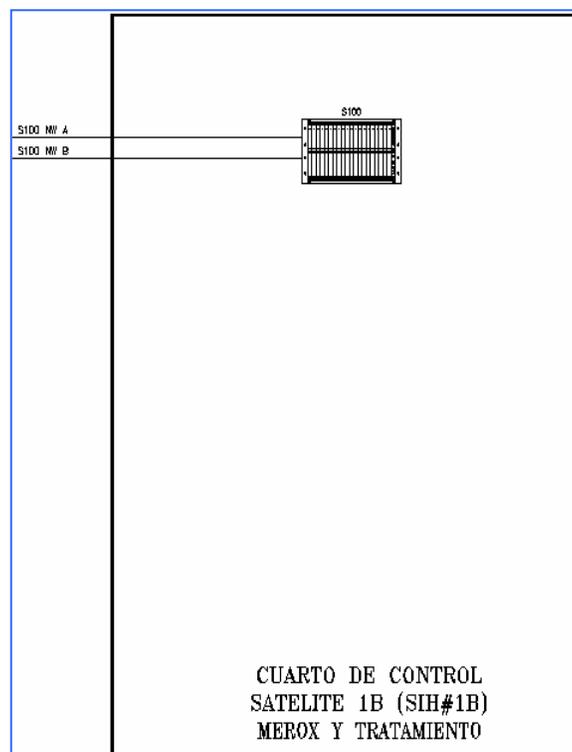


Dichos S100 tienen la función de reunir todas las señales de entrada o salida del campo.

c. Cuarto Satélite de Merox y Tratamiento (Satélite 1B).

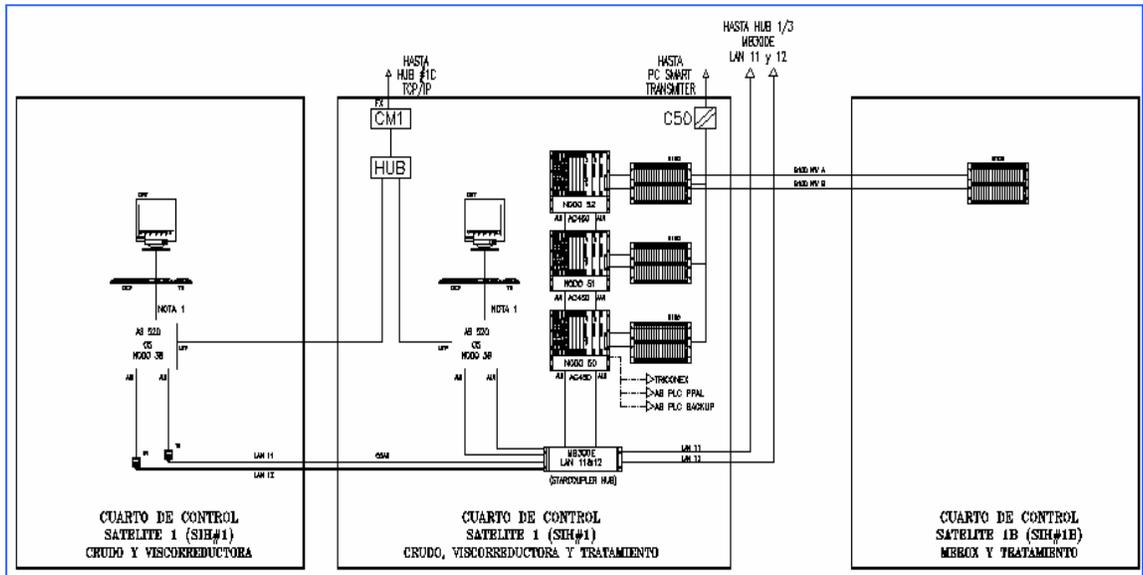
Esta sección se encuentra conformada simplemente por un S100 (módulo de E/S), el cual se encarga de enviar la información a uno de los S100 ubicados en la sección anterior de manera redundante.

**Figura 2.21.** Cuarto satélite de merox y tratamiento



Después de describir las tres secciones anteriores, se puede observar como quedan interconectadas:

**Figura 2.22.** Área General De Crudo



d. Cuarto de Aplicaciones y Cuarto de Control Central:

En el cuarto comunicaciones, ubicado cerca al cuarto de control central, se encuentra el Hub 1/3 MB300E que tiene como funciones:

ض Recibir de manera redundante la información proveniente de los cuartos satélites 1 y 1B.

ض Enviar la información al grupo de consolas de esta área, de manera redundante a través de cable coaxial. Este grupo de consolas está conformado por dos subgrupos:

1. Consolas de Aplicación (ubicadas en el cuarto de aplicaciones) formada por un grupo de cuatro computadoras, que son:

ض Estación NT y Estación AS530 (Estaciones de Administración de información). Estas estaciones cumplen la función de llevar los registros de los eventos por un período máximo de dos meses, y la de la base de datos en tiempo real.

ض Estación de Ingeniería(AS520), que cumple la función de realizar todo tipo de cambios en las aplicaciones de control y gráficos.

ض Un PC Xterm. Esta computadora no se encuentra conectada a la red MASTERBUS 300, y su función es realizar el acceso a las estaciones de operación desde el cuarto de control de aplicación a través de la red TCP/IP (Proceso que no se explica en este trabajo).

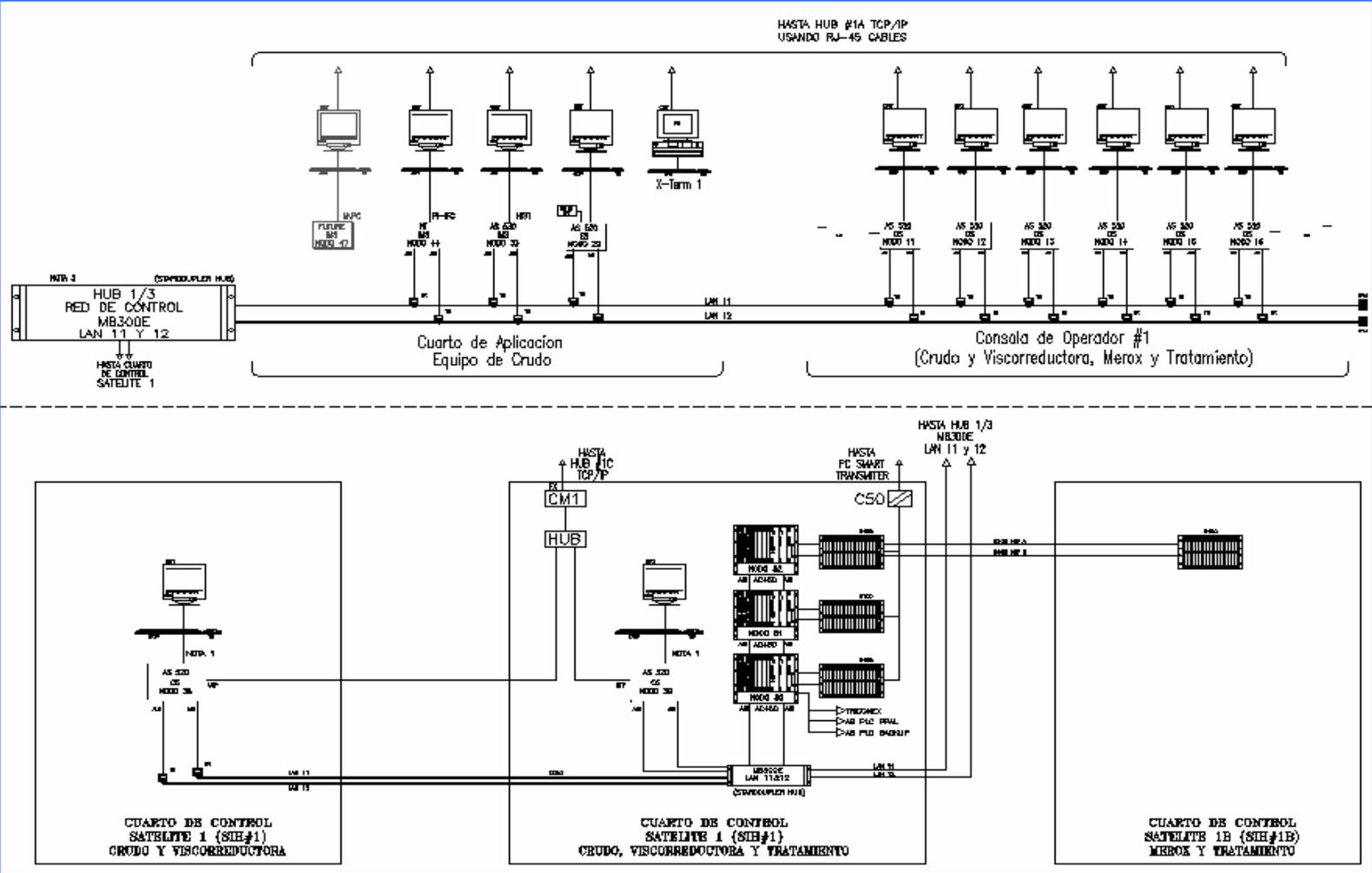
2. Consolas de Operador (ubicadas en el cuarto de control central) formada por:

ض Seis AS520 (estaciones de operación), que cumplen la misma función que se describió en las secciones anteriores.

A continuación se muestra una gráfica que contiene dichas consolas y su estructura:



Figura 2.24 Arquitectura del sistema de control del área de crudo



## 2.5.2 Área de Cracking

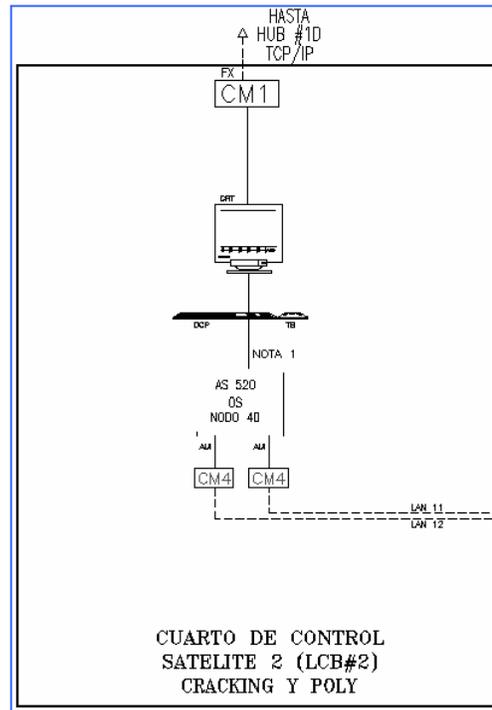
a. Cuarto Satélite de Cracking y POLY LCB #2 (Satélite 2).

En esta sección se encuentra una estación AS520 ( estación de trabajo), conectada de manera redundante por dos cables (los cuales permiten realizar la comunicación por Fibra Óptica) a un Hub STARCOUPLER MASTERBUS 300 (permite realizar la interfase entre el AS520 y los controladores avanzados), utilizando dos CM4 (Conversores de AUI a Fibra Óptica Multimodo). La función que cumple esta estación es:

ض Realizar cambios en los parámetros del proceso.

ض Realizar el monitoreo y supervisión del proceso de Cracking y POLY.

**Figura 2.25** Cuarto satélite de cracking y poly LCB #2



b. Cuarto Satélite de Cracking y POLY (Satélite 2).

Esta sección queda conformada de la siguiente manera:

ض Un Hub STARCOUPLER MASTERBUS 300E cuyas funciones son:

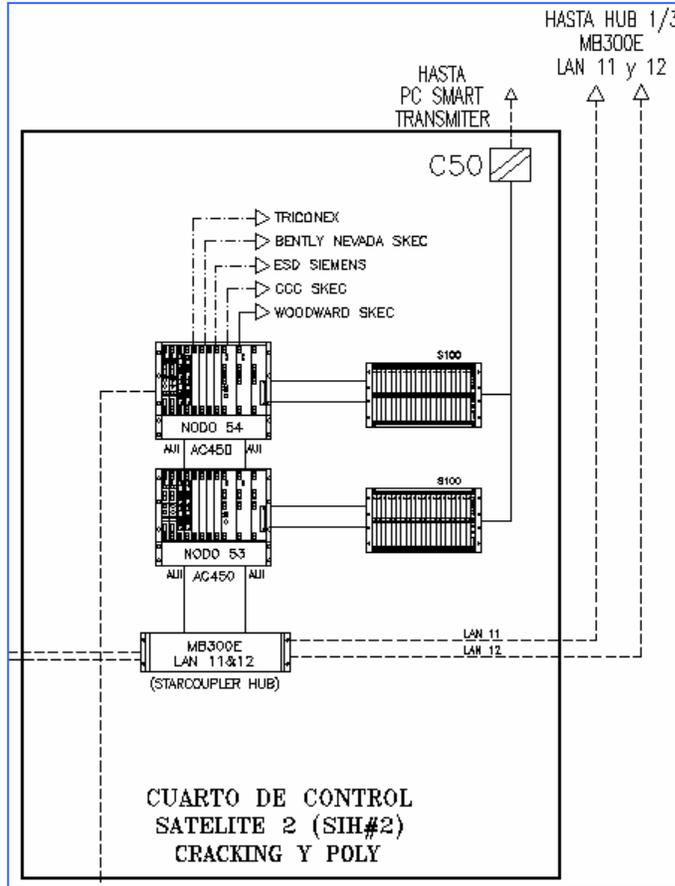
- Realizar principalmente la interfase entre la AS520 (estación de operación) y los AC450 (controladores avanzados).
- Enviar toda la información del proceso al Hub 2/3 de la red de control MB300E (ubicado en el cuarto de comunicaciones, utilizando la red MASTERBUS 300) de manera redundante.

ض Dos AC450 (Controladores Avanzados), los cuales son alimentados por cada uno de los módulos S100. La funciones de estos controladores son:

- Compartir los datos del proceso (porque están interconectados entre sí).
- Llevar los datos hasta el Hub STARCOUPLER .

ض Dos S100 (módulos de E/S), conectados cada uno a un controlador AC450 de manera redundante. También existe una conexión entre cada S100 y un C50 (Conversor de RS232 a Fibra Óptica Multimodo), que permite enviar información a un PC (Smart Transmitter) ubicado en el cuarto de Computadoras. Estos S100 tienen la función de reunir todas las señales de entrada o salida del campo.

**Figura 2.26** Cuarto satélite de cracking y poly

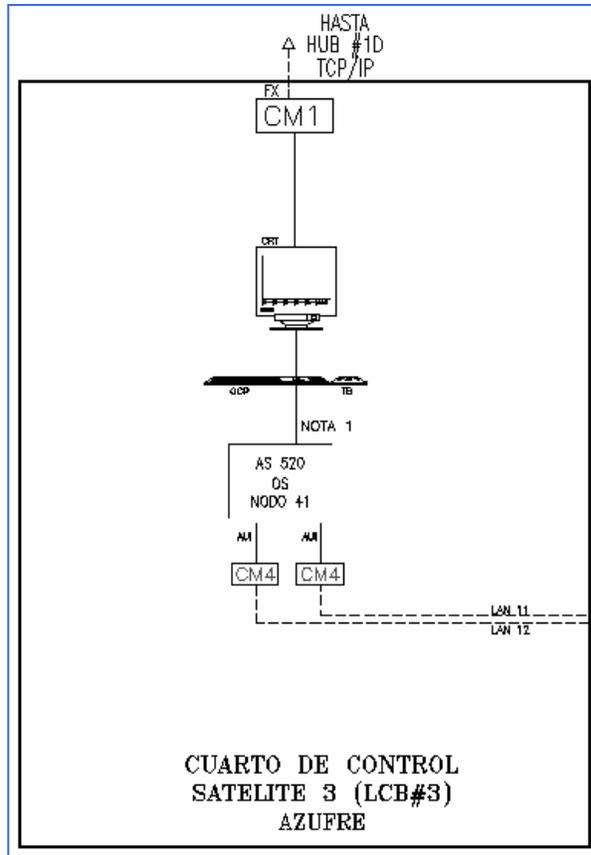


c. Cuarto Satélite de Azufre (LCB#3, Satélite 3).

Una estación de operación AS520 que se encuentra conectada de manera redundante al Hub MASTERBUS 300E. Tiene las siguientes funciones :

- Realizar cambios en los parámetros del proceso.
- Realizar el monitoreo y supervisión del proceso de Azufre y Asfalto.

**Figura 2.27** Cuarto satélite de azufre LCB#3



ض Un Hub STARCOUPLER MASTERBUS 300E cuya comunicación es a través de Fibra Óptica, utilizando dos CM4 (Convertores de AUI a Fibra Óptica Multimodo).

d. Cuarto Satélite de Azufre (Satélite 3).

En este cuarto satélite se encuentran:

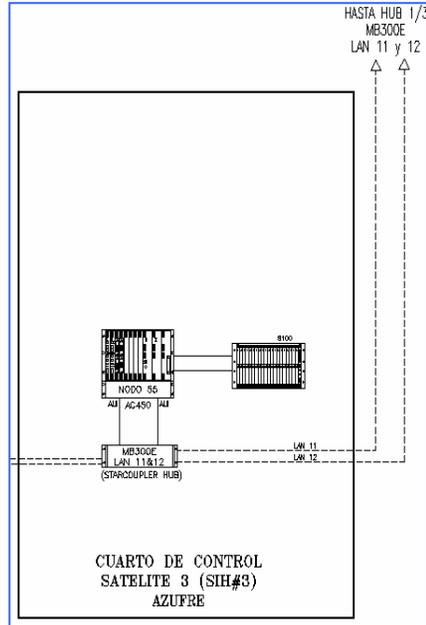
ض Un Hub STARCOUPLER MASTERBUS 300E cuyas funciones son:

- Realizar principalmente la interfase entre la AS520 (estación de operación) de la sección anterior y los AC450 (controladores avanzados).
- Enviar toda la información del proceso al Hub 2/3 de la red de control MB300E (ubicado en el cuarto de comunicaciones, utilizando la red MASTERBUS 300) de manera redundante.

ض Un AC450 (Controlador Avanzado), que se encuentra conectado al S100 (Módulo de entrada / salida). La funciones de este controlador es:

- Compartir los datos del proceso (porque están interconectados entre sí).
- Llevar los datos hasta el Hub STARCOUPLER, al cual se encuentra también interconectado.
- Un S100 (módulo de Entrada / Salida), conectado al controlador AC450 de manera redundante. También existe una conexión entre el S100 y un C50 ( Conversor de RS232 a Fibra Óptica Multimodo), el cual permite enviar información a un PC (Smart Transmitter) ubicado en el cuarto de Computadoras. Estos S100 tienen la función de reunir todas las señales de entrada o salida del campo.

**Figura 2.28.** Cuarto satélite de azufre SIH#3

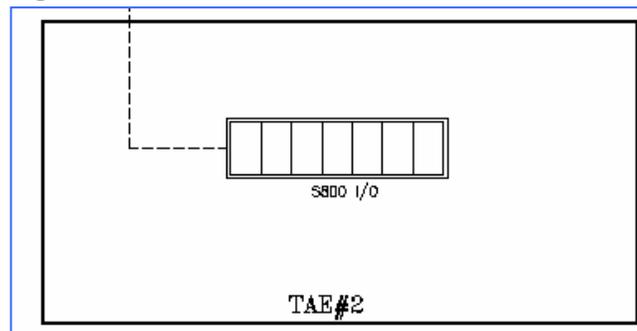


e. TAE #2

Esta sección está formada por:

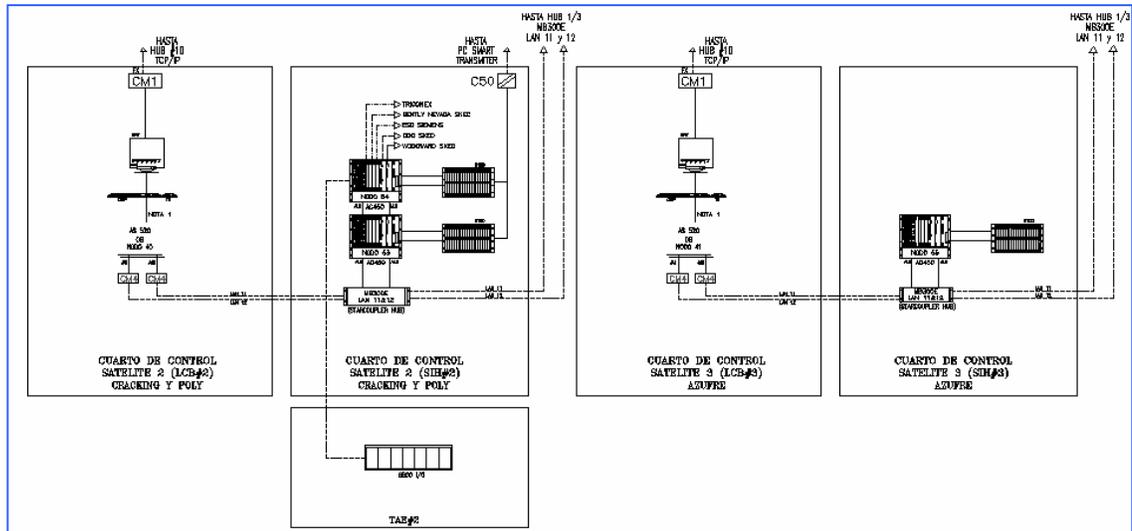
Un S800 (Módulo de Entrada / Salida) que se conecta físicamente a uno de los AC450 (Controladores Avanzados) ubicado en el Cuarto Satélite de Cracking y POLY (Satélite 2) a través de fibra óptica.

**Figura 2.29.** TAE#2



Reuniendo toda la información anteriormente explicada, el área de Cracking se encontraría como se muestra a continuación:

**Figura 2.30.** Área general del área de cracking



f. Cuarto de Aplicaciones y Cuarto de Control Central:

En el cuarto comunicaciones, ubicado cerca al cuarto de control central, se encuentra el Hub 2/3 MB300E que tiene como funciones:

ض Recibir de manera redundante la información proveniente de los cuartos satélites 2 y 3.

ض Enviar información al grupo de consolas de esta área, de manera redundante a través de cable coaxial. Este grupo de consolas a su vez están divididas por dos subgrupos:

1. Consolas de Aplicación (ubicadas en el cuarto de aplicaciones) formada por un grupo de cuatro computadoras, que son:

ض Estación NT y Estación AS530 (Estaciones de Administración de información). Estas estaciones cumplen la función de llevar los registros de los eventos por un período máximo de dos meses, y la de la base de datos en tiempo real.

ض Estación de Ingeniería(AS520), que cumple la función de realizar todo tipo de cambios en las aplicaciones de control y gráficos.

ض Un PC Xterm. Esta computadora no se encuentra conectada a la red MASTERBUS 300, y su función es realizar el acceso a las estaciones de operación desde el cuarto de control de aplicación a través de la red TCP/IP (Proceso que no se explica en este trabajo).

2. Consolas de Operador (ubicadas en el cuarto de control central) formada por:

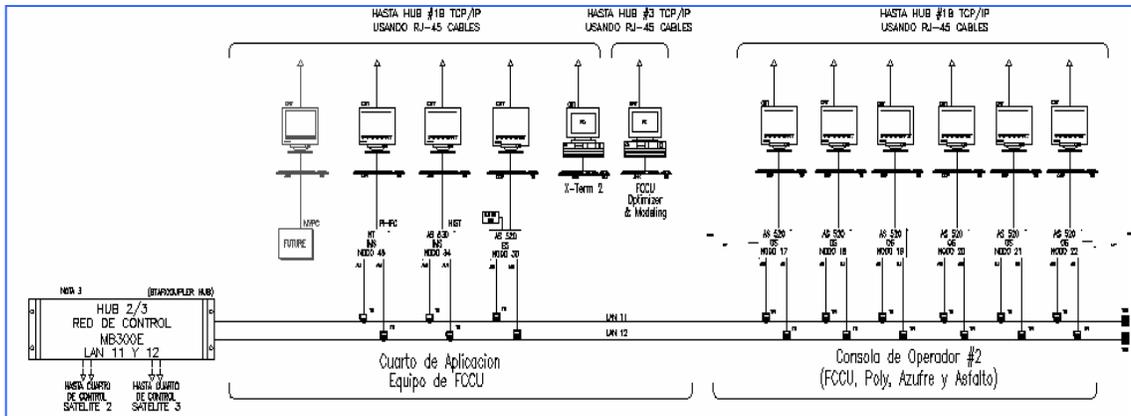
ض Seis AS520 (estaciones de operación), que cumplen la misma función que se describió en las secciones anteriores.

Además, se incluye:

ض Un PC FCCU Optimizer & Modelling (ubicado en el cuarto de aplicación). Su función es optimizar el proceso de Cracking. Ese no es realizado a través de la red MASTERBUS 300, sino a través de TCP/IP (Hub #3).

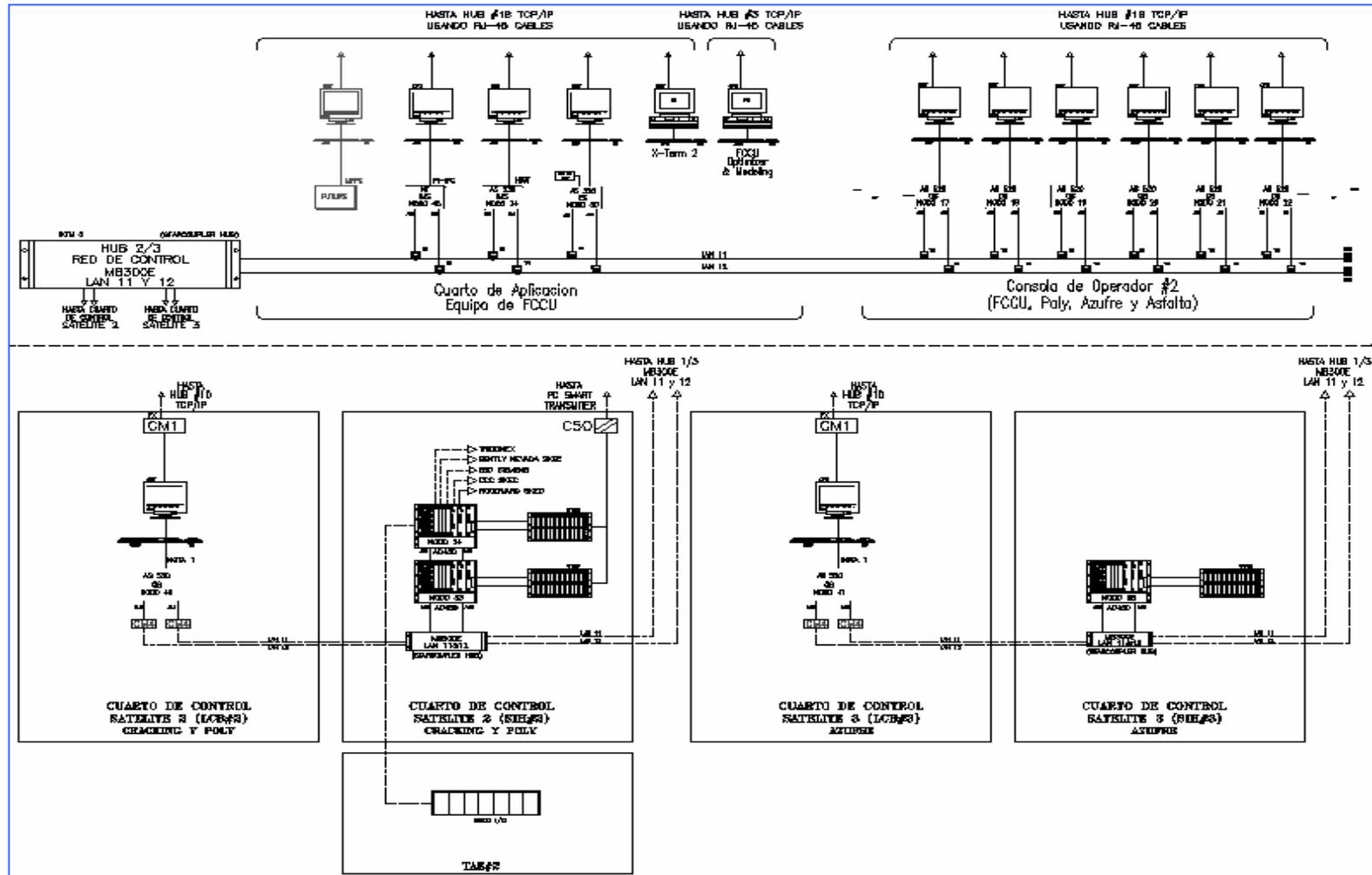
En el siguiente esquema (figura 2.31) se muestra como se encuentran ubicadas las anteriores consolas de aplicación y de operación:

**Figura 2.31.** Grupo de consolas (aplicación y de operador) de cracking.



Integrando los cuartos satélites y el grupo de consolas del cuarto de control central, la arquitectura del sistema de control del área de Cracking se vería como se muestra en la figura 2.32.

Figura 2.32. Arquitectura del sistema de control del área de cracking



### 2.5.3 Área De Elementos Externos

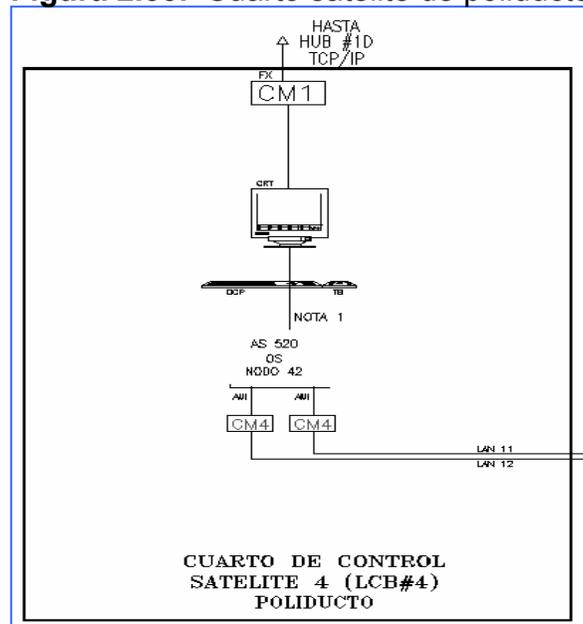
a. Cuarto Satélite de Poliducto (LCB #4, Satélite 4).

En esta sección encontramos una AS520 ( estación de trabajo), que se encuentra conectada de manera redundante por dos cables (los cuales permiten realizar la comunicación por Fibra Óptica) a un Hub STARCOUPLER MASTERBUS 300 (permite realizar la interfase entre el AS520 y los controladores avanzados), utilizando dos CM4 (Conversores de AUI a Fibra Óptica Multimodo). La función que cumple esta estación es:

ض Realizar cambios en los parámetros del proceso.

ض Realizar el monitoreo y supervisión del área de Elementos Externos.

**Figura 2.33.** Cuarto satélite de poliducto LCB #4



b. Cuarto Satélite OFF - SITES ( Satélite 4).

En este cuarto satélite encontramos:

ض Un Hub STARCOUPLER MASTERBUS 300E cuyas funciones son:

- Principalmente realizar la interfase entre la AS520 (estación de operación) de la sección anterior y los AC450 (controladores avanzados).
- Enviar toda la información del proceso al Hub 3/3 de la red de control MB300E (ubicado en el cuarto de comunicaciones, utilizando la red MASTERBUS 300) de manera redundante.

ض Un AC450 (Controlador Avanzado), que se encuentra conectado al S100 (Módulo de entrada / salida). La funciones de este controlador es:

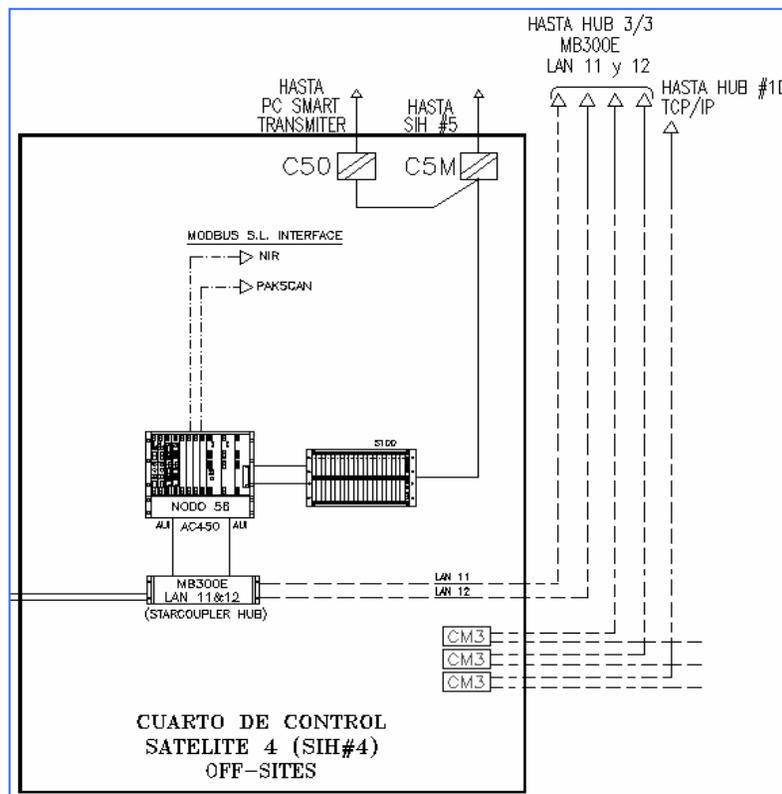
- Compartir los datos del proceso (porque están interconectados entre sí).
- Llevar los datos hasta el Hub STARCOUPLER, al cual se encuentra también interconectado.

ض Un S100 (módulo de Entrada / Salida), conectado al controlador AC450 de manera redundante. También existe una conexión entre el S100 y un C50 (Convertor de RS232 a Fibra Óptica Multimodo), el cual permite enviar información a un PC (Smart Transmitter) ubicado en el cuarto de Computadoras, y una conexión entre el S100 y un C5M (Convertor de RS485 a Fibra Óptica Monomodo), el cual permite enviar información al cuarto satélite

5. estos S100 tienen la función de reunir todas las señales de entrada o salida del campo.

ض Tres CM3 (Convertidores de Fibra Óptica Multimodo a Fibra Óptica Monomodo), cuya función es recibir la información proveniente del Hub STARCOUPLER y del CM1, para luego enviarla al Hub 3/3 MASTERBUS 300 y al Hub TCP/IP #1D (ubicado en el cuarto de comunicaciones).

**Figura 2.34.** Cuarto satélite OFF - SITES



c. Cuarto Satélite TNP ( Satélite 5)

En este cuarto satélite se encuentran:

ض Un Hub STARCOUPLER MASTERBUS 300E cuyas funciones son:

- Realizar principalmente la interfase entre la AS520 (estación de operación) de la sección anterior y los AC450 (controladores avanzados).
- Enviar toda la información del proceso al Hub 3/3 de la red de control MB300E (ubicado en el cuarto de comunicaciones, utilizando la red MASTERBUS 300) de manera redundante, pasando primero por los conversores CM3 ubicados en la sección anterior.

ض Un AC450 (Controlador Avanzado), que se encuentra conectado al S100 (Módulo de entrada / salida). La funciones de este controlador es:

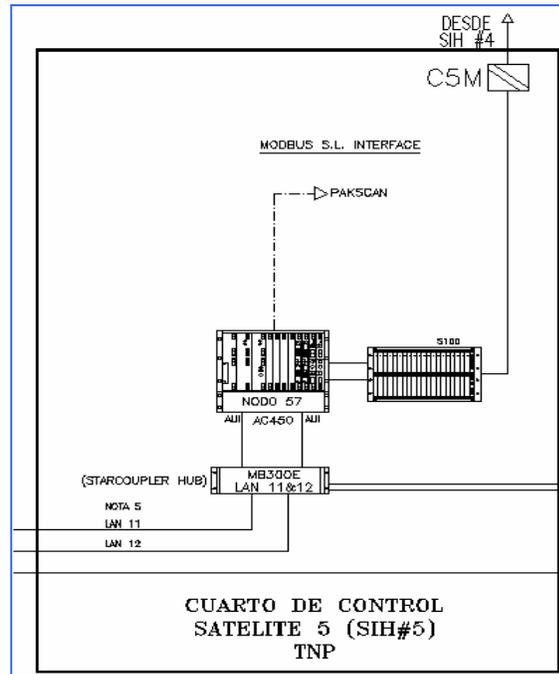
- Compartir los datos del proceso (porque están interconectados entre sí).
- Llevar los datos hasta el Hub STARCOUPLER, al cual se encuentra también interconectado.

ض Un S100 (módulo de Entrada / Salida), conectado al controlador AC450 de manera redundante. También existe una conexión entre el S100 y un C5M (Conversor de RS485 a Fibra Óptica Monomodo), el cual permite recibir información del cuarto satélite #4.

ض Tres CM3 (Conversores de Fibra Óptica Multimodo a Fibra Óptica Monomodo), cuya función es recibir la información proveniente del Hub STARCOUPLER y

del CM1, para luego enviarla al Hub 3/3 MASTERBUS 300 y al Hub TCP/IP #1D (ubicado en el cuarto de comunicaciones).

**Figura 2.35.** Cuarto satélite TNP



d. Cuarto satélite TNP (LCB #5, Satélite 5)

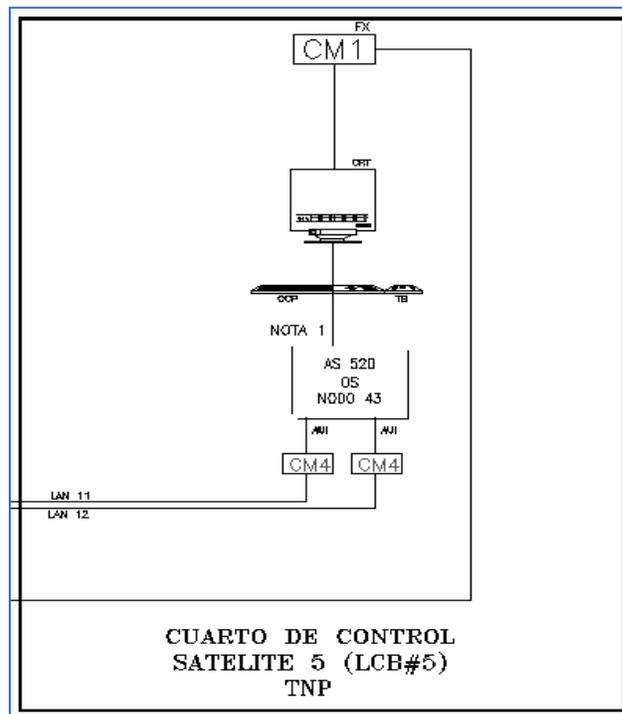
En esta sección encontramos una estación AS520 (estación de trabajo), que se encuentra conectada de manera redundante por dos cables (los cuales permiten realizar la comunicación por Fibra Óptica) a un Hub STARCOUPLER MASTERBUS 300 (permite realizar la interfase entre el AS520 y los controladores avanzados), utilizando dos CM4 (Conversores de AUI a Fibra Óptica Multimodo). Igualmente se encuentra conectada a un CM1 (Conversor de UTP a Fibra Óptica Multimodo), cuya finalidad es enviar información al Hub #1D a través de uno de los

CM3 que se encuentran en el Cuarto Satélite OFF - SITES ( Satélite 4). La función que cumple esta estación es:

ض Realizar cambios en los parámetros del proceso.

ض Realizar el monitoreo y supervisión del proceso de TNP.

**Figura 2.36.** Cuarto satélite TCP LCB #5



e. Cuarto de aplicaciones y Cuarto de Control Central

El Hub 3/3 MB300E localizado en el cuarto de comunicaciones tiene como funciones principales:

ض Recibir de manera redundante la información proveniente de los cuartos satélites 4 y 5.

ض Enviar información al grupo de consolas de esta área, de manera redundante a través de cable coaxial. Este grupo de consolas a su vez está dividida por dos subgrupos:

1. Consolas de Aplicación (ubicadas en el cuarto de aplicaciones) formada por un grupo de cuatro computadoras, que son:

ض Estación NT y Estación AS530 (Estaciones de Administración de información). Estas estaciones cumplen la función de llevar los registros de los eventos por un período máximo de dos meses, y la de la base de datos en tiempo real.

ض Estación de Ingeniería(AS520), que cumple la función de realizar todo tipo de cambios en las aplicaciones de control y gráficos.

ض Un PC Xterm. Esta computadora no se encuentra conectada a la red MASTERBUS 300, y su función es realizar el acceso a las estaciones de operación desde el cuarto de control de aplicación a través de la red TCP/IP (Proceso que no se explica en este trabajo).

2. Consolas de Operador (ubicadas en el cuarto de control central) formada por:

⊘ Seis AS520 (estaciones de operación). Cumplen la función de supervisión y monitoreo de la sección de elementos externos.

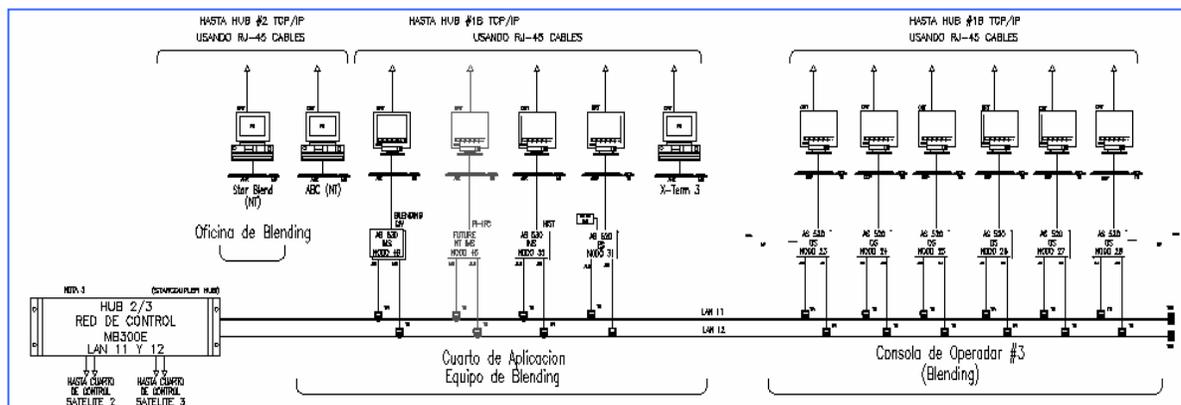
Además, se incluye:

⊘ Un PC Star Blend (Ubicado en el cuarto de aplicaciones), cuya función es realizar los modelos de optimización del proceso de Blending.

⊘ Un el PC ABC (Ubicado en el cuarto de aplicaciones), cuya función es realizar el control avanzado de dicha área. Su conexión es a través del Hub TCP/IP #2.

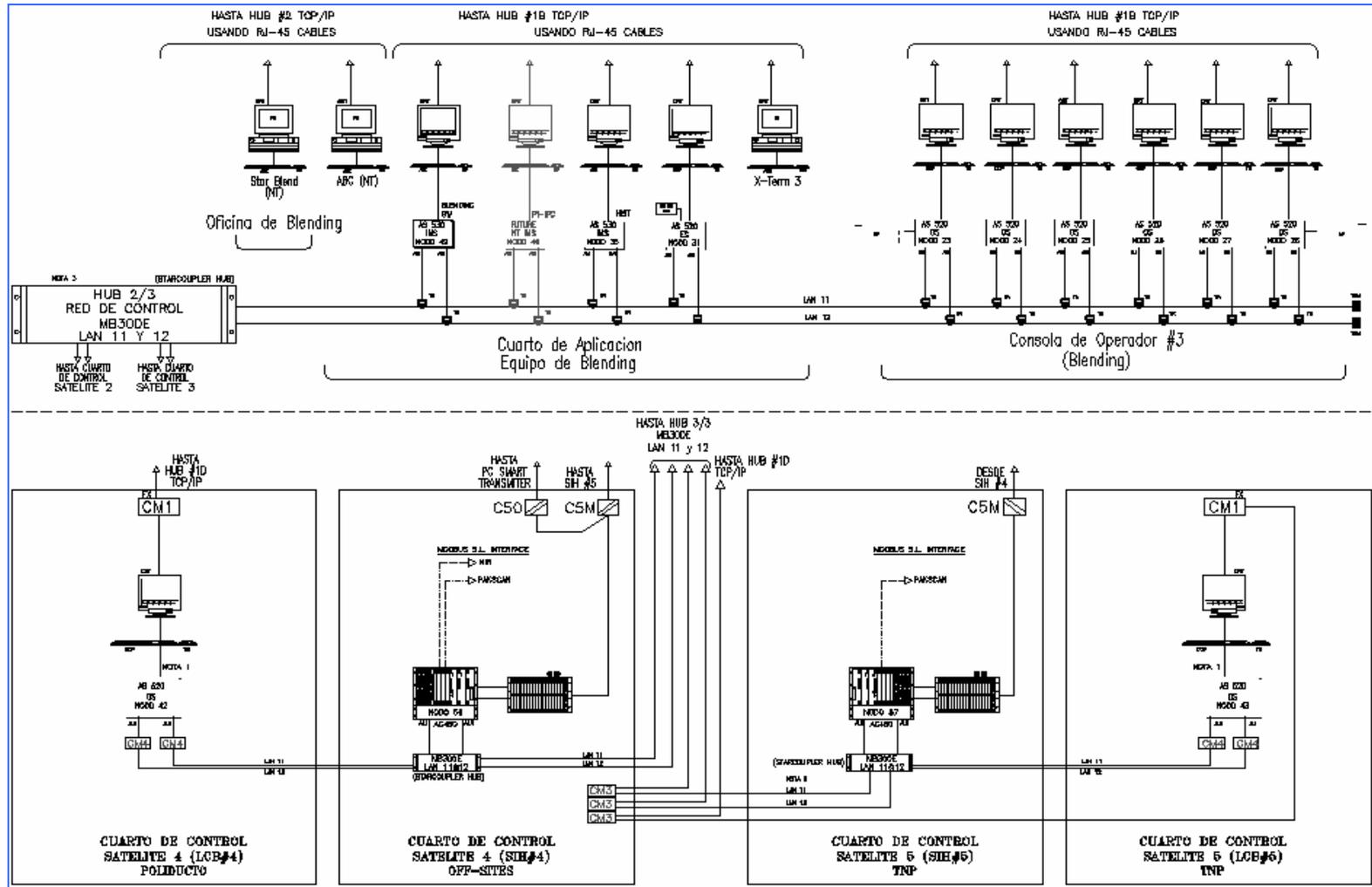
A continuación se muestra una gráfica (figura 2.37) que contiene dichas consolas y su estructura:

**Figura 2.37.** Grupo de consolas (aplicación y de operador) del área de elementos externos



Integrando los cuartos satélites y el grupo de consolas del cuarto de control central, la arquitectura del sistema de control del área de Elementos Externos se vería como se muestra en la figura 2.38.

**Figura 2.38.** Arquitectura del sistema de control del área de elementos externos



### **3. ANÁLISIS POR ÁRBOL DE FALLA**

#### **3.1 ORÍGENES DEL FTA**

El análisis por árbol de fallas (FTA) fue desarrollado en 1962 por la Fuerza Aérea de los Estados Unidos, por los laboratorios Telefónicos Bell, para ser usados en asocio con el análisis de seguridad del sistema de control de lanzamiento de misil de Minuteman, luego fue adoptado y ampliamente utilizado por la compañía Boeing. Este es uno de las muchas técnicas lógicas y analíticas simbólicas que se utilizan en las operaciones de disciplina investigativo.<sup>1</sup>

#### **3.2 DEFINICIONES BÁSICAS**

Los términos falla y falta a menudo se usan mal. Una describe las situaciones a ser evitadas (no responde a lo que se espera estando todo en perfectas condiciones), mientras la otra describe el problema a ser evitado (se comete un

---

<sup>1</sup> P.L.. Clemens. Fault Tree Analysis: February 2002, p.4.

error). Con el tiempo, aparecen nuevos conceptos que guardan relación con los previamente citados, uno particularmente importante es avería; el cual ha llegado a ser definido en términos de servicios especificados provistos por un sistema.

**3.2.1 Falla.** Es un estado indeseable anormal presente en un sistema o en un elemento del sistema (subsistema, componentes, piezas), que puede ser producido por la presencia de un comando inapropiado o la ausencia de uno apropiado. Todas las faltas causan fallas; pero no todas las fallas son causadas por faltas. Por ejemplo si un sistema ha sido apagado por especificaciones de seguridad, éste no habrá fallado.<sup>2</sup>

**3.2.2 Falta.** Es una pérdida del funcionamiento deseado producida por un sistema o un elemento del sistema (subsistema, componentes, piezas). Por ejemplo cuando se tiene un relé cuyos contactos están corroídos, en él no pasará la corriente necesaria para cerrar los contactos, ó cuando la bobina del relé se ha quemado, de manera que los contactos no se cerrarán cuando se dé la orden. En este caso el relé ha cometido una falta. Un dispositivo de protección que funciona como se desea no comete falta (fusible por soplo magnético).<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Rogina, Pablo J. Tolerancia a Fallas en Sistemas de Tiempo Real, <http://www.dc.uba.ar>.

**3.2.3 Avería.** Se dice que un sistema tiene una *avería* si el servicio que provee al usuario se desvía del cumplimiento con la especificación del sistema por un período de tiempo especificado, por tanto una *falla* es la causa adjudicada de una avería.

**3.2.3.1 Averías Primarias O Básicas.** Los elementos se dañan a pesar de NO estar expuestos a ambientes y esfuerzos de su funcionamiento que superan su rango de desempeño normal.

Por ejemplo, si se daña el resorte de un relé estando este dentro del tiempo de su vida útil, o si un sello de una válvula permite goteo estando ésta en su rango de presión adecuado.

**3.2.3.2 Averías Secundarias.** Son aquellas averías provocadas por la exposición del elemento a ambientes y esfuerzos de servicios que exceden su rango de funcionamiento normal. Por ejemplo si el elemento ha sido diseñado, seleccionado, instalado o calibrado inapropiadamente para la aplicación, o dicho elemento está sobre esforzado, o subcalificado para su actividad o carga.

### 3.3 DEFINICIÓN DE ÁRBOL DE FALLAS

ض El "Análisis por Árbol de Fallas" (FTA) es una técnica deductiva que estudia un accidente eventual en particular (evento tope) y construye un diagrama lógico de la secuencia de todos los eventos accidentales concebibles (tanto mecánicos como humanos) que puedan originar el evento tope.<sup>3</sup>

ض El "Árbol de Fallas" es una ilustración gráfica de las diversas combinaciones de fallas y defectos en los equipos y errores humanos que puedan dar como resultado el evento tope.

ض El FTA es un método para analizar eventos peligrosos, una vez que éstos han sido identificados por medio de alguna otra técnica, para luego realizar el análisis del contexto y operaciones que permitan encontrar las distintas causas que provocaron el evento indeseado.<sup>4</sup>

ض Es un modelo gráfico que muestra los límites dentro de un sistema y permite realizar una predicción de los eventos indeseables de dicho sistema. La gráfica interconecta eventos y condiciones usando símbolos estándar lógicos. Es

---

<sup>3</sup> Salud ocupacional en petroleras. <http://www.col.ops-oms.org/saludambiente/SOIP/3aSeguridad.htm>

<sup>4</sup> Smith, Curtis L. An Overview of Probabilistic Risk Assessment Concepts.

posible introducir y propagar a través del modelo probabilidades numéricas y de ocurrencia para evaluar la posibilidad de predicción del evento indeseado.

### **3.4 CAMPO DE APLICACIÓN DE FTA**

La técnica de análisis por árbol de fallas es utilizado para investigar la confiabilidad y seguridad de grandes y complejos sistemas para aplicaciones de diagnósticos.

La principal razón para su amplio uso (particularmente en industrias aeroespaciales, nucleares, plantas con procesos complejos) es debido a su gran relación con la seguridad humana, además reduce la posibilidad que suceda el evento tope, al determinar las fallas y errores que pudieran causarlo, como se interactúan y cómo, la posibilidad de cada uno de ellos, determinan la probabilidad de ocurrencia del evento tope.

También permite analizar los efectos de cambio o adición de componentes a un sistema, por ejemplo, la instalación de un sistema de alarmas de alto nivel o paro. Si existe un modo de falla crítica, a ésta le serán descubiertas todas las posibles formas que pudieran causar dicho estado.

A continuación se presentan algunas situaciones en las que el FTA es aplicable:

- ض Sistemas de alto riesgo o sistemas donde se perciben grandes amenazas o daños.
  
- ض Numerosas contribuciones potenciales que generan perjuicios.
  
- ض Procesos o sistemas complejos o que requieren de múltiples elementos para su funcionamiento.
  
- ض Eventos indeseables identificados previamente.
  
- ض En aquellas aplicaciones donde no se pueden distinguir con facilidad las causas de las averías del sistema.
  
- ض Durante el diseño, modificación, operación o mantenimiento de instalaciones.
  
- ض En el análisis de procesos nuevos o desconocidos para los cuales no existe historia, pero existen bases de datos confiables de otras instalaciones similares.

### 3.5 PREPARACIÓN PARA FTA<sup>5</sup>

Antes de iniciar el análisis por árbol de fallas se requieren tener en cuenta los siguientes pasos:

ض Construir un diagrama de bloque del sistema que resume el funcionamiento general del sistema, tal y como se mostraron en capítulos anteriores para el sistema eléctrico y de comunicaciones.

ض Evaluar el diseño, operación y entorno del sistema mediante un diagnóstico, tal y como se desarrolló en el capítulo 2.

ض Partir del diagnóstico realizado, para identificar las relaciones causa y efecto que gobiernan la falla del sistema.

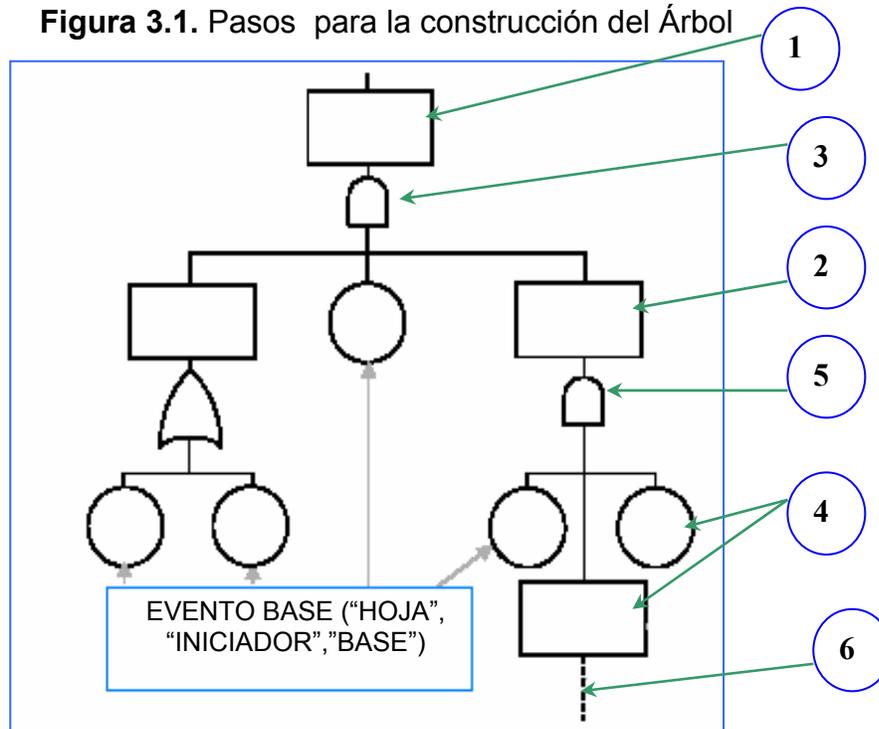
ض Construir un diagrama de flujo o diagrama funcional del proceso del sistema, teniendo como elementos básicos para su elaboración símbolos lógicos como se muestra en el Anexo B.

---

<sup>5</sup> NASA Lewis Research Center<sup>1</sup>, Fault Tree Analysis (FTA)

### 3.6 PASOS PARA EL ANÁLISIS POR ÁRBOL DE FALLAS<sup>6</sup>

Figura 3.1. Pasos para la construcción del Árbol



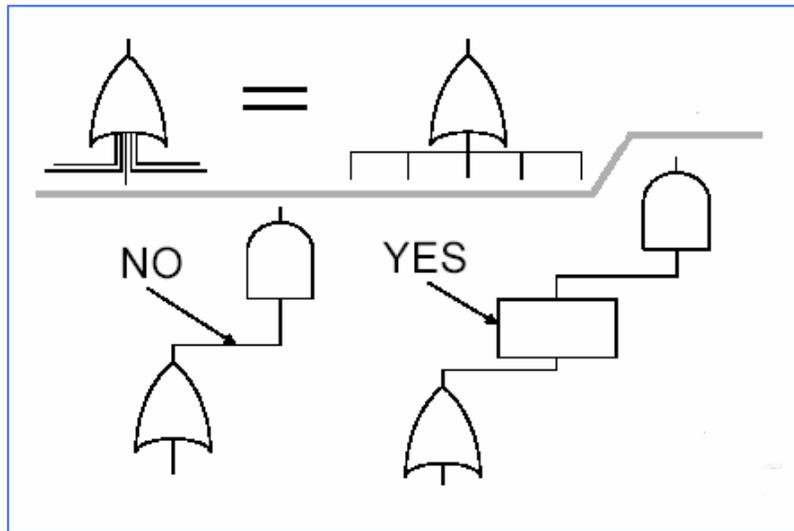
1. Identificar el evento tope indeseado.
2. Identificar las causas del primer nivel.
3. Unir las causas al evento tope usando compuertas lógicas, ya sea compuerta AND o compuerta OR (son las compuertas básicas).
4. Identificar las causas de segundo nivel.
5. Unir las causas del segundo nivel con las causas del nivel superior.
6. Repetir el proceso y continuar hasta que se llegue al evento base (piso de falla).

<sup>6</sup> P.L. Clemens. Fault Tree Analysis: February 2002, p.12.

### 3.7 REGLAS Y CONVENCIONES<sup>7</sup>

Algunas reglas y convenciones para el análisis por árbol de fallas son:

**Figura 3.2.** Reglas y convenciones para el diseño del FTA



ض Utilice una sola entrada a la compuerta que incluya la unión de las demás entradas.

ض No utilice la salida de una compuerta como entrada a otra compuerta.

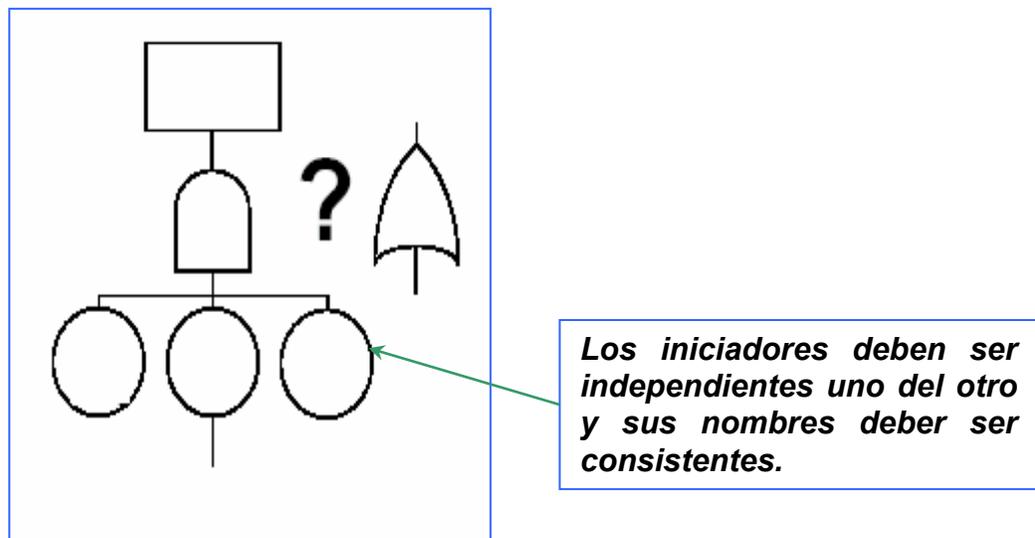
ض Debe ser consistente al nombrar las condiciones / eventos de fallas. Utilice el mismo nombre para la misma condición o evento durante todo el análisis (utilice índices numéricos para árboles extensos).

<sup>7</sup> P.L. Clemens. Fault Tree Analysis: February 2002, p.13-14.

ض Mencione qué falla y cómo se produce la falla (Elemento + falla de funcionamiento).

ض Los iniciadores deben ser independientes uno del otro y sus nombres deben ser consistentes.<sup>8</sup>

**Figura 3.3.** Reglas de los iniciadores



### 3.8 IDENTIFICACIÓN DE LOS EVENTOS TOPES

ض Investigar los registros históricos (los propios del sistema y otros existentes).

ض Observar las fuentes de energía.

ض Identificar las causas potenciales de averías.

<sup>8</sup> P.L. Clemens. Fault Tree Analysis: February 2002, p.15.- p.16

ض    Desarrollar el análisis “¿Qué pasa si?”

ض    Utilice la “lista de compras” para verificar que elementos presentan mayor reemplazo.

### **3.9 ANÁLISIS “¿QUÉ PASA SI?”<sup>9</sup>**

El procedimiento "¿Qué Pasa Si?" es básicamente un método no estructurado para considerar los resultados de eventos inesperados que pudieran llevar a resultados no deseados. Este método comienza con el uso de la pregunta "¿Qué pasa si...". Por ejemplo: considerando específicamente en nuestro caso, la operación del sistema de control distribuido ABB Advant de la refinería.

- a) ¿ Qué pasa sí un controlador AC 450 falla ?
  
- b) ¿ Qué pasa sí los módulos I/O S100 fallan ?
  
- c) ¿ Qué pasa si la fuente de alimentación del controlador AC450 nodo 50 del SIH1 falla?

---

<sup>9</sup> Seguridad Industrial. Organización panamericana de la Salud.

d) ¿Qué pasa sí la comunicación entre el HUB StarCuopler del SIH1 y el HUB MB300 1/3 ubicado en el CCB falla?

e) ¿Qué pasa sí la UPS 01 del SIH1 falla?

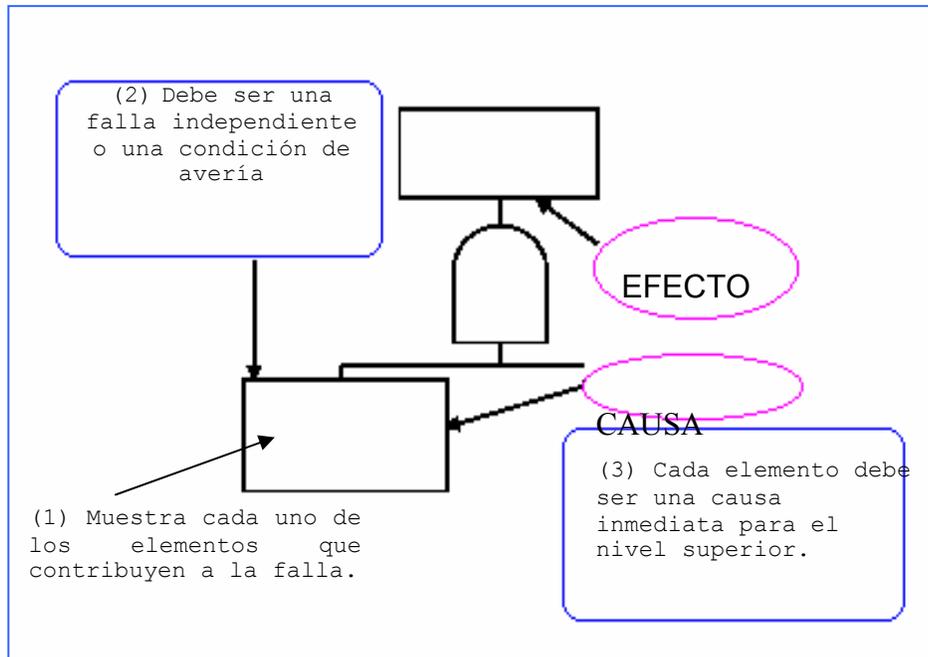
f) ¿Qué pasa sí el operador ejecuta una acción de control errada?

Este método, a diferencia del análisis por árbol de fallas, no analiza la situación de cómo ocurre el "¿Qué pasa sí?". Por ejemplo, se asume que la comunicación entre el HUB StarCuopler del SIH1 y el HUB MB300 1/3 ubicado en el CCB puede fallar, pero el modo en que falla no es importante en este análisis. EL éxito en estos tipos de análisis depende, en gran parte del conocimiento que se tenga acerca del sistema que se está analizando.

### **3.10 PROCESO DE AGREGAR CAUSAS AL ÁRBOL**

Tanto un grupo de elementos causantes de fallas que se encuentre por debajo de la compuerta AND, e individualmente por debajo de la compuerta OR deben ser necesarios y suficientes, como causa inmediata del evento de salida.

**Figura 3.4.** Reglas para agregar causas al árbol



Las fallas que se encuentren en un nivel dado y además estén por debajo de una compuerta determinada deben ser independientes de las demás (típicamente se describe por un nombre, un verbo que indica acción y modificadores específicos). Así mismo es posible que la misma falla aparezca en otros puntos del árbol.

Ejemplos:

ض Fallo del suministro eléctrico de potencia.

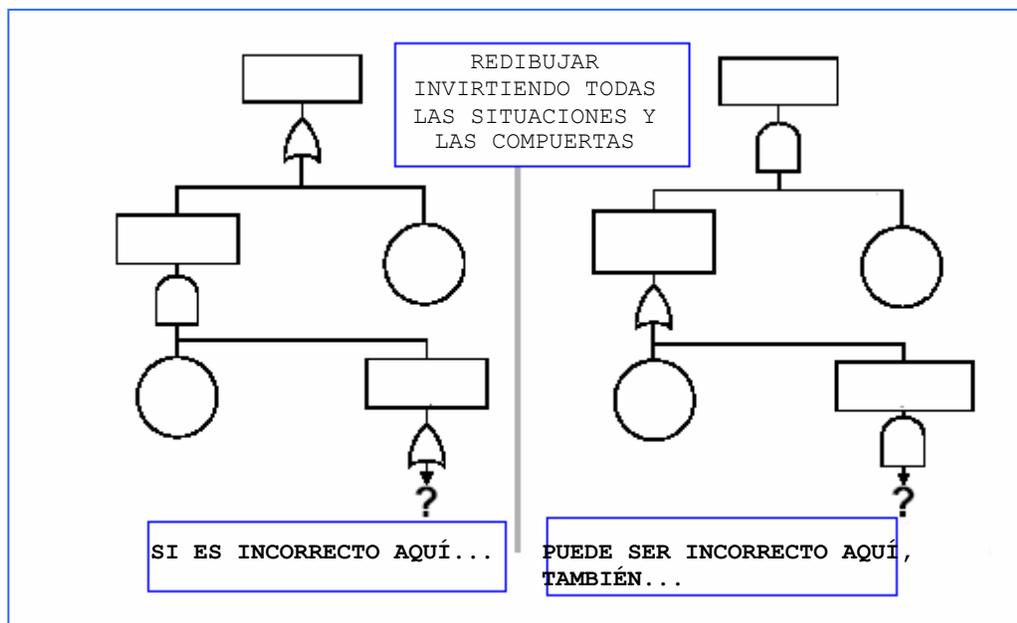
ض Falla de comunicación.

ض Avería física de un elemento.

### 3.11 PRUEBA LÓGICA EN EL DOMINIO DEL TIEMPO<sup>10</sup>

Se puede realizar una prueba lógica del árbol de fallas, redibujando el diagrama pero esta vez invirtiendo todas las situaciones y las compuertas; si de ésta forma no funciona de manera lógica el árbol tampoco funcionará de la manera original.

**Figura 3.5.** Prueba lógica del FTA



### 3.12 ATRIBUCIONES Y LIMITACIONES

El análisis por árbol de fallas, al igual que otras herramientas analíticas, presentan ciertas situaciones en las cuales son inoperables y atribuciones lógicas que deben

<sup>10</sup> P.L. Clemens. Fault Tree Analysis: February 2002, p.24.

ser tomadas en consideración al momento de desarrollarla. Algunos de estas limitaciones y atribuciones son:

ض Sistemas irreparables.

ض Según Markov:

- Las tasas de fallas son constantes.
  
- El futuro no depende del pasado. Por ejemplo: los estados futuros disponibles para el sistema dependen solo de sus estados presentes y del modelo disponible para él, no como consiguió llegar al estado actual.

ض Según Bernulli:

- Cada elemento del sistema analizado tiene dos estados mutuamente excluyentes.

### **3.13 RESULTADOS DEL ANÁLISIS POR ÁRBOL DE FALLAS**

Mediante la realización del análisis por árbol de fallas se obtienen un conjunto de elementos y herramientas con las cuales se pueden realizar numerosos análisis

posteriores, con el fin de efectuar mejoras en el proceso que se esté evaluando.

Algunos de los resultados que se logran son:

ض Un gráfico ilustrativo de las cadenas o sucesiones de eventos / condiciones que conllevan al evento tope.

ض Identificación de las causas potenciales de las fallas que son críticas.

ض Mejoras en el entendimiento de las características del sistema.

ض Conocimiento cualitativo y cuantitativo de las distintas posibilidades de ocurrencia del evento tope seleccionado para el análisis con el fin de prevenir las fallas.

ض Guías para recursos de reorganización que permitan optimizar el control de riesgo .

ض Documentación de los resultados analíticos.

### **3.14 HERRAMIENTAS UTILIZADAS PARA EL ANÁLISIS POR ÁRBOL DE FALLAS**

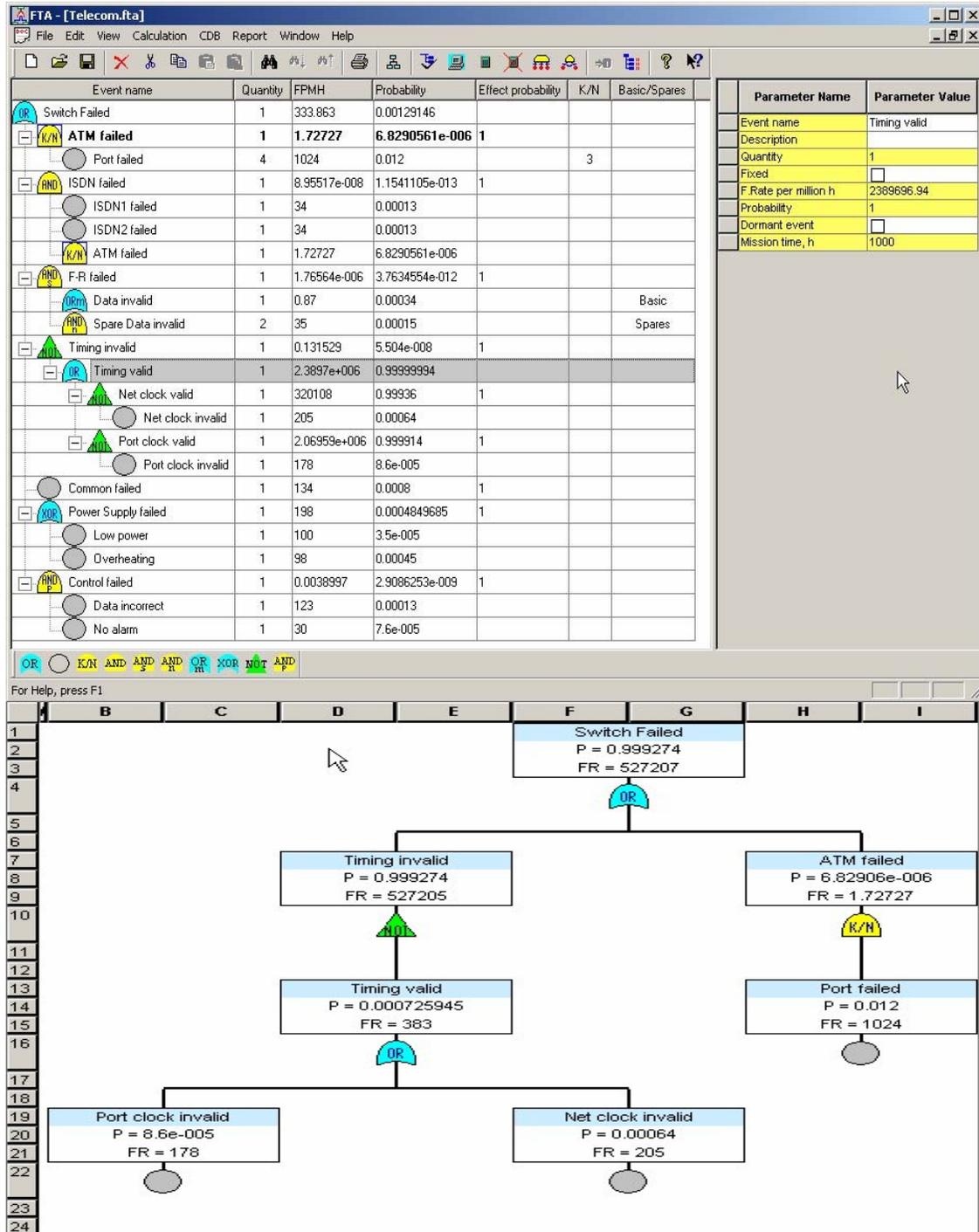
En la actualidad, existen numerosos softwares que ayudan a un desarrollo analítico y probabilístico más profundo del árbol de fallas, además que proporcionan gran facilidad para el uso de sus elementos, tales como las compuertas lógicas, evento tope, evento base, entre otros. A continuación se citarán algunos de ellos.

**3.14.1 CARE®FTA:** Este programa permite realizar árbol de fallas con los respectivo cálculos de la tasa y probabilidad de ocurrencia de los eventos, presenta una gran variedad de compuertas, tales como K-de-N, OR, OR-Markov, AND, AND-stand-by, AND con prioridad, NOT y XOR. Adicionalmente, proporciona un reporte o resultado final en una ventana independiente con los valores probabilísticos de ocurrencia del evento tope por causa de alguna falla de los elementos que hacen parte del árbol.<sup>11</sup> La plataforma manejada por este programa se muestra en la figura 3.6.

---

<sup>11</sup> Reliability Engineering Ltda, <http://www.bqr.com/FTA.html>

Figura 3.6 Plataforma del software CARE



**3.14.2 Formal-FTA.**<sup>12</sup> Es una herramienta avanzada para el análisis por árbol de fallas. Tiene como principales ventajas:

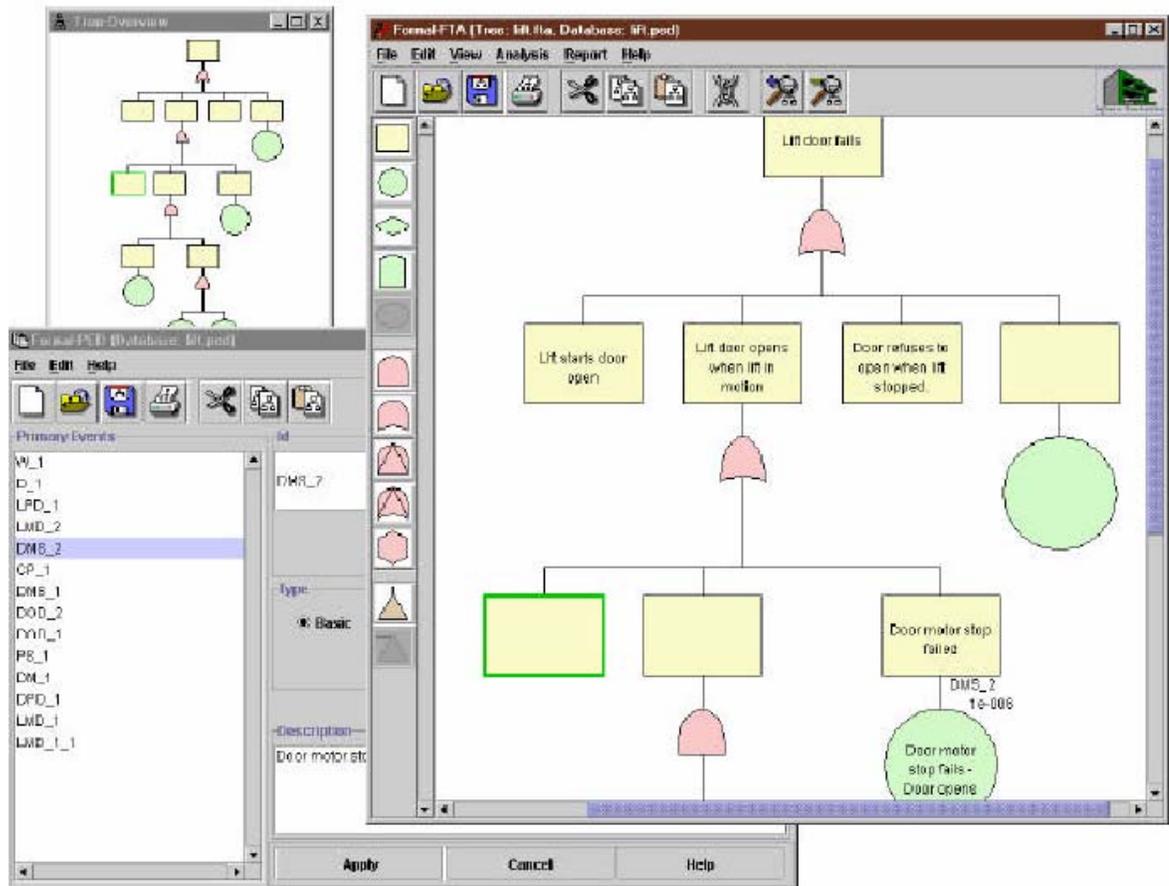
- ض Una interfase avanzada del usuario para la construcción del árbol.
- ض Realiza algoritmos potentes para la determinación de cortes y fallas mínimas, incluyendo simulaciones como la de Monte Carlo para encontrar no sólo la probabilidad de una falla del sistema, sino también para identificar estadísticamente el mínimo valor límite de falla y su importancia para el sistema.
- ض No tiene limitaciones para el número de eventos, cantidad de análisis a realizar, ni para cantidad de compuertas a utilizar.
- ض Se pueden compartir y trasferir los naálisis de un archivo a otro.
- ض Trabaja bajo múltiples plataformas, tales como Unix systems (Sun, Linux etc.), Microsoft Windows (98, NT, 2000, XP) y Macintosh Mac OS X.

La plataforma manejada por este programa se muestra en la figura 3.7.

---

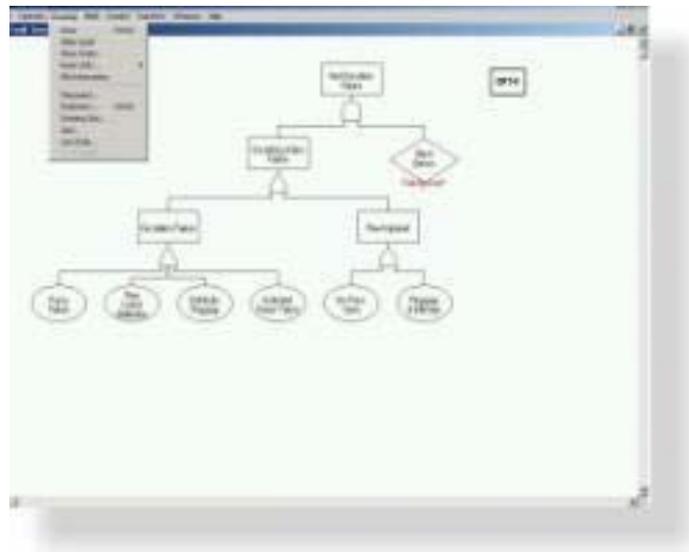
<sup>12</sup> [http://www.fsc.co.uk/Java\\_FTA\\_01.PDF](http://www.fsc.co.uk/Java_FTA_01.PDF).

Figura 3.7 Plataforma del software Formal-FTA



**3.14.3. FaultrEASE.** Es un programa para crear, editar y sistematizar árbol de fallas, es muy práctico y fácil manejar y construir los elementos del árbol de falla, además permite reducir aquellos árbol de fallas en los cuales existen elementos repetidos mediante evaluaciones directas, siendo este método que utiliza más efectivo que el método de reducción booleana<sup>13</sup>. Este programa trabaja bajo la plataforma Windows y Macintosh. El entorno que maneja se puede observar en la figura 3.8.

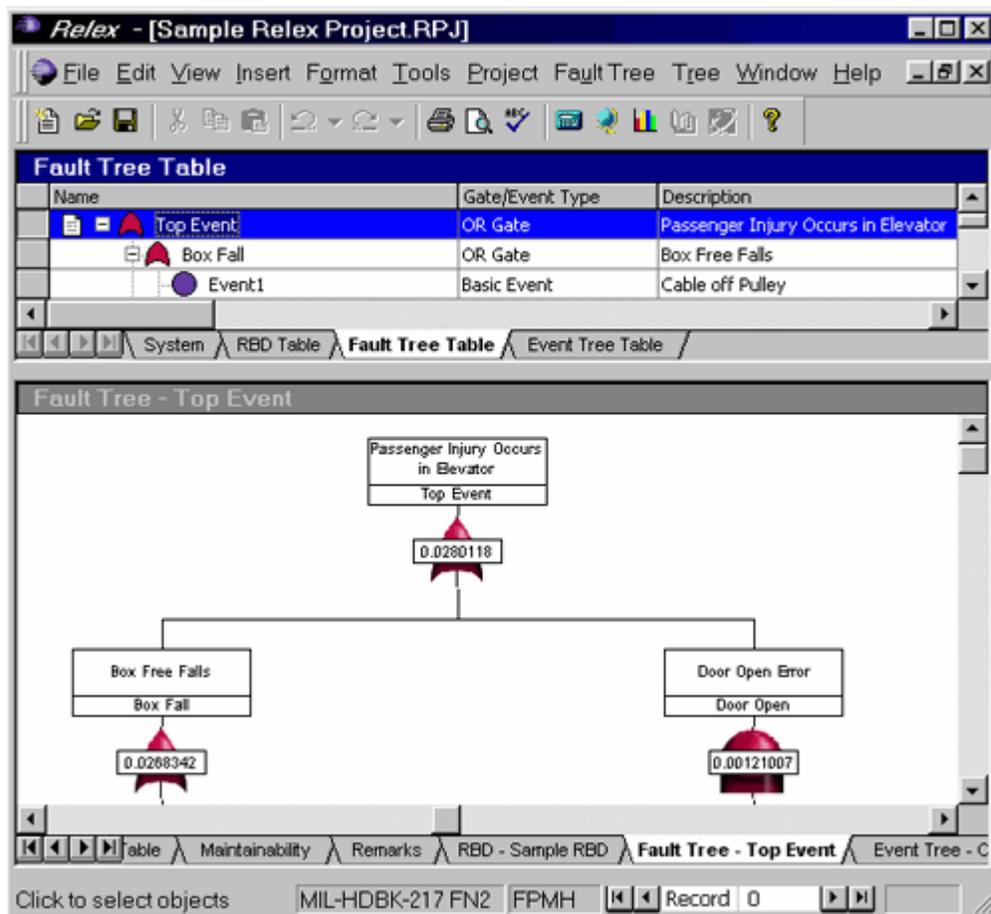
**Figura 3.8.** Plataforma del software FaultrEASE.



<sup>13</sup>Chempute Software, <http://www.chempute.com/faultrea.htm>

**3.14.4. Relex Fault Tree/Event Tree Features.** Presenta una interfase flexible e interactivo para la construcción de árbol de fallas. Éste programa puede construir automáticamente un árbol de falla, partiendo de un análisis FMEA (análisis de formas de fallas y efectos). Incluye simulación con el algoritmo Monte Carlo al igual que el análisis de Markov.<sup>14</sup> El entorno gráfico que utiliza este software se muestra en la figura 3.9.

**Figura 3.9** Plataforma del software Relex Fault Tree/Event Tree



<sup>14</sup> Relex Software Corporation, <http://www.relexsoftware.com/products/ftaeta.asp>

### 3.15. DESARROLLO DEL ÁRBOL DE FALLA

**3.15.1 Construcción de la lógica.** Basándose en una investigación previa y detalla de las características, funcionamiento normal a través de documentos, registros históricos del sistema, esquemas de conexiones, Lay outs, PDMs (Equipment Panel Data Manuals), cuadros de cargas, esquemas trifilares, entre otros, se pudo observar e identificar las causas potenciales de averías y determinar de esta manera los elementos que hacen parte del árbol de fallo del sistema de control distribuido ABB Advant de una refinería.

1. Evento tope indeseado.

Los eventos topes identificados para el sistema son:

ض La falla ó caída de la planta de Crudo.

ض La falla ó caída de la planta de Cracking.

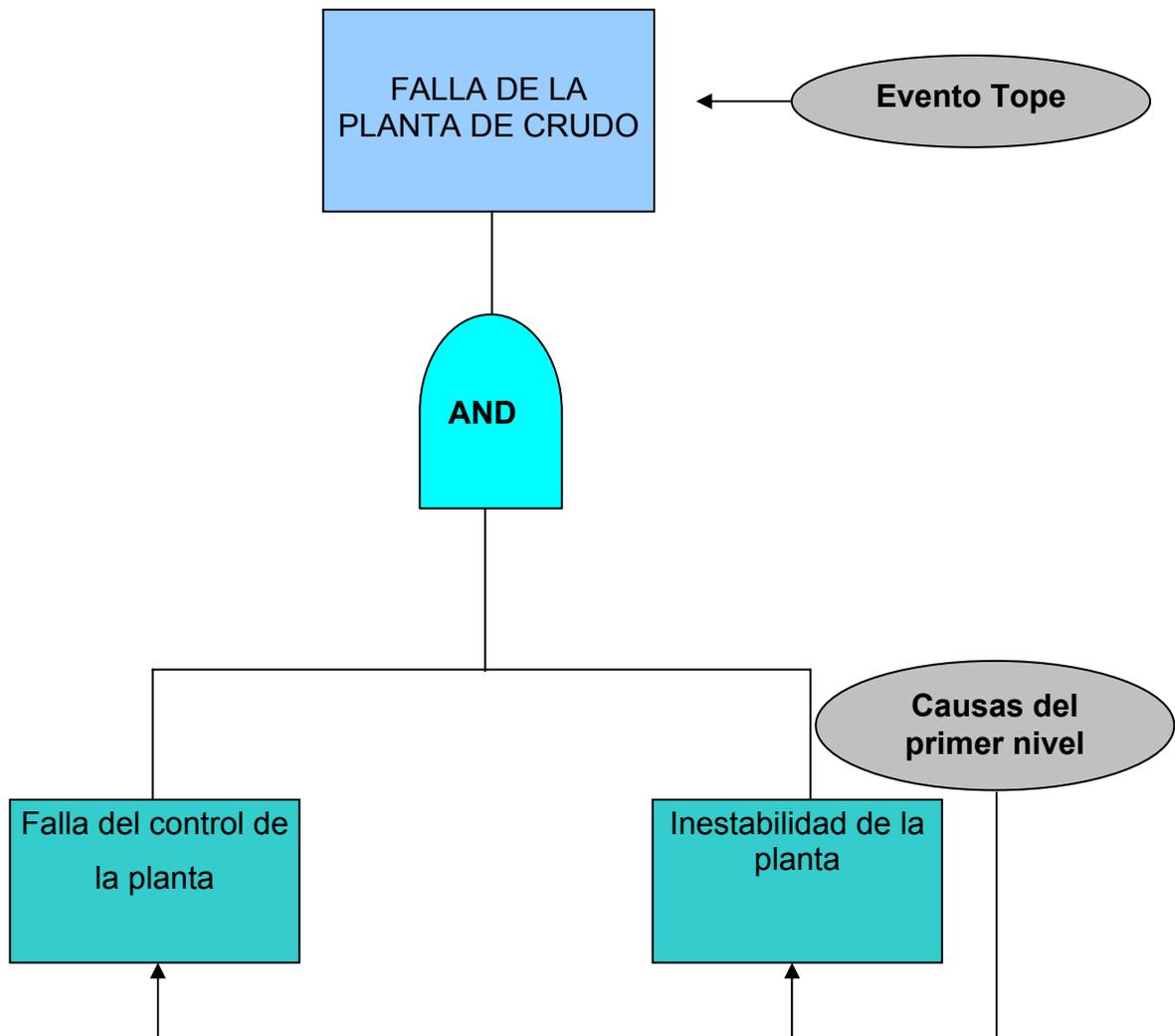
ض La falla ó caída de la planta de Blending.

2. Causas del primer nivel.

❌ Falla del control de la planta.

❌ Inestabilidad de la planta.

**Figura 3.10.** Construcción lógica de los dos primeros niveles



3. Unión de las causas al evento tope mediante compuertas lógicas.

En este caso se muestra el análisis para la planta de crudo.

El evento indeseable es la caída o falla de la planta de Crudo. Las entradas a la compuerta AND son:

ض La falla del control de la planta.

ض Inestabilidad de los parámetros, variables e instrumentos de la planta.

Por lo tanto, se hace necesario que se efectúen ambas fallas, de manera que causen el evento tope.

4. Identificar las causas de segundo nivel.

ض Control incorrecto de la planta. Es decir, a pesar que se puede realizar el control, éste se realiza de manera incorrecta.

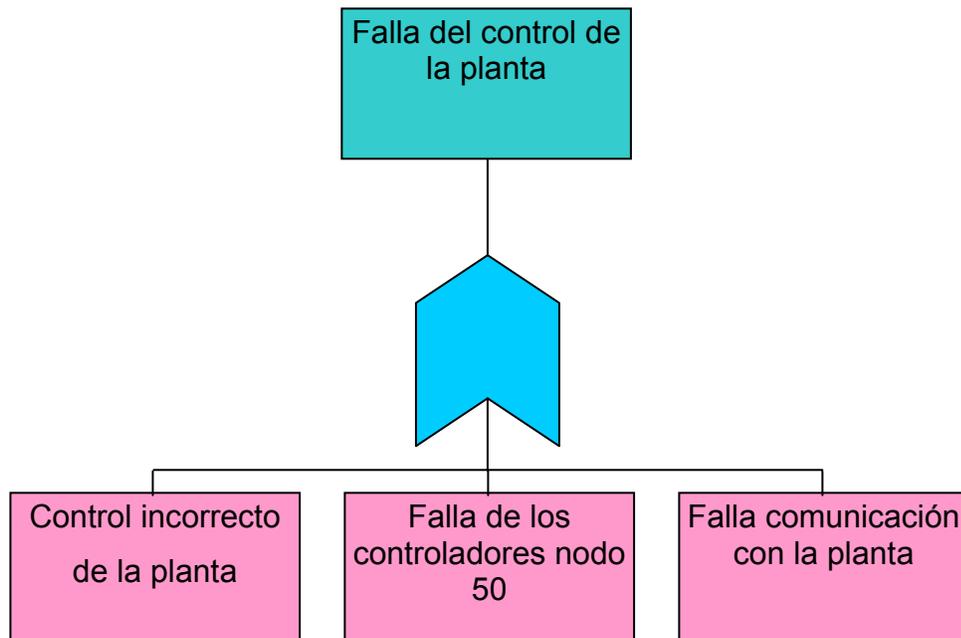
ض Falla de los controladores AC 450 nodo 50. En este caso fallaría el control debido a que los elementos encargados de efectuarlos han fallado, cabe anotarse que se disponen de dos controladores redundantes, por lo que se requiere la falla en ambos controladores, para que pueda cumplirse la condición de falla.

ض Falla de la comunicación con la planta. En este caso, a pesar que se puede realizar una acción de control, ésta no puede aplicarse a la planta debido a que se ha perdido la comunicación con ella.

5. Unir las causas del segundo nivel con las causas del nivel superior.

Siguiendo con el caso del análisis de la planta de Crudo se muestra la unión con el primer nivel mediante el uso de compuertas lógicas.

**Figura 3.11.** Construcción lógica del segundo y tercer nivel



La secuencia mostrada en la figura 3.11 pertenece a las causas de la falla del sistema de supervisión de la planta de Crudo, las cuales son parte de las causas del segundo nivel mencionadas en el ítem anterior.

6. Repetir el proceso y continuar hasta que se llegue al evento base (piso de falla).

### **3.16. DISEÑO COMPLETO DEL ÁRBOL DE FALLAS**

El árbol de fallas que se desarrollara en el Anexo C. corresponde al área operativa de Crudo. Debido a la gran similitud de la arquitectura, elementos o equipos principales que utilizan las demás áreas operativas, analizando dicha área se obtendrá el análisis de las áreas restantes.

### **3.17 SEGUIMIENTO DEL ANÁLISIS ANTE LA FALLA DE UN DISPOSITIVO DEL SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO ABB ADVANT.**

Con el fin de realizar un análisis guía de la interpretación correcta del árbol de fallo desarrollado en este documento, se efectúa una prueba del AAF correspondiente a la falla de uno de los equipos que hace parte del sistema de control distribuido ABB advant de la refinería. En este caso, se partirá de la existencia de una avería física (por cualquier motivo) del HUB StarCoupler del SIH1, que se resalta en color verde oscuro en la figura 3.12.

Teniendo en cuenta esta avería, se produciría una falla en el funcionamiento del HUB StarCoupler. La falla en el funcionamiento de este dispositivo afecta directamente la transmisión de información proveniente de la planta o proceso de crudo hacia la red de control (LAN 11 y LAN 12) en el SIH1, por lo cual imposibilitará la comunicación entre la estación de operación AS520 y los módulos I/O S100 correspondientes a dicho cuarto satélite. Esta secuencia se presenta tanto para la sección I, como para la sección S, pero en esta última se ven afectadas las consolas de operación Crudo que se encuentran en el CCB. En este caso, la falla del HUB StarCoupler del SIH1 también imposibilitaría la transmisión o comunicación de información hacia el HUB MB300E ubicado en el CCB, por lo que no se tendría la posibilidad de intercambiar la información de las variables propias

de la planta Crudo con ninguna de sus estaciones de operación (las del CCB y SIH1).

Como consecuencia, no sería posible realizar las funciones correspondientes de las estaciones de operación, tales como supervisión y monitoreo del proceso, provocando una falla en la comunicación con la planta por parte del sistema de control distribuido.

A causa de la imposibilidad de comunicación del sistema con la planta, no se podría ejercer o efectuar algún tipo de control por parte de los operadores (“quedando el sistema a ciegas”), estado que si se le adiciona la inestabilidad de las variables del proceso provocaría la falla inmediata de la planta Crudo de la refinería.

Figura 3.12 Análisis del árbol de fallas ante la falla del HUB StarCoupler

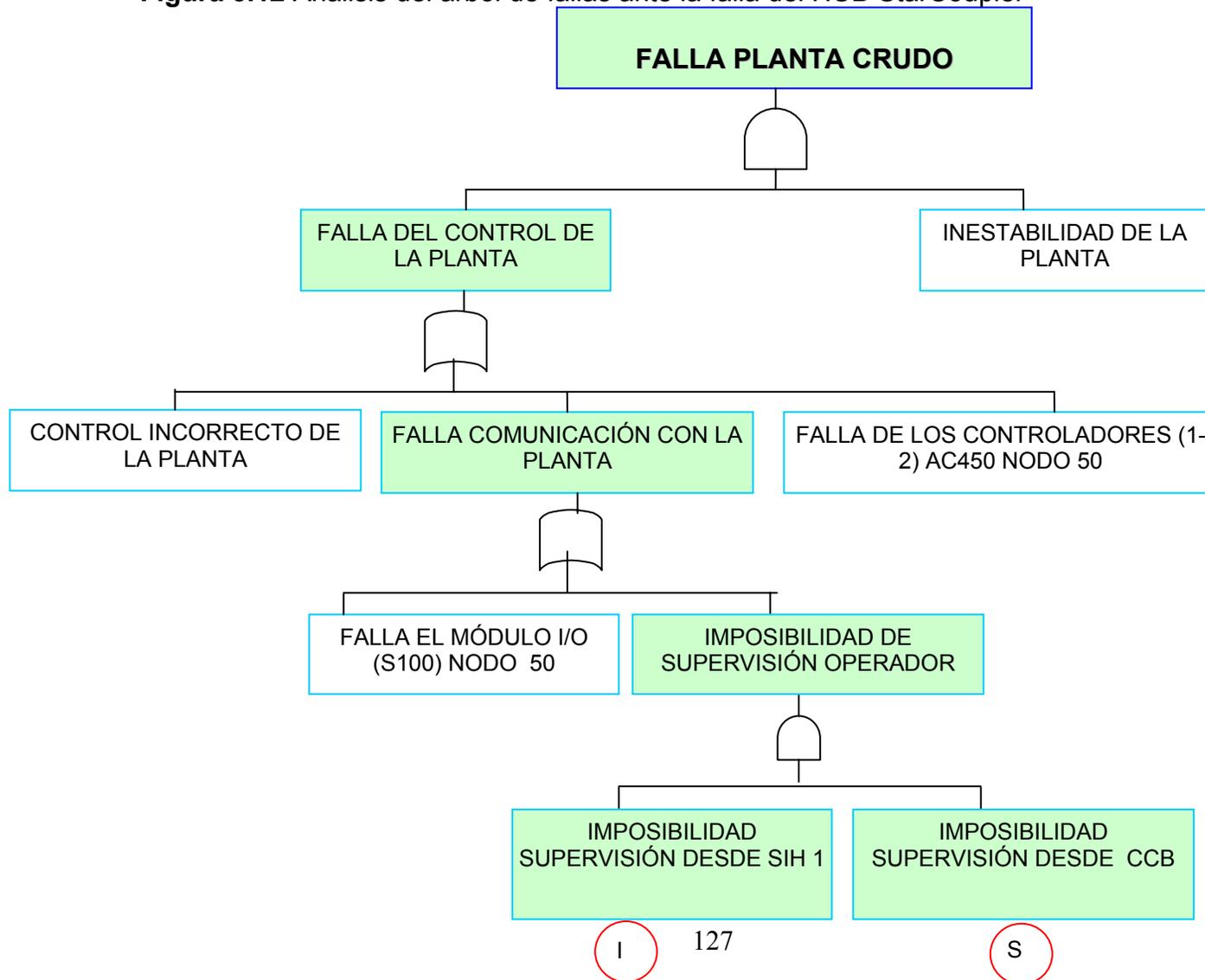


Figura 3.13 Sección I del análisis por árbol de fallas

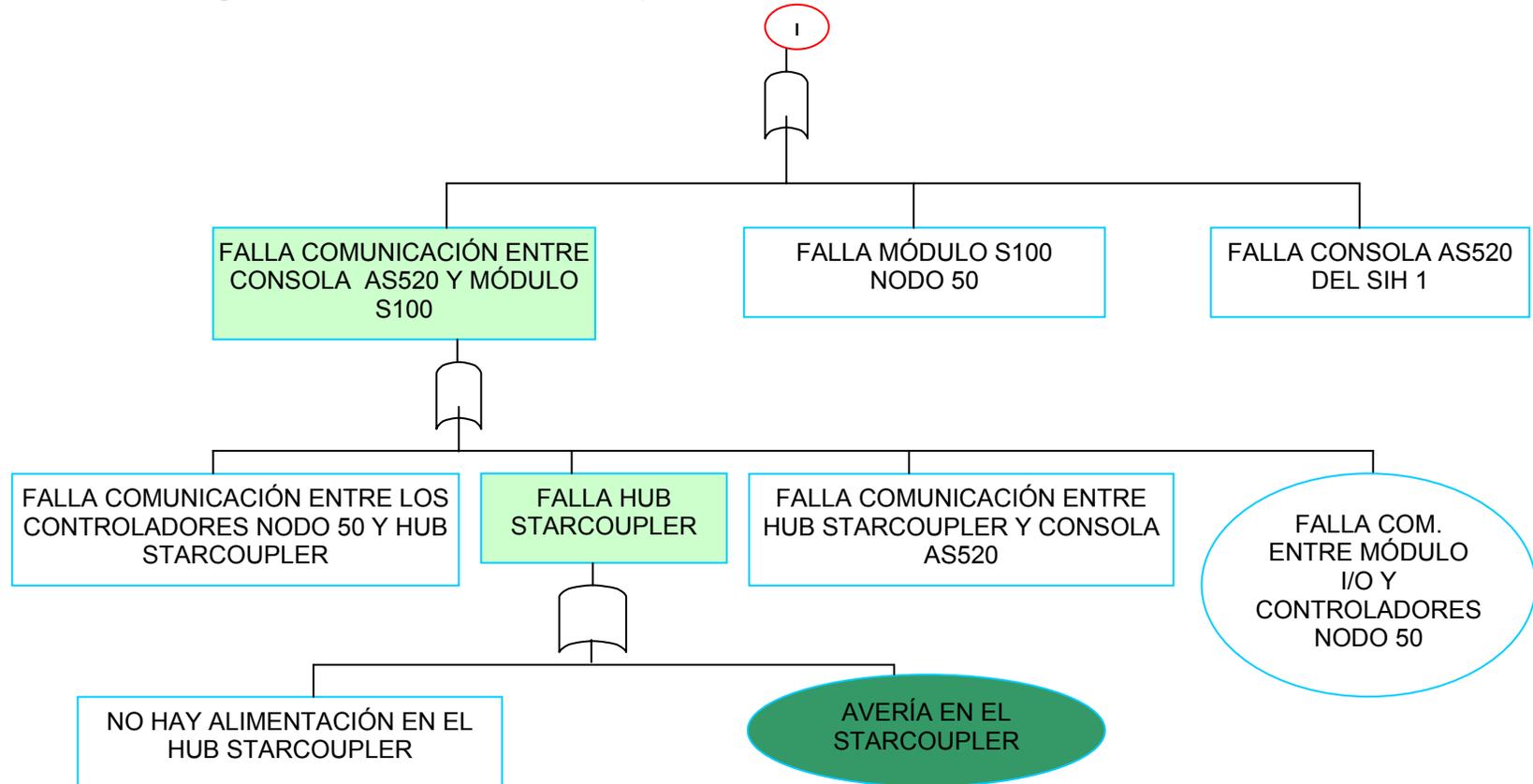
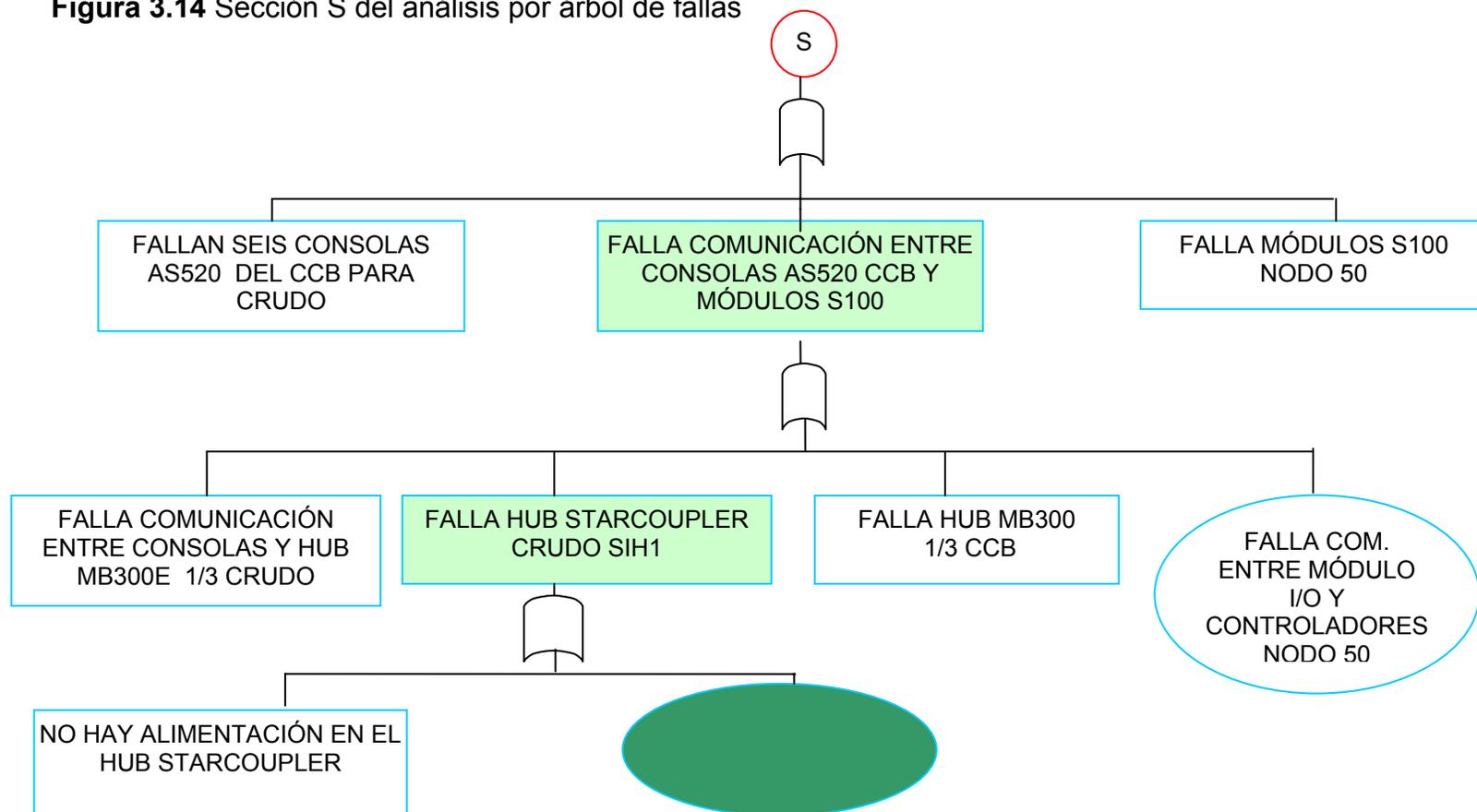


Figura 3.14 Sección S del análisis por árbol de fallas



### **3.18 PRUEBA LÓGICA DEL ÁRBOL DE FALLO**

Una de las formas para validar el funcionamiento correcto del árbol de fallos se realiza a través de una prueba lógica en la cual se considera como uno lógico (verdadero) la ocurrencia del evento y como un cero lógico (falso) el estado de no ocurrencia del evento.

Evaluando el caso anterior de la avería en el HUB StarCoupler se obtendrían los estados de salida y entrada de las compuertas como se muestra en la figura 3.15, 3.16 y 3.17.

Figura 3.15 Prueba lógica del árbol de fallas

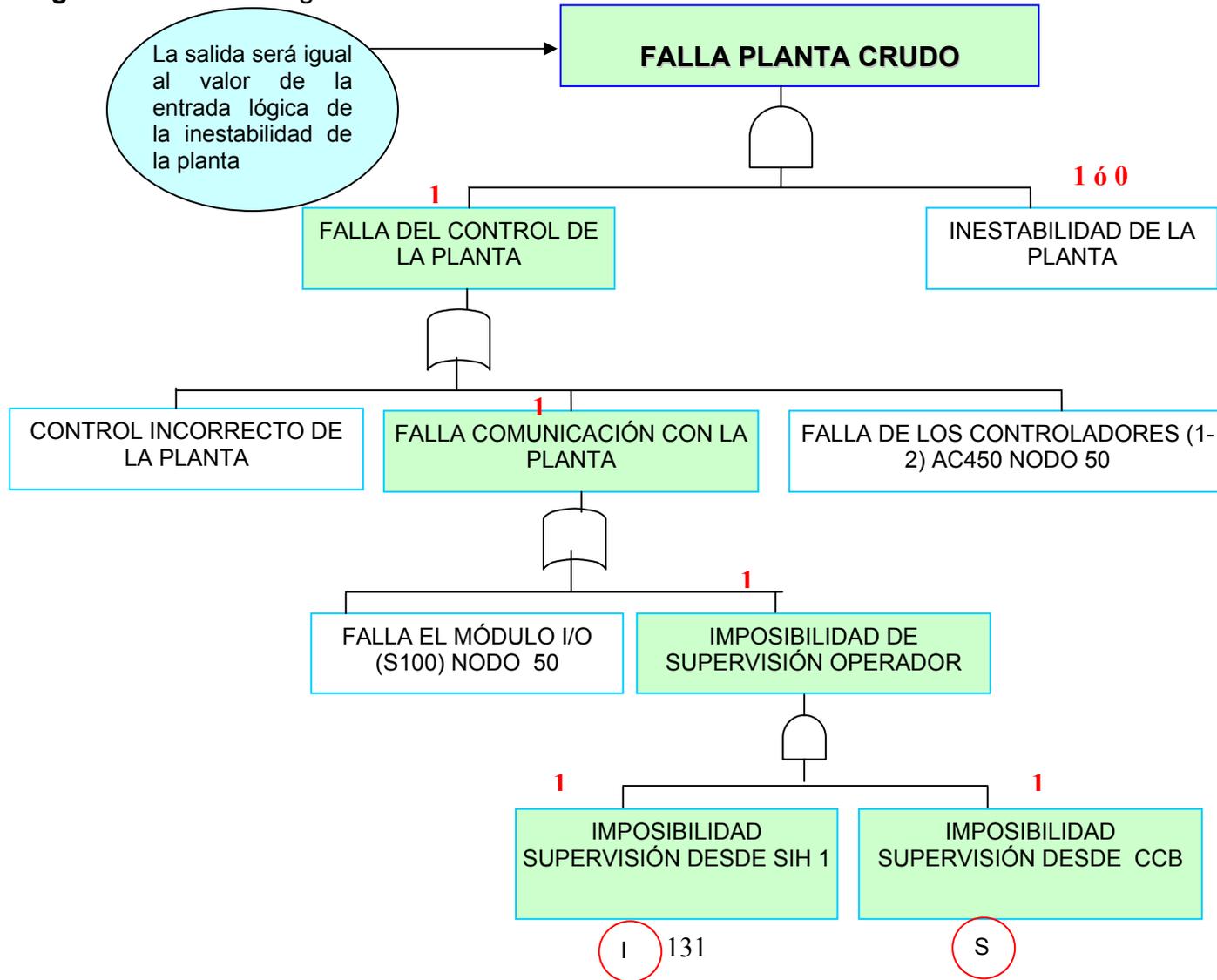
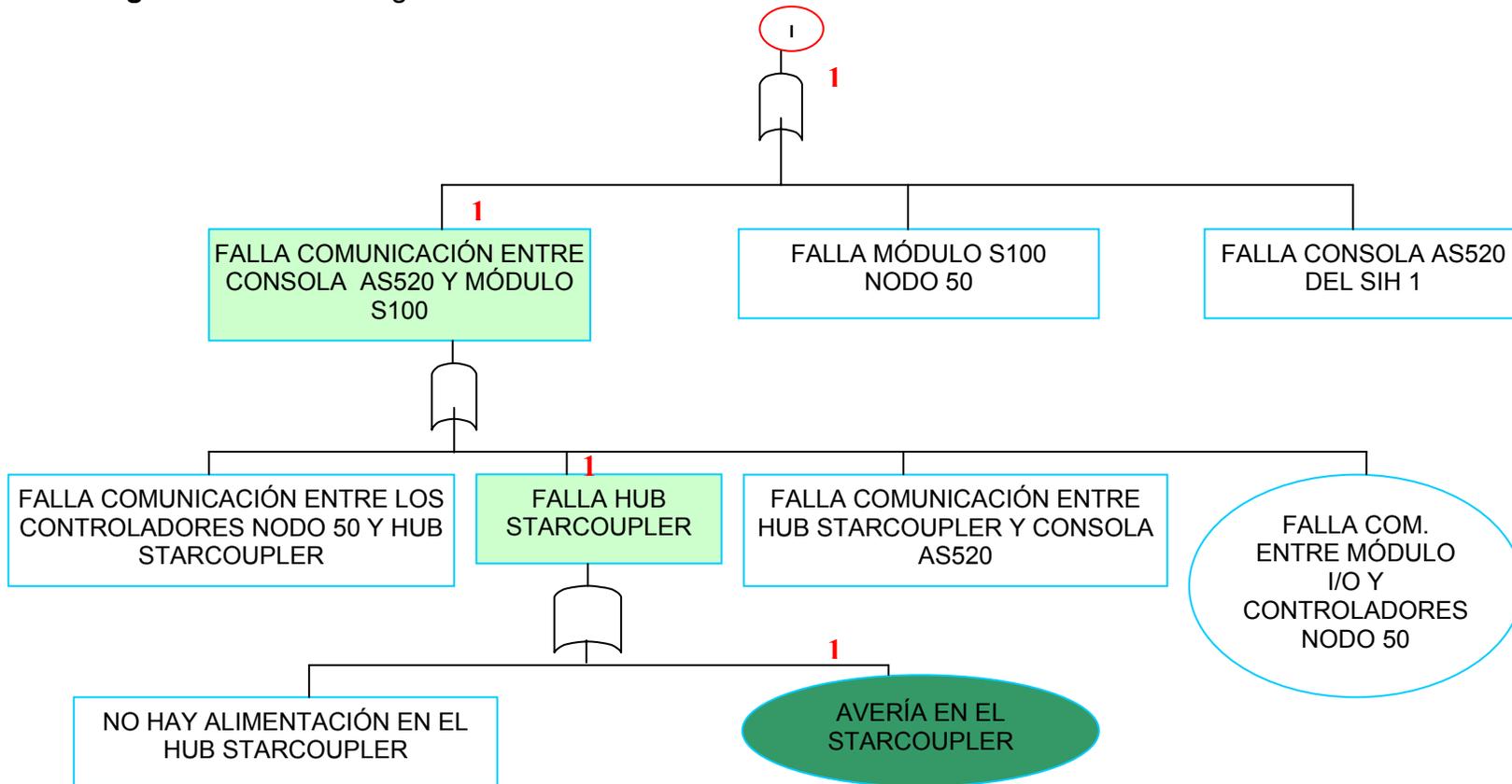
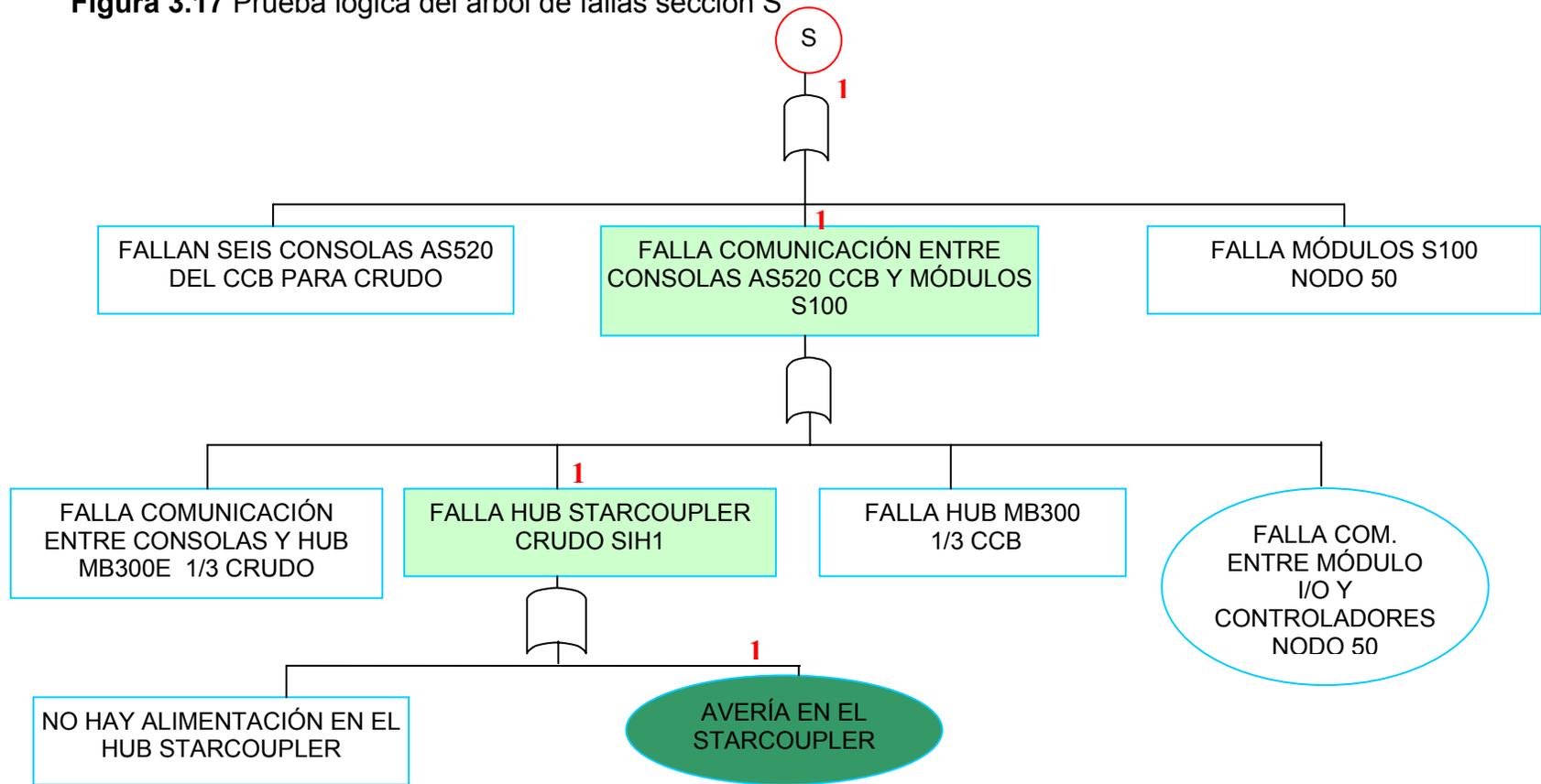


Figura 3.16 Prueba lógica del árbol de fallas sección I



**Figura 3.17** Prueba lógica del árbol de fallas sección S



#### **4. CONCLUSIONES**

El diagnóstico y análisis mediante la metodología por árbol de fallo del sistema resultó fundamental, en el proceso que conduce a la investigación en pro del mejoramiento de la confiabilidad en el control de procesos de la refinería, ya que es un factor que permitió, por medio del estudio y diagnóstico de las fuentes potenciales de fallas dentro del sistema de control distribuido ABB Advant (controladores AC 450, HUBs MB300, consolas, fuentes duales, UPSs, etc.), la comprensión de la relación y/o contribución de cada una de estas fuentes para alcanzar el evento tope ó indeseado.

Adicionalmente, por medio del AAF se pudo analizar los efectos de la adición de algunos elementos o dispositivos en el sistema de control (descritos en las recomendaciones), de manera que la planta pueda continuar con su funcionamiento normal, a pesar de la existencia de fallas de los componentes del sistema de control ABB Advant de la refinería.

Cabe anotar, que el sistema de control distribuido ABB Advant descrito, presenta una alta tolerancia a fallas en muchos de sus equipos críticos (tanto del sistema eléctrico como de comunicaciones); aspecto que se pudo igualmente corroborar

en forma gráfica, mediante el árbol de fallo desarrollado. Esta situación, se debe principalmente al uso de redundancia; en la mayoría de los casos de tipo física (utilización de dos controladores, dos UPSs, dos redes LAN de control, etc), algunos en modo activo (redes de control, fuentes para los controladores, etc), y otros en respaldo primario (banco de baterías), permitiendo que el sistema tolere la pérdida o mal funcionamiento de alguno de dichos componentes y que sea “transparente” para la planta y el proceso.

En general, el objetivo principal proporcionado con el diagnóstico del sistema de control distribuido, fue verificar el grado de disponibilidad; (preparado para usarse cuando se necesite), confianza (capaz de proveer continuidad de servicio mientras se está usando), y seguridad (no tener una consecuencia catastrófica) del sistema, obteniéndose respuestas positivas del sistema y realizando recomendaciones en algunos aspectos que aun podrían mejorar el estado actual del sistema.

## RECOMENDACIONES

Mediante la realización del diagnóstico, descripción de los elementos y equipos de mayor importancia dentro del sistema de control Distribuido ABB Advant y su respectivo análisis por Árbol de Fallo, es posible aportar algunas sugerencias con el fin que el sistema sea aún más tolerante a fallas y garantizar que continúe funcionando de manera correcta, incluso ante la presencia de fallas. Algunas de dichas recomendaciones son:

ض Debido a la función significativa que cumplen los HUBs StarCoupler en cada uno de los SIHs en la comunicación de datos para el control y supervisión de las áreas operativas de la refinería, son equipos que ameritan poseer, además de la redundancia ofrecida por la utilización de la red LAN 11 y la red LAN 12, otro equipo que en caso de una avería del HUB activo, pueda suplir la falla éste, de manera que se aumentaría la confiabilidad del sistema.

ض Adicionalmente, otra opción que sería de gran beneficio para el sistema de comunicaciones de la refinería, consiste en cambiar el medio físico de la red de control MB300E de cable coaxial a UTP, cuya topología estrella es mucho mas confiable. Con esta topología y utilizando este medio físico, se consigue que la

falla de un cable solo deshabilitaría una estación y no un grupo de estaciones. De manera que se complementarían la redundancia ofrecida por los StarCoupler redundantes que se utilicen.

ض De la misma manera que ocurre con los HUBs StarCoupler sería de gran beneficio poseer un equipo redundante para los HUBs MB300 (3), correspondientes a cada área operativa, ya que estos dispositivos son el principal “puente” para la comunicación de información entre los controladores ubicados en cada uno de los SIHs y el cuarto de control central, cuarto de comunicaciones y de aplicación ubicados en el CCB.

ض Debido a la gran importancia que tiene la planta crudo en la producción de la refinería, se debe tener una supervisión constante desde varias localizaciones, es decir, no sólo desde su respectivo cuarto de control satélite, sino también desde el cuarto de control central donde es posible realizar mayor cantidad de operaciones de control y cambios de parámetros, entre otros, con el fin de aprovechar al máximo la cantidad (seis) de estaciones de operación de la consola del SIH 1, podrían disponerse dichas estaciones de manera que sus circuitos de alimentación sean independientes ya sea en grupos menos numerosos o uno diferente para cada uno de ellas, con el fin de aumentar su tolerancia ante cualquier fallo.

ض Instalar switches estáticos redundantes en las consolas donde se tiene doble alimentación (UPS 1 y UPS 2), con el fin de disminuir el consumo de potencia eléctrica debido a la redundancia, de manera que se mantiene el propósito de tolerancia a fallas por parte del suministro ininterrumpido de potencia.

## BIBLIOGRAFÍA

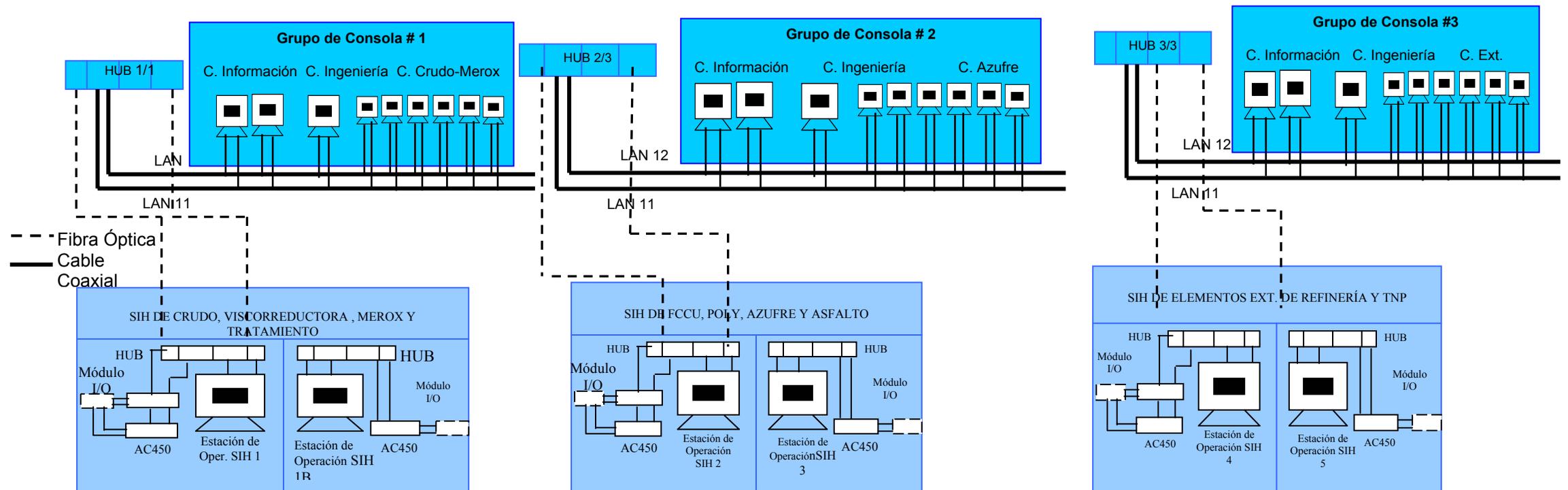
ض Planos, Lay-outs, documentos, registros históricos del sistema, esquemas de conexiones, PDMs (Equipment Panel Data Manuals), cuadros de cargas y esquemas trifilares del SIH1, SIH2, SIH3 y CCB del proyecto de automatización de una refinería.

ض P.L. Clemens, Fault Tree Analysis (online). [www.sverdrup.com/safety/fta.pdf](http://www.sverdrup.com/safety/fta.pdf).

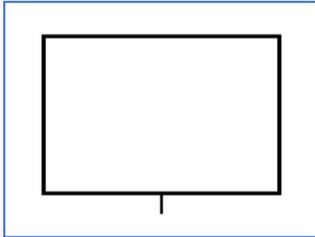
ض Fault Tree Analysis (FTA) (online). [www.nepss.org/presentations/dfr10.pdf](http://www.nepss.org/presentations/dfr10.pdf).

ض Estudio Integrado del Ambiente de Trabajo. <http://www.col.ops-oms.org/saludambiente/SOIP/3aSeguridad.htm>.

## Anexo A. Arquitectura del sistema de control distribuido ABB ADVANT

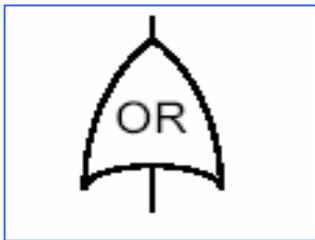


## ANEXO B. SÍMBOLOS LÓGICOS UTILIZADOS EN EL FTA



### EVENTO TOPE

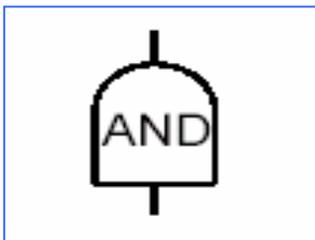
Evento indeseable, impredecible, hacia el cual fluyen todas las partes lógicas del árbol de fallas, ó los eventos intermedios; describiendo un estado del sistema producido por eventos anteriores.



### COMPUERTA OR

Produce una salida si algunas de las entradas está presente o existe. Cualquier entrada, individual debe ser:

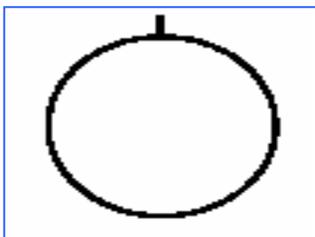
1. Necesaria.
2. Suficiente para causar el evento de salida.



### COMPUERTA AND

Produce una salida si todas las entradas están presentes o coexisten. Todas las entradas, individualmente deben ser:

1. Necesarias.
2. Suficientes para causar el evento de salida.

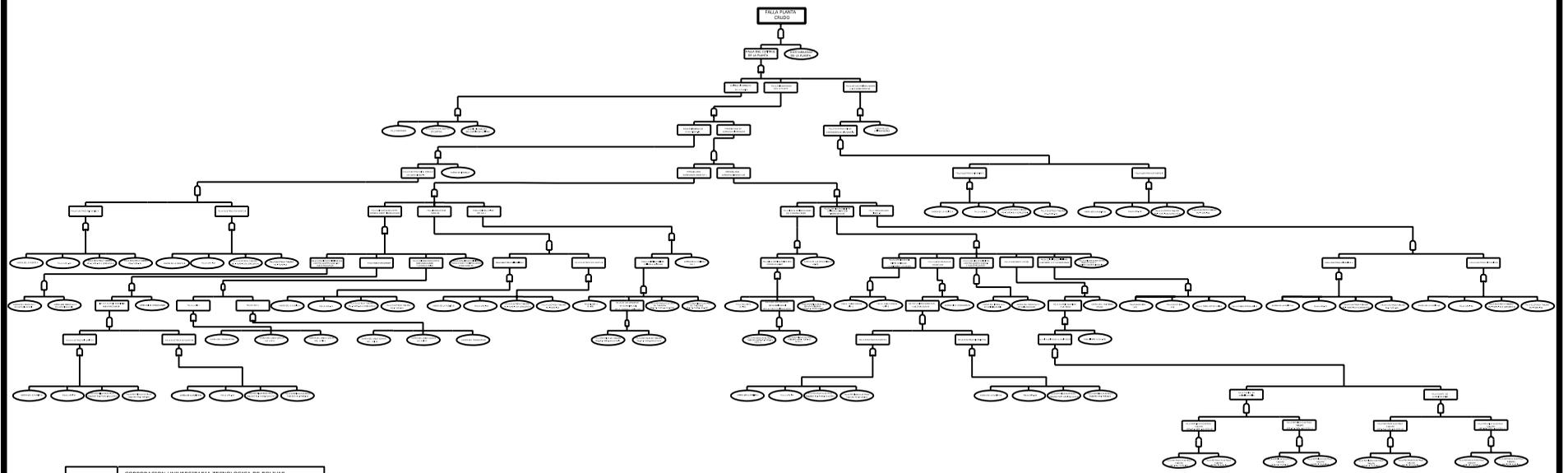


### EVENTO BASE

Es la falla o avería inicial, también llamada “hojas”, “iniciador”, ó “base”. El elemento base marca el límite de la resolución del análisis.

## **ANEXO C. ÁRBOL DE FALLAS DE LA PLANTA**

### ARBOL DE FALLAS DE LA PLANTA CRUDO



## ANEXO D. LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

AAF	Análisis por Árbol de Fallas
AC450	Controlador Avanzado
AS520	Estación de Operación
AS530	Estación de Administración de Información
CCB	Cuarto de Control Central
CCR	Cuarto de Control Central
C50	Convertidores de RS232 a Fibra Óptica Monomodo
C5M	Convertidores de RS485 a Fibra Óptica Monomodo
CLA	Unidad de Climatización
CM1	Convertidores de UTP a Fibra Óptica Multimodo
CM3	Convertidores de Fibra Óptica Multimodo a Fibra Óptica Monomodo
CM4	Convertidores de AUI a Fibra Óptica Multimodo
COM	Comunicaciones
DCS	Sistema de Control Distribuido
DTR	Distribución de Alumbrado
ESD	Estación de Shutdown
FTA	Análisis por árbol de Fallas
GEN	Generador
IMS	Estación de Manejo de Información

LCB	Cuarto de Control Local
MB300E	MasterBus 300
PLC	Controlador Lógico Programable
S100	Módulo de Entrada/Salida
SIH	Cuarto de Control Satélite
T.D	Tablero de Distribución
TDP	Tablero de Fuerza Principal
TUPS	Tablero del Sistema Ininterrumpido de Potencia
UC	Unidad Condensadora
UPS	Sistema Ininterrumpido de Potencia

## **Anexo E. OTROS SOFTWARES PARA REALIZAR ANÁLISIS POR ÁRBOL DE FALLAS**

---

### **BRAVO (JBF Associates)**

The program supports creation and analysis of fault trees. Estimates reliability characteristics and importances for fault trees.

---

### **CAFTA for Windows (SAIC)**

A comprehensive PC-based fault tree workstation with support for all phases of systems analysis. Includes full screen editor, multilevel reliability database, plotting, cut set generator, cut set results editor. Extensive syntax and logic checking, logical editing, supports macros, calculates unavailability from failure rate and exposure times, user definable fields, truncates on cut set probability or size, allows user selectable gate transfers & page breaks. Program also supports sensitivity studies.

---

### **CARA-FaultTree (Sydvest Software)**

Software tool for construction and analysis of fault trees. With its intuitive graphical user interface, CARA-FaultTree lets you create fault trees in a flash. A total of six system performance measures and six measures of component importance is available, along with enhanced report utilities. All in all, CARA-FaultTree is the product of choice for supporting fault tree analysis.

---

### **ETA-II (SAIC)**

An event fault tree analysis program. Allows for multiple branches at event tree nodes and multiple attributes to be assigned to each node. Expanded event names, branch labels, expected value calculations, probabilistic truncation,

supports most plotters. Automatic location of event probabilities from CAFTA or external tables and auto-scaling for plotter size.

---

### **EventTree (Item Software)**

Draws event tree diagrams and carries out cut set calculations and probabilistic analysis.

---

### **FaultTree+ (Isograph Inc)**

FaultTree+ provides CCF analysis, importance analysis, uncertainty and sensitivity analysis facilities. The program allows users to construct a single project database containing generic data and event tables, fault trees with multiple TOP events, event trees originating from different initiating events, CCF tables and consequence tables. Fault and event tree pagination is automatically controlled by the program. Fault tree TOP events may be used to represent specific nodes in the event tree. Multiple branches are also handled to allow for partial failures. FaultTree+ uses efficient minimal cut set generation algorithms to analyse large and complex fault and event trees. NOT logic may be included in the fault and event trees at any level and event success states retained in the analysis results as an option.

---

### **FaultTree+ for Windows (Item Software)**

Dramatic time savings over manual methods. Draws the tree automatically from simple gate inputs using the keyboard, graphics display and a mouse. Cut set analysis using Kinetic Tree method, sorted by order or probability. Quantitative analysis and a confidence evaluation. Fault tree gates or events can be linked to the event tree.

**Fault Tree (Mitchell & Gothier)**

Construction and analysis of fault tree, automatic fault tree generation, library of standard symbols provided, modular tree construction, error traps, qualitative and quantitative analysis. Easy to use mouse and menus, handles large trees with hundreds of gates, cut set analysis, user controlled plot scaling and placement, automatic positioning of symbols, hard copy on demand, logical consistency checks and automatic checks for crossing interconnecting lines.

---

**FTRAN (Rex Thompson & Partners)**

Graphical package to define and analyze fault trees. Package capable of multi-state prime events. Performs Monte Carlo analyses of gate and top event probabilities.

---

**IMPORTANCE (Basic Event Cut Set Ranking) (National Energy Software Center)**

A quantitative evaluation tool which calculates the importance of minimal cut sets and basic events from minimal cut sets to a fault tree or reliability network diagram by determining the probability of the top event. All measures are calculated from statistical independence of basic events. System unavailability and expected number of system failures are also computed.

---

**SAPHIRE, Formally known as IRRAS (Integrated Reliability and Risk Analysis System)**

Graphical Fault Tree construction, cut set generation and quantification. Full screen editor for use when interfacing with remote computer systems. Uses advanced graphical and analytical techniques to create, modify, reduce, and analyze fault tree modes used in the analysis. Here is the brief discription.

---

**MFAULT (Fault Tree Analysis Cut Set Production) (National Energy Software Center)**

This tool identifies the cut sets of a fault tree and computes the probability of occurrence. The input is the fault tree of an on-line or standby component FOM with AND, OR, and INHIBIT gates and ON and OFF switches. The cut sets may contain repairable items only, non-repairable items only, or a mixture of both.

-----

**PREP/KITT (System Fault Tree Evaluation) (National Energy Software Center)**

Determines minimal cut sets and the minimal path sets of the system fault tree. The KITT programs calculate exact time-dependent reliability calculations for each component and for the minimal cut and path sets. The reliability information is calculated using upper bound approximation or by a bracketing process where upper and lower bounds are obtained as close together as desired. Non-repairable items and items with constant repair times can be handled by the KITT programs.

-----

**Results II (Fault Tree Analysis) (Management Sciences)**

Fault Tree Analysis package models from the top unwanted event downwards, as a logic tree. The top gate represents the unwanted event and the roots represent contributory events. Analysis of the tree is performed to identify those events that must fail or operate to cause system failure or operation (cut sets and minimal path sets).

-----

**RESULTS III (Management Sciences)**

Complex risk analysis using logic trees (success or failure), Fault Tree Analysis, Success Tree Analysis, Event Tree, Risk Quantification, Cut-sets, Path-sets.

-----

### **Risk Spectrum Fault Tree (Innovative Software Designs)**

Fault tree analysis with interactive graphical fault tree editor, minimal cut set analysis, calculation of top event unavailability, importance/sensitivity analysis, time dependent analysis.

---

### **RKP606: Fault Tree Analysis (Innovative Timely Solutions)**

The program provides the capability to create and analyze fault trees. The program supports both qualitative and quantitative evaluation of fault trees. Program features include minimum cutset path definition, graphic representation of the tree, and probability of occurrence. GUI technology is used to facilitate user inputs.

---

### **SAICUT (SAIC)**

A fault tree evaluation program used to obtain minimal cut sets and for estimating event probabilities. Features include: allows truncation on cut set probability or size, fault tree size limited by memory, estimate event probabilities. Finds cut sets for any event in a fault tree. Calculates importance measures. Provides choice of top-down or bottom-up algorithms. Identifies independent sub-trees, finds prime implicants for fault trees containing negated events.

---

### **SAILOT (SAIC)**

Used to plot fault trees generated by SAIC's (CAFTA). Features include: handles up to 1000 gates & 1000 events, plots up to 250 pages, complete editing to tailor fault trees to specific needs before printing. Handles AND, OR, NOT, EQU, XOR, COM, NAND, NOR, AANB(ANOT), ANAB, OANB(ONOT), ONAB, and INH type gates. Supports plotting large single-sheet fault trees. Plots basic event, external event, undeveloped event, transfer, conditioning event, and special transfer.

---

**TRACE (Tree Analysis Code) (COSMIC)**

This package analyzes fault trees to identify the most probable causes. The primary and secondary component failures are the basic inputs while the time to failure is a random variable exponentially distributed. The minimal cut-sets and critical paths of fault trees are determined using Monte Carlo simulation techniques. The probabilities of fault tree failures are also determined in this fashion. The usual logic gates are permitted.

---

**Tree Master (Management Sciences)**

Success and Fault tree analysis. Risk Decision Analysis with 16 gate types. Graphic input optional. Quantification by Monte Carlo techniques. Full cutset/pathset and plotting options. Common cause, etc.

---

**Tree-Master Software Family (Antonin Wild)**

Family of programs for editing, evaluating, and plotting fault trees and success trees. Simulation program evaluates failure rates and downtimes.