

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

### **ESTUDIO DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS PARA LAS PLATAFORMAS TIVACUNO EMPLEANDO RELÉS DIGITALES “GE MULTILIN-UR”.**

#### **PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO**

**RODRIGO TOMÁS POTOSÍ FARINANGO**

**Rodrigo\_potosi@hotmail.com**

**DIRECTOR: LUIS TAPIA, MSC.**

**luis.tapia@epn.edu.ec**

Quito, Octubre 2008

## DECLARACIÓN

Yo, Rodrigo Tomás Potosí Farinango, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en éste documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a éste trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

**RODRIGO TOMÁS POTÓSÍ FARINANGO**

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **Rodrigo Tomás Potosí Farinango**, bajo mi supervisión.

---

**ING. LUIS TAPIA, MSC.**  
**DIRECTOR DEL PROYECTO**

## AGRADECIMIENTOS

A aquellas personas que fueron mis pilares y mi razón de vivir.

A mis padres: Daniel José y María Teresa.

A mis hermanos: Patricio, Mario, Tony e Israel.

A mis abuelos: Tomás, Petrona, Honorio y Rosa.

A mis sobrinos: Sebastián y Mateo.

Agradezco también a todas aquellas personas que me transmitieron su alegría, sus consejos y las ganas de seguir adelante.

*Agradezco a mi Dios por ser mi roca en tiempos difíciles.*

*“Si he logrado ver más lejos, ha sido porque he subido a hombros de gigantes.”*

*Gracias.*

## DEDICATORIA

*A Dios, que me levanta y me pone de pie todos los días.*

## CONTENIDO

<b>1.</b>	<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>1</b>
	<b>GENERALIDADES</b>	
1.1	<b>INTRODUCCION .....</b>	1
1.2	<b>OBJETIVOS .....</b>	1
1.2.1	<b>OBJETIVO GENERAL .....</b>	1
1.2.2	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	2
1.3	<b>ALCANCE .....</b>	2
1.4	<b>JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....</b>	3
<b>2.</b>	<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>4</b>
	<b>ANÁLISIS DEL SISTEMA ELÉCTRICO EXISTENTE DE LAS PLATAFORMAS TIVACUNO</b>	
2.1	<b>INTRODUCCION.....</b>	4
2.2	<b>DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO ACTUAL, DE LAS PLATAFORMAS TIVACUNO .....</b>	4
2.2.1	<b>Red Tivacuno NPF .....</b>	6
2.2.2	<b>Red Tivacuno A.....</b>	7
2.2.3	<b>Red Tivacuno B.....</b>	9
2.3	<b>LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN EN EL SISTEMA ELÉCTRICO ACTUAL. ....</b>	12
2.4	<b>ANÁLISIS DE FLUJOS DE POTENCIA .....</b>	18
2.5	<b>ANÁLISIS DE CORTOCIRCUITOS .....</b>	21
2.6	<b>EVALUACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LAS PLATAFORMAS TIVACUNO .....</b>	25
<b>3.</b>	<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>26</b>
	<b>DISEÑO DEL NUEVO SISTEMA DE PROTECCIONES PARA LAS PLATAFORMAS TIVACUNO</b>	
3.1	<b>INTRODUCCION.....</b>	26

<b>3.2</b>	<b>ANTECEDENTES .....</b>	<b>27</b>
<b>3.3</b>	<b>SELECCIÓN DE LOS NUEVOS EQUIPOS DE PROTECCION.....</b>	<b>28</b>
3.3.1	SELECCIÓN DE SWITCHGEARS [9].....	28
3.3.2	SELECCIÓN DE DISYUNTORES AUTOMATICOS EXTRAIBLES [9].....	28
3.3.3	SELECCIÓN DE RELÉS DIGITALES [10] [11] .....	32
<b>3.4</b>	<b>DISEÑO DEL NUEVO SISTEMA DE PROTECCIONES.....</b>	<b>34</b>
3.4.1	COMPONENTES DEL SISTEMA DE PROTECCIONES.....	34
3.4.2	COMPONENTES DEL SISTEMA ELECTRICO A SER PROTEGIDO .....	34
3.4.3	ZONAS DE PROTECCIÓN [4] [5] .....	35
<b>3.5</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO PROPUESTO .....</b>	<b>35</b>
3.5.1	Red Tivacuno NPF .....	36
3.5.2	Red Tivacuno A.....	37
3.5.3	Red Tivacuno B.....	39
<b>3.6</b>	<b>ANALIS DEL ARRANQUE DE MOTORES.....</b>	<b>40</b>
<b>4.</b>	<b>CAPITULO 4.....</b>	<b>46</b>
	<b>ESTUDIO DE COORDINACION DE PROTECCIONES ELECTRICAS PARA LAS PLATAFORMAS TIVACUNO EMPLEANDO RELÉS DIGITALES “GE MULTILIN”</b>	
<b>4.1</b>	<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>46</b>
<b>4.2</b>	<b>ANTECEDENTES .....</b>	<b>47</b>
<b>4.3</b>	<b>BASES TEORICAS DE ESTUDIO [4], [5].....</b>	<b>47</b>
<b>4.4</b>	<b>MEMORIA TÉCNICA DE LOS NUEVOS RELÉS DIGITALES [22].....</b>	<b>48</b>
4.4.1	PROTECCION DEL GENERADOR.....	49
4.4.2	PROTECCION DE TRANSFORMADORES .....	51
4.4.3	PROTECCION DE lAs LINEAS .....	53
4.4.4	PROTECCION DE lAs BARRAS .....	54
4.4.5	PROTECCION DE los MOTORES de induccion .....	56
<b>4.5</b>	<b>ANALISIS DE AJUSTE Y COORDINACION DE LAS PROTECCIONES ELECTRICAS [1] [5].....</b>	<b>58</b>
4.5.1	PROCEDIMIENTO PARA AJUSTAR LOS RELÉS DE PROTECCIÓN .....	58
4.5.2	PROCEDIMIENTO PARA COORDINAR PROTECCIONES Y CREAR SOLUCIONES GRÁFICAS DE CURVAS TIEMPO-CORRIENTE (TCC). .....	68
<b>4.6</b>	<b>RESULTADOS DE LOS AJUSTES DE COORDINACION.....</b>	<b>77</b>
<b>4.7</b>	<b>ANÁLISIS DE LOS AJUSTES DE COORDINACIÓN.....</b>	<b>80</b>

4.7.1	Protección del Generador de energía (G-TIV NPF) .....	80
4.7.2	Protección del Transformador de distribución (TX1-TIV) en el lado de 13.8kV .....	80
4.7.3	Protección del Transformador de distribución (TX1-TIV) en el lado de 34.5kV .....	80
4.7.4	Protección de la Línea de distribución subterránea (Cable 3-TIV) .....	81
4.7.5	Protección de la Barra del tablero distribución (SWGR X3-TIV) .....	81
4.7.6	Protección de la Barra del tablero de control de motores (MCC X1-TIV A).....	81
4.7.7	Protección del Motor (M1-TIV A) .....	82
4.7.8	Protección del Motor (M2-TIV B) .....	82
<b>5.</b>	<b>CAPITULO 5 .....</b>	<b>83</b>
	<b>ESTUDIO ECONÓMICO DEL PROYECTO</b>	
<b>5.1</b>	<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>83</b>
<b>5.2</b>	<b>ANTECEDENTES .....</b>	<b>84</b>
<b>5.3</b>	<b>ANALISIS ECONOMICO DEL PROYECTO .....</b>	<b>84</b>
<b>5.4</b>	<b>ANALISIS DE PREFACTIBILIDAD DEL PROYECTO .....</b>	<b>92</b>
<b>5.5</b>	<b>ANALISIS FINANCIERO DEL PROYECTO [22].....</b>	<b>93</b>
5.5.1	VALOR ACTUAL NETO (VAN).....	94
5.5.2	TASA INTERNA DE RETORNO (TIR = i%).....	95
5.5.3	RELACIÓN BENEFICIO/COSTO (B/C).....	96
5.5.4	PERIODO DE RECUPERACIÓN DE CAPITAL (PRC).....	97
<b>5.6</b>	<b>DECISIÓN DE VIABILIDAD .....</b>	<b>97</b>
<b>6.</b>	<b>CAPITULO 6 .....</b>	<b>98</b>
	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
<b>6.1</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>98</b>
<b>6.2</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>101</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>101</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>104</b>



## INDICE DE TABLAS

TABLA 2.1	Generador de energía del sistema eléctrico.....	12
TABLA 2.2	Transformadores trifásicos de distribución del sistema eléctrico .....	12
TABLA 2.3	Líneas trifásicas subterráneas del sistema eléctrico .....	13
Tabla 2.4	Conductores trifásicos subterráneos de los motores de las Plataformas Tivacuno A. ....	13
Tabla 2.5	Conductores trifásicos subterráneos de los motores de las Plataformas Tivacuno B. ....	14
Tabla 2.6	Equipos de corte y seccionamiento del sistema eléctrico.....	14
Tabla 2.7	Tableros de control de motores (MCCS) del sistema eléctrico.....	15
Tabla 2.8	Contactores termomagnéticos en las Plataforma Tivacuno A.....	15
Tabla 2.9	Contactores termomagnéticos en las Plataforma Tivacuno B.....	16
TABLA 2.10	Fusibles termomagnéticos extraíbles en las Plataforma Tivacuno A.....	16
TABLA 2.11	Fusibles termomagnéticos extraíbles en las Plataforma Tivacuno B.....	16
Tabla 2.12	Motores de inducción tipo jaula de ardilla de las Plataformas Tivacuno A.....	17
Tabla 2.13	Motores de inducción tipo jaula de ardilla de las Plataformas Tivacuno B.....	17
Tabla 2.14	Resultados de la simulación de flujos de potencia .....	19
Tabla 2.15	Corrientes nominales de los equipos .....	19
Tabla 2.16	Potencia de operación del sistema eléctrico .....	19
Tabla 2.17	corrientes de cortocircuito obtenidas al simular una falla trifásica en cada una de las barras .....	22
Tabla 2.18	Corrientes de cortocircuito obtenidas al simular una falla trifásica en cada una de las líneas que alimentan a los motores.....	22
Tabla 2.19	corrientes de cortocircuito obtenidas al simular una falla línea a tierra en cada una de las barras .....	24
Tabla 2.20	corrientes de cortocircuito obtenidas al simular de una falla línea a línea en cada una de las barras .....	24
Tabla 2.21	corrientes de cortocircuito obtenidas al simular de una falla línea a tierra en cada una de las barras .....	24
Tabla 3.1	Mejoras en los equipos de corte y seccionamiento de las Plataformas tivacuno. ....	29
TABLA 3.2	Equipos de distribución y seccionamiento de las Plataformas tivacuno.....	31
TABLA 3.3	Datos para el arranque de los motores. ....	41
TABLA 3.4	Variadores electrónicos de frecuencia (VFD).....	42
Tabla 3.5	Aceleración del motor: M1-TIV A.....	43
Tabla 3.6	Aceleración del motor: M2-TIV A.....	43
Tabla 3.7	Aceleración del motor: M2-TIV B .....	44
Tabla 3.8	Aceleración del motor: M3-TIV B .....	44
TABLA 4.1	Relé UR-G60 Generator Management Relay.....	50
Tabla 4.2	Relé UR- T60 Transformer Management Relay .....	52
Tabla 4.3	Relé UR- L90 Line Phase Comparison Relay .....	53
Tabla 4.4	Relé UR-B30 Bus Differential System .....	55
TABLA 4.5	Fusibles termomagnéticos extraíbles - Tivacuno A. ....	56
Tabla 4.6	Relé UR- M60 Motor Management Relay .....	57
TABLA 4.7	Fusibles termomagnéticos extraíbles - Tivacuno B. ....	57
TABLA 4.8	Información que se ingresa a los relés de sobrecorriente.....	60
TABLA 4.9	Resultados del ajuste de los relés de protección .....	78

Tabla 4.10 Resultados del ajuste de los fusibles de protección para los motores .....	79
TABLA 5.1 Materiales .....	85
Tabla 5.2 Gastos generales .....	86
Tabla 5.3 Ingeniería del proyecto .....	86
Tabla 5.4 Construcción, instalación y montaje.....	86
Tabla 5.5 Pre-comisionado y comisionado.....	86
Tabla 5.6 Operación y mantenimiento .....	86
Tabla 5.7 Gastos varios .....	86
TABLA 5.8 Costo total de inversión del proyecto.....	86
Tabla 5.9 Depreciación de los equipos a implementarse .....	87
Tabla 5.10 clasificación de costos .....	87
TABLA 5.11 producción de crudo en los campos Tivacuno por la compañía Repsol YPF ecuador S.A. ....	88
TABLA 5.12 Proyección de ingresos a diez años con el sistema de protecciones existente .....	89
TABLA 5.13 Proyección de ingresos a diez años con el sistema de protecciones propuesto .....	90
Tabla 5.14 Proyección de egresos a diez años .....	92
Tabla 5.15 Proyección de ingresos a diez años .....	92
Tabla 5.16 Flujos netos de caja de las Plataformas Tivacuno A/B .....	93
Tabla 5.17 Calculo del VAN .....	94
Tabla 5.18 Calculo de la TIR.....	95
Tabla 5.19 Calculo la relación B/C .....	96
Tabla 5.20 Calculo del PRC .....	97

## INDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 2.1</b> Diagrama unifilar de la Red Tivacuno NPF, existente. ....	6
<b>FIGURA 2.2</b> Diagrama unifilar de la Red Tivacuno A, existente. ....	8
<b>FIGURA 2.3</b> Diagrama unifilar de la Red Tivacuno B, existente. ....	10
<b>FIGURA 3.1</b> Diagrama de la arquitectura del relé digital "GE Multilin de modelo UR".	33
<b>FIGURA 3.2</b> Diagrama unifilar de la Red Tivacuno NPF, propuestá. ....	36
<b>FIGURA 3.3</b> Diagrama unifilar de la Red Tivacuno A, propuésta. ....	38
<b>FIGURA 3.4</b> Diagrama unifilar de la Red Tivacuno B, propuésta. ....	39
<b>FIGURA 4.1</b> Protección diferencial para el generador de energía. ....	49
<b>FIGURA 4.2</b> Protección diferencial para los transformadores de distribución. ....	51
<b>FIGURA 4.3</b> Zona de Protecciones de la Red Tivacuno NPF.....	69
<b>FIGURA 4.4</b> Curvas de coordinación de la Red Tivacuno NPF. ....	70
<b>FIGURA 4.5</b> Zona de Protecciones de la Red Tivacuno A. ....	71
<b>FIGURA 4.6</b> Curvas de coordinación de la Red Tivacuno A. ....	72
<b>FIGURA 4.7</b> Zona de Protecciones de la Red Tivacuno B.....	73
<b>FIGURA 4.8</b> Curvas de coordinación de la Red Tivacuno B. ....	74
<b>FIGURA 4.9</b> Zona de Protecciones para el motor M1-TIV A.....	75
<b>FIGURA 4.10</b> Curvas de coordinación para el motor M1-TIV A.....	75
<b>FIGURA 4.11</b> Zona de protecciones para el motor M2-TIV B.....	76
<b>FIGURA 4.12</b> Curvas de coordinación para el MOTOR M2-TIV B .....	76

## RESUMEN

En vista de la importancia que tiene el Sector Petrolero en nuestro país, se hace necesario mantener bien protegido al Sistema Eléctrico de Distribución de las Plataformas Tivacuno A/B, cuyas máquinas rotativas se emplean en el proceso de extracción de crudo de los pozos petroleros ubicados en la Amazonía Ecuatoriana, Provincia de Orellana, Bloque 16.

El presente Proyecto de Titulación, está dirigido al mejoramiento del actual Sistema de Protecciones de las Plataformas Tivacuno A/B, que está sujeto a continuos mantenimientos, lo que origina grandes pérdidas de producción que afectan la economía del estado Ecuatoriano.

De ahí la necesidad de diseñar un nuevo Sistema de Protecciones, que permita brindar mayor confiabilidad en las operaciones del sistema eléctrico, para lo cual se hace necesario reemplazar los antiguos dispositivos electromecánicos por nuevos dispositivos de protección como son: equipos eléctricos de distribución (switchgears), disyuntores de seccionamiento automático (circuit breakers) y relés digitales (GE Multilin, de modelo UR).

De la correcta coordinación de estos dispositivos de protección ante condiciones de falla, depende el éxito o fracaso del nuevo sistema de protecciones.

Para el desarrollo del Proyecto de Titulación, se utilizará el software *Electrical Transient Analyzer Program "ETAP Power Station"*, especializado en el desarrollo de la ingeniería de Proyectos, Supervisión y Control de Sistemas Eléctricos.

Éste software aplica las normas y estándares internacionales ANSI/IEEE, para la realización de los estudios correspondientes a: Flujos de Carga, Cortocircuitos, Arranque de Motores y Coordinación de Protecciones Eléctricas.

Se demuestra la viabilidad y rentabilidad que conlleva la ejecución del presente proyecto, mediante métodos financieros que permiten tomar decisiones de inversión.

## PRESENTACIÓN

En el **Capítulo 1**, se realiza una introducción al presente proyecto de titulación, detallando los objetivos, el alcance y la justificación del mismo.

En el **Capítulo 2**, se realiza una descripción del sistema eléctrico existente de las Plataformas Tivacuno A/B, el levantamiento de información y el análisis de flujos de carga y cortocircuitos para éste sistema. Estos análisis servirán de base para la selección de los nuevos dispositivos de protección a implementarse y para evaluar la situación actual en la que se encuentra el sistema eléctrico en mención.

En el **Capítulo 3**, se realiza el diseño del nuevo sistema de protecciones para las Plataformas Tivacuno A/B, se analizan sus bases de diseño y se realiza la selección de los nuevos dispositivos de protección a ser implementados, con los que se realiza el análisis del arranque de motores para verificar que el sistema trabaje en óptimas condiciones.

En el **Capítulo 4**, se realiza el estudio de Coordinación de los nuevos relés digitales “*GE Multilin de modelo UR*”, por zonas, con la finalidad de que los mismos actúen de forma selectiva ante la presencia de fallas en el sistema eléctrico propuesto. Este estudio permite garantizar que el nuevo sistema de protecciones se encuentra bien diseñado y presta la confiabilidad requerida por los *elementos componentes* del sistema eléctrico propuesto.

En el **Capítulo 5**, se realiza el estudio económico del presente Proyecto de Titulación, el mismo que permite determinar su viabilidad y tomar decisiones de inversión, para la ejecución del mismo.

En el **Capítulo 6**, se presentan las Conclusiones y Recomendaciones, referentes al presente proyecto de titulación.

Finalmente se presentan los **Anexos** referentes a éste proyecto.

# CAPÍTULO 1

## GENERALIDADES

### 1.1 INTRODUCCION

En los últimos años, la importancia del petróleo en la economía ecuatoriana ha tendido a incrementarse, sobre todo, a partir de la inversión de capitales extranjeros y el alza de los precios en el mercado internacional.

En vista de la importancia que tiene el Sector Petrolero en nuestro país, se hace necesario mantener protegido al **Sistema Eléctrico de Distribución de las Plataformas Tivacuno A/B**, cuyas operaciones están a cargo de la compañía Repsol-YPF Ecuador S.A. Estas Plataformas conformadas por el conjunto de motores y bombas electrosumergibles, son las encargadas de la extracción de crudo pesado (16 grados API) desde los pozos petroleros ubicados en los campos Tivacuno, Bloque 16 de la Provincia de Orellana, Territorio Huaorani.

El presente proyecto de Titulación, está dirigido a la protección óptima de la estación principal de entrega de energía, así como de líneas, máquinas y equipos eléctricos que conforman el sistema eléctrico de distribución de las Plataformas Tivacuno A/B, para lo cual es necesario rediseñar su Sistema de Protecciones existente y mejorarlo mediante la implementación de nuevos equipos de protección.

### 1.2 OBJETIVOS

#### 1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio de coordinación de protecciones eléctricas para las Plataformas Tivacuno empleando relés digitales *GE Multilin de modelo UR*, mediante la utilización de un software especializado; señalando soluciones y recomendaciones con el fin de mejorar la confiabilidad del sistema.

### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a). Evaluar la situación actual del sistema eléctrico de las Plataformas Tivacuno, ubicadas en el Bloque 16 del sector Petrolero Ecuatoriano, con el fin de mejorar las protecciones existentes del sistema.
- b). Calcular los niveles de cortocircuito simétrico y asimétrico en los circuitos ramales de 13.8 kV, 34.5 kV y 2.4 kV, mediante la utilización del software Enterprise Solutions for Electrical Power Systems “**ETAP PowerStation**”.
- c). Diseñar el nuevo sistema de protecciones mediante la implementación de la nueva tecnología de relés digitales *GE Multilin de modelo UR* al sistema eléctrico de distribución subterráneo de medio voltaje a 13.8 kV, 34.5 kV, 2.4kV en el marco de la reglamentación Nacional y las Normas Internacionales.
- d). Realizar la coordinación de protecciones de los nuevos relés digitales **GE Multilin de modelo UR** a ser implementados en las Plataformas Tivacuno, mediante el empleo del “**ETAP PowerStation**”.
- e). Establecer conclusiones y recomendaciones en base al análisis de la información obtenida en las distintas etapas del presente proyecto.

### 1.3 ALCANCE

El alcance del presente proyecto de titulación, se llevará a cabo sobre el sistema eléctrico de distribución de las Plataformas Tivacuno A y Tivacuno B, que proveen de energía a once y cinco motores de inducción, para la extracción de crudo pesado.

En éste contexto se evaluará la operación actual del sistema eléctrico y sus protecciones asociadas, con el fin de seleccionar los nuevos dispositivos de protección como son: equipos eléctricos de distribución (switchgears), dispositivos de seccionamiento automático (circuit breakers) y relés digitales (GE Multilin, de modelo UR) que serán coordinados mediante el empleo del Software “*Electrical*

*Transient Analyzer Program (ETAP PowerStation)*”, especializado en el desarrollo de procesos de Ingeniería Eléctrica.

Finalmente, en el estudio de coordinación de protecciones, se presentará la memoria técnica de cada uno de los relés digitales *GE Multilin de modelo UR*, en la que se indica su ubicación, características y al equipo que protege. Además se indican procedimientos para ajustar y coordinar gráficamente a estos relés.

#### **1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

El estudio de Coordinación de Protecciones tiene un impacto directo sobre la Seguridad Eléctrica y la Producción continua en el sector Petrolero Ecuatoriano.

Actualmente, el sistema eléctrico de distribución de las Plataformas Tivacuno A y Tivacuno B, se encuentra operando normalmente, sin embargo su sistema de protecciones conformado por los siguientes dispositivos de protección como son: relés electromecánicos, interruptor en aceite e interruptores de falla en vacío, están sujetos a daños y realizarles un mantenimiento o encontrar un repuesto resulta muy costoso ya que están descontinuados en el mercado. Esto implica una paralización innecesaria de trabajos en el sitio, que se evita mediante la selección e implementación de los nuevos dispositivos de protección como son: equipos eléctricos de distribución (*switchgears*), dispositivos de seccionamiento automático (*circuit breakers*) y relés digitales (*GE Multilin, de modelo UR*), los mismos que deben ser coordinados entre sí para brindar la confiabilidad requerida por el sistema eléctrico.

Así mismo, los *centros de control de motores (MCC)* existentes, se encuentran sin protección para sus barras principales, lo que incrementa el riesgo de daño a los motores que se encuentran conectados a estos equipos, ubicados en las estaciones Norte de producción.

## CAPÍTULO 2

### ANÁLISIS DEL SISTEMA ELECTRICO EXISTENTE DE LAS PLATAFORMAS TIVACUNO

#### 2.1 INTRODUCCION

El sistema eléctrico existente de las **Plataformas Tivacuno A/B** ubicado en los campos de Tivacuno – Bloque 16, es un sistema conformado por redes de distribución subterránea, equipos y máquinas eléctricas a nivel de medio voltaje.

El análisis de éste sistema eléctrico, comprende su descripción, el levantamiento de información de sus equipos componentes y se determinan sus capacidades operativas mediante los análisis de flujos de carga y cortocircuitos realizados sobre éste sistema.

Se evalúa las condiciones actuales en las que opera éste sistema eléctrico y se determinan los problemas existentes para posteriormente dar soluciones técnicas aplicables al diseño del sistema eléctrico propuesto para las Plataformas Tivacuno.

#### 2.2 DESCRIPCION DEL SISTEMA ELECTRICO ACTUAL, DE LAS PLATAFORMAS TIVACUNO

El sistema eléctrico existente de las **Plataformas Tivacuno A/B** se conforma de un *generador* (**G-TIV NPF**) que opera a un nivel de voltaje de 13.8kV; 26.1MVA; 60Hz. Junto a éste centro de generación se encuentra el *switchgear* (**SWGR X1-TIV**), desde aquí se deriva la línea de distribución subterránea (**cable 1-TIV**) que se dirige hacia el primario del transformador de distribución (**T X1-TIV**) elevador de voltaje 13.8/34.5kV. Desde el secundario de éste transformador se deriva la línea de distribución subterránea (**cable 2-TIV**) que se dirige hacia un *oil switch* (**OIL SWITCH X1-TIV**) ubicado en la Y de las Plataformas Tivacuno A/B, desde éste



equipo se derivan las redes para alimentar a las Plataformas Tivacuno A/B respectivamente.

Desde el *oil switch* (**OIL SWITCH X1-TIV**) se deriva la línea de distribución subterránea (**cable 3-TIV A**) que se dirige hacia un *interruptor de falla en vacío* (**VFI X1-TIV A**), desde aquí se deriva la línea de distribución subterránea (**cable 4-TIV A**), se dirige hacia el primario del transformador de distribución (**T X2-TIV A**) reductor de voltaje 34.5/2.4kV, desde el secundario de éste transformador se alimenta a la línea de distribución subterránea (**cable 5-TIV A**) que se dirige hacia el Centro de Control de Motores (**MCC X1-TIV A**) al cual se conectan los once motores trifásicos de inducción.

Desde el *oil switch* (**OIL SWITCH X1-TIV**) se deriva la línea de distribución subterránea (**cable 6-TIV B**) que se dirige hacia el *switchgear* (**SWGR X2-TIV B**), desde aquí se deriva la línea de distribución subterránea (**cable 7-TIV B**), se dirige hacia el primario del transformador de distribución (**T X3-TIV B**) reductor de voltaje 34.5/2.4kV, desde el secundario de éste transformador se alimenta a la línea de distribución subterránea (**cable 8-TIV B**) que se dirige hacia el Centro de Control de Motores (**MCC X2-TIV B**) al cual se conectan los cinco motores trifásicos de inducción.

Para analizar detalladamente a éste sistema eléctrico, se lo divide en tres redes radiales de distribución subterránea, como son:

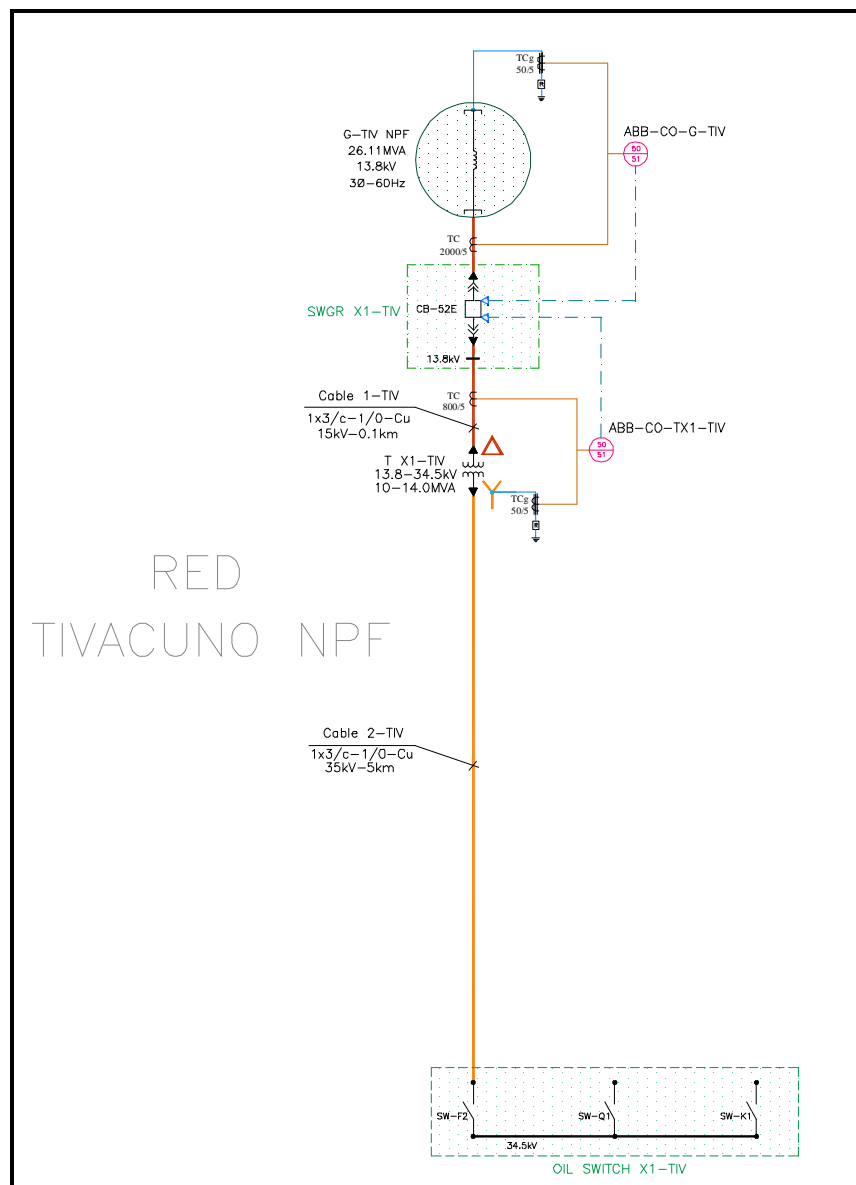
- ✓ Red Tivacuno **NPF**
- ✓ Red Tivacuno **A**
- ✓ Red Tivacuno **B**

A continuación, se presenta una descripción detallada de cada una de éstas redes eléctricas.

### 2.2.1 RED TIVACUNO NPF

- ✓ Se conforma por un *generador (G-TIV NPF)* ubicado en la estación del *North Petroleum Facilities (NPF)*, desde donde se entrega la energía al sistema eléctrico de las Plataformas Tivacuno. Éste generador se encuentra operando a un nivel de voltaje de 13.8kV; 26.1MVA; 60Hz y durante aproximadamente 7 años, con mínimos mantenimientos que no implican paralizaciones de trabajo en campo.

**FIGURA 2.1** Diagrama unifilar de la Red Tivacuno NPF, existente.



La ampliación de ésta figura se observa en el **ANEXO D.2 - Plano No. 02**.

- ✓ Aguas abajo del *centro de generación (G-TIV NPF)* se encuentra el *switchgear (SWGR X1-TIV)* en cuyos módulos se encuentra el *disyuntor (CB-52E)* de protección automática extraíble a capacidad nominal de voltaje 13.8kV y dos relés electromecánicos de sobrecorriente, estos son: el *(ABB-CO-G-TIV)* y el *(ABB-CO-TX1-TIV)* para protección del centro de generación *(G-TIV NPF)* y del transformador de distribución *(T X1-TIV)* respectivamente. Desde aquí se deriva la línea de distribución subterránea *(cable 1-TIV)* de: 1x3/c-Cu; calibre 1/0AWG; longitud 0.1km; 15kV; se dirige hacia el primario del transformador de distribución *(T X1-TIV)*.
- ✓ Un *transformador de distribución (T X1-TIV)* de 10-14MVA; elevador de voltaje 13.8/34.5kV; trifásico; 60Hz. Desde el secundario de éste transformador se deriva la línea de distribución subterránea *(cable 2-TIV)* de: 1x3/c-Cu; calibre 1/0AWG; longitud 5km; 35kV; se dirige hacia un *oil switch (OIL SWITCH X1-TIV)* ubicado en la Y de las Plataformas Tivacuno A/B.
- ✓ El *oil switch (OIL SWITCH X1-TIV)* ubicado en la Y de las Plataformas Tivacuno A/B, posee tres *switches* de seccionamiento manual cuyo medio de disipación es el aceite, capacidad nominal de voltaje 34.5KV; 160 Amperios continuos; 6kA de corriente de falla; 150kV BIL. Desde éste equipo se derivan las redes para alimentar a las Plataformas Tivacuno A/B respectivamente.

Las especificaciones de éstos equipos se muestran en el levantamiento de información en las **Tablas 2.1 a 2.11**.

### 2.2.2 RED TIVACUNO A

- ✓ La red eléctrica Tivacuno A, se deriva desde el *oil switch (OIL SWITCH X1-TIV)*. Desde aquí se deriva la línea de distribución subterránea *(cable 3-TIV A)* de: 1x3/c-Cu; calibre 1/0AWG; longitud 6km; capacidad nominal de voltaje 35kV; se dirige hacia un *interruptor de falla en vacio (VFI X1-TIV A)*.



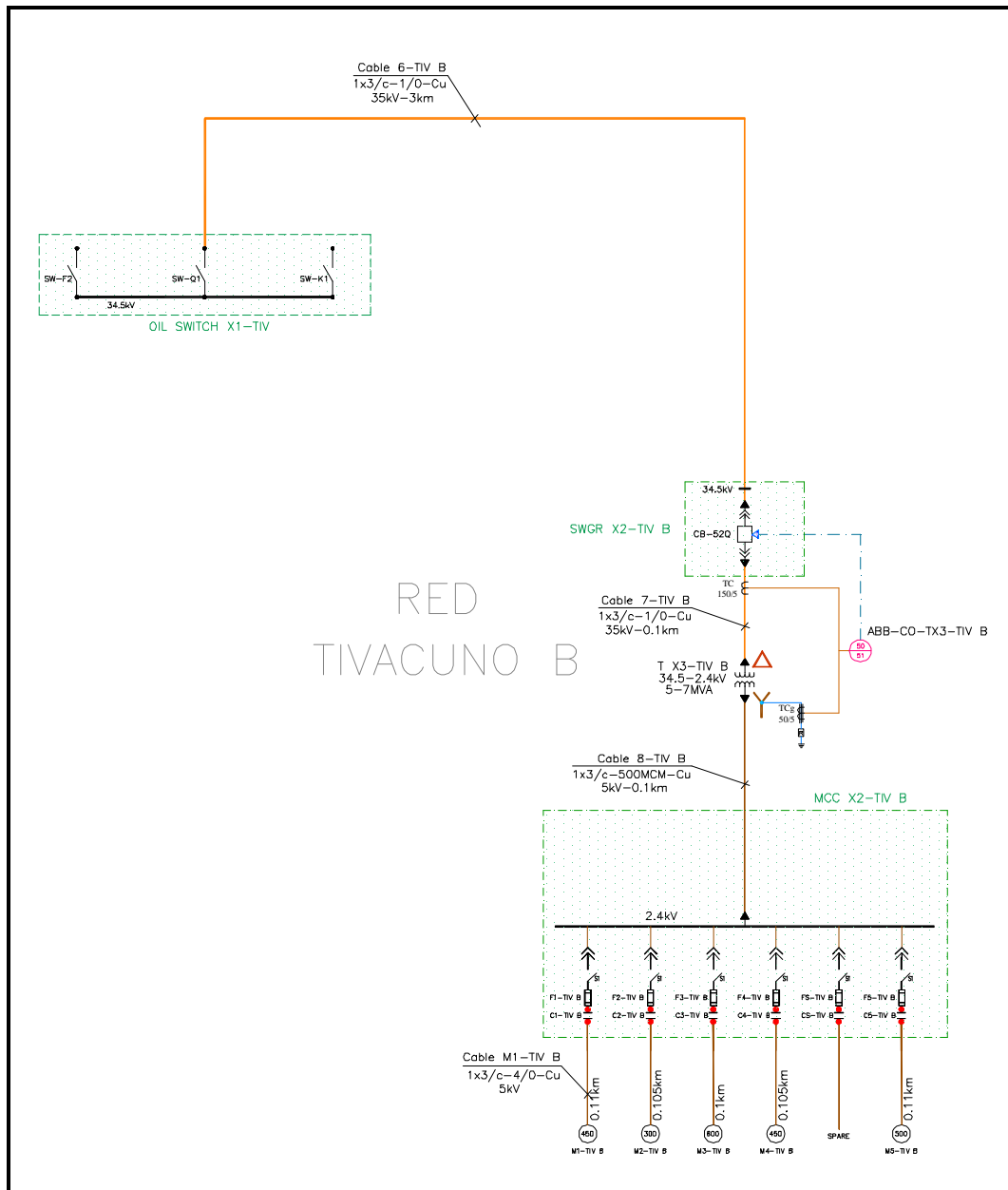
- ✓ El *interruptor de falla en vacío* (**VFI X1-TIV A**) de protección, se encuentra conformado por una vía de seccionamiento manual, capacidad nominal de voltaje 34.5kV; 100A continuos; 6kA de corriente de falla, junto a éste interruptor se encuentra un relé electromecánico de sobrecorriente (**ABB-CO-TX2-TIV A**) para protección del transformador de distribución (**T X2-TIV A**). Desde aquí se deriva la línea de distribución subterránea (**cable 4-TIV A**) de: 1x3/c-Cu; calibre 1/0AWG; longitud 0.1km; 35kV; se dirige hacia el primario del transformador de distribución (**T X2-TIV A**).
- ✓ Un *transformador de distribución* (**T X2-TIV A**) de 5-7MVA; reductor de voltaje 34.5/2.4kV; trifásico; 60Hz. Desde el secundario de éste transformador se alimenta a la línea de distribución subterránea (**cable 5-TIV A**) de: 1x3/c-Cu; calibre 500MCM; longitud 0.1km; 5kV; se dirige hacia el Centro de Control de Motores (**MCC X1-TIV A**).
- ✓ El *centro de control de motores* (**MCC X1-TIV A**) a capacidad nominal de voltaje 2.4kV; 1200A continuos; 35kA de corriente de falla, se encuentra conformado por desconectadores fusibles automáticos y contactores para protección de los motores; capacidad nominal de voltaje 2.4kV. Desde aquí se alimenta a once motores de inducción a través de cables de distribución subterráneo okonite de: 1x3/c-Cu; calibre 4/0AWG; 5kV.

Las especificaciones de éstos equipos se muestran en el levantamiento de información en las **Tablas 2.1 a 2.13**.

### **2.2.3 RED TIVACUNO B**

- ✓ La red eléctrica Tivacuno B, se deriva desde el *oil switch* (**OIL SWITCH X1-TIV**). Desde aquí se deriva la línea de distribución subterránea (**cable 6-TIV B**) de: 1x3/c-Cu; calibre 1/0AWG; longitud 3km; capacidad nominal de voltaje 35kV; se dirige hacia el *switchgear* (**SWGR X2-TIV B**).

**FIGURA 2.3** Diagrama unifilar de la Red Tivacuno B, existente.



La ampliación de ésta figura se observa en el **ANEXO D.2 - Plano No. 02**.

- ✓ El *switchgear* (**SWGR X2-TIV B**) en cuyos módulos se encuentra el *disyuntor* (**CB-52Q**) de protección automática extraíble a capacidad nominal de voltaje 34.5kV; 100A continuos; 6kA de corriente de falla y un relé electromecánico de sobrecorriente (**ABB-CO-TX3-TIV B**) para protección del transformador de distribución (**T X3-TIV B**). Desde aquí se deriva la línea de distribución

subterránea (**cable 7-TIV B**) de: 1x3/c-Cu; calibre 1/0AWG; longitud 0.1km; 35kV; se dirige hacia el primario del transformador de distribución (**T X3-TIV B**).

- ✓ Un *transformador de distribución* (**T X3-TIV B**) de 5-7MVA; reductor de voltaje 34.5/2.4kV; trifásico; 60Hz. Desde el secundario de éste transformador se alimenta a la línea de distribución subterránea (**cable 8-TIV B**) de: 1x3/c-Cu; calibre 500MCM; longitud 0.1km; 5kV; se dirige hacia el Centro de Control de Motores (**MCC X2-TIV B**).
- ✓ El *centro de control de motores* (**MCC X2-TIV B**) a capacidad nominal de voltaje 2.4kV; 1200A continuos; 35kA de corriente de falla, se encuentra conformado por desconectadores fusibles automáticos y contactores para protección de los motores; capacidad nominal de voltaje 5kV. Desde aquí se alimenta a cinco motores de inducción a través de cables de distribución subterráneo okonite de: 1x3/c-Cu; calibre 4/0AWG; 5kV.

Las especificaciones de éstos equipos se muestran en el levantamiento de información en las **Tablas 2.1 a 2.13**.

Un **Switchgear** (SWGR) es una caja de distribución eléctrica en la que se ensamblan una serie de dispositivos de: conmutación e interrupción, control, medición, protección y regulación. Éste switchgear se lo diseña y construye de acuerdo a las características del sistema eléctrico en donde se implementa. <sup>(1)</sup>

---

(1) Artículo PDF: El Switchgear, características y funciones; Internet Explorer; 2008.

### 2.3 LEVANTAMIENTO DE INFORMACION EN EL SISTEMA ELECTRICO ACTUAL.

TABLA 2.1 Generador de energía del sistema eléctrico														
No.	TIPO DE GENERADOR	CODIGO DE UBICACIÓN	TIPO DE OPERACIÓN	CAPACIDAD NOMINAL							OPERACIÓN DEL GENERADOR			
				kV	MVA	MW	%Fp	% Efic	In o FLA	rpm	% V	Angulo	MW	MVAr
1	Generador de energía (trifásico)	G-TIV NPF	generador	13.8	26.11	25.5	97.7	95	1092	1800	100	0	5.17	2.62

TABLA 2.2 Transformadores trifásicos de distribución del sistema eléctrico															
No.	TIPO DE TRANSFORMADOR	CODIGO DE UBICACIÓN	CAPACIDAD NOMINAL												
			CONEXIÓN	kV prim.	kV secun.	TIPO DE OPERACIÓN	In (A) prim.	In (A) secun.	MVA	Max. MVA	% Z	X/R	Max. T °C	Clase	
1	Transformador de distribución (trifásico)	T X1-TIV	D - Y(11)	13.8	34.5	elevador	418.4	167.3	10	14	7.5	15.5	55/65	OA/FA	
2	Transformador de distribución (trifásico)	T X2-TIV A	D - Y(11)	34.5	2.4	reductor	83.67	1203	5	7	5	12.1	55/65	OA/FA	
3	Transformador de distribución (trifásico)	T X3-TIV B	D - Y(11)	34.5	2.4	reductor	83.67	1203	5	7	7.5	12.1	55/66	OA/FA	



**TABLA 2.3** Líneas trifásicas subterráneas del sistema eléctrico

No.	CODIGO DE UBICACIÓN	# cond x Cable	AWG/ kCM	TIPO DE AISLAMIENTO	TOLERANCIA NIVEL AISLAMIENTO %	CAPACIDAD NOMINAL			SALIDA	LLEGADA	LONGIT. km
						Max. kV	In (A)	Max. T °C			
1	CABLE1-TIV	3/C	1/0.	THW	133	15	420	105	SWGR X1-TIV	T X1-TIV	0.1
2	CABLE 2-TIV	3/C	1/0.	THW	133	35	160	105	T X1-TIV	OIL SWITCH X1-TIV	5
3	CABLE 3-TIV A	3/C	1/0.	THW	133	35	85	105	OIL SWITCH X1-TIV	VFI X1-TIV A	6
4	CABLE 4-TIV A	3/C	1/0.	THW	133	35	85	105	VFI X1-TIV A	T X2-TIV A	0.1
5	CABLE 5-TIV A	3/C	500	THW	133	5	1200	105	T X2-TIV A	MCC X1-TIV A	0.1
6	CABLE 6-TIV B	3/C	1/0.	THW	133	35	85	105	OIL SWITCH X1-TIV	SWGR X2-TIV B	3
7	CABLE 7-TIV B	3/C	1/0.	THW	133	35	85	105	SWGR X2-TIV B	T X3-TIV B	0.1
8	CABLE 8-TIV B	3/C	500	THW	133	5	1200	105	T X3-TIV B	MCC X2-TIV B	0.1

**TABLA 2.4** Conductores trifásicos subterráneos de los motores de las Plataformas Tivacuno A.

No.	CODIGO DE UBICACIÓN	# cond x Cable	AWG/ kCM	TIPO DE AISLAMIENTO	TOLERANCIA NIVEL AISLAMIENTO %	CAPACIDAD NOMINAL			SALIDA	LLEGADA	LONGIT. km
						Max. kV	In (A)	Max. T °C			
1	CABLE M1-TIV A	3/C	4/0.	THW	133	5	150	105	MCC X1-TIV A	M1-TIV A	0.125
2	CABLE M2-TIV A	3/C	4/0.	THW	133	5	100	105		M2-TIV A	0.12
3	CABLE M3-TIV A	3/C	4/0.	THW	133	5	100	105		M3-TIV A	0.115
4	CABLE M4-TIV A	3/C	4/0.	THW	133	5	150	105		M4-TIV A	0.11
5	CABLE M5-TIV A	3/C	4/0.	THW	133	5	100	105		M5-TIV A	0.105
6	CABLE M6-TIV A	3/C	4/0.	THW	133	5	100	105		M6-TIV A	0.1
7	CABLE M7-TIV A	3/C	4/0.	THW	133	5	150	105		M7-TIV A	0.105
8	CABLE M8-TIV A	3/C	4/0.	THW	133	5	100	105		M8-TIV A	0.11

9	CABLE M9-TIV A	3/C	4/0.	THW	133	5	100	105		M9-TIV A	0.115
10	CABLE M10-TIV A	3/C	4/0.	THW	133	5	100	105		M10-TIV A	0.12
11	CABLE M11-TIV A	3/C	4/0.	THW	133	5	100	105		M11-TIV A	0.125

**TABLA 2.5** Conductores trifásicos subterráneos de los motores de las Plataformas Tivacuno B.

No.	CODIGO DE UBICACIÓN	# cond x Cable	AWG/ k CM	TIPO DE AISLAMIENTO	TOLERANCIA NIVEL AISLAMIENTO %	CAPACIDAD NOMINAL			SALIDA	LLEGADA	LONGIT. km
						Max. kV	In (A)	Max. T °C			
1	CABLE M1-TIV B	3/C	4/0.	THW	133	5	100	105	MCC X2-TIV B	M1-TIV B	0.11
2	CABLE M2-TIV B	3/C	4/0.	THW	133	5	100	105		M2-TIV B	0.105
3	CABLE M3-TIV B	3/C	4/0.	THW	133	5	150	105		M3-TIV B	0.1
4	CABLE M4-TIV B	3/C	4/0.	THW	133	5	150	105		M4-TIV B	0.105
5	CABLE M5-TIV B	3/C	4/0.	THW	133	5	150	105		M5-TIV B	0.11

**TABLA 2.6** Equipos de corte y seccionamiento del sistema eléctrico

No.	CODIGO DE UBICACIÓN	EQUIPO QUE CONTROLA	MARCA	MODELO	CAPACIDAD NOMINAL		CAPACIDAD DE CORTOCIRCUITO	PROTEGE
					Max. kV	In (A)	kA rms Asimétrica	
1	SWGR X1-TIV	CB-52E	ABB	15GHK750	15	600	16	G-TIV NPF; T X1-TIV
2	OIL SWITCH X1-TIV	SW-F2	ABB	36HKSA1600	38	160	6	OIL SWITCH X1-TIV
		SW-K1	ABB	36HKSA1601	38	160	6	Cable 3-TIV A
		SW-Q1	ABB	36HKSA1600	38	160	6	Cable 6-TIV B
3	VFI X1-TIV A	SW-52M	ABB	5HK250	38	100	6	T X2-TIV A
4	SWGR X2-TIV B	CB-52Q	ABB	36HKSA1600	38	100	6	T X3-TIV B

<b>TABLA 2.7</b> Tableros de control de motores (MCCS) del sistema eléctrico						
No.	CODIGO DE UBICACIÓN	CAPACIDAD NOMINAL		CAPACIDAD DE CORTOCIRCUITO	MÁQUINAS QUE CONTROLA	HP
		kV	In (A)	kA rms Asimétrica		
1	MCC X1-TIV A	2.4	1200	35	M1-TIV A	600
					M2-TIV A	114
					M3-TIV A	300
					M4-TIV A	600
					M5-TIV A	400
					M6-TIV A	114
					M7-TIV A	500
					M8-TIV A	300
					M9-TIV A	350
					M10-TIV A	350
					M11-TIV A	400
2	MCC X2-TIV B	2.4	1200	35	M1-TIV B	450
					M2-TIV B	300
					M3-TIV B	600
					M4-TIV B	450
					M5-TIV B	500

<b>TABLA 2.8</b> Contactores termomagnéticos en las Plataforma Tivacuno A.							
No.	CODIGO DE UBICACIÓN	MARCA	MODELO	CONTROLA	CAPACIDAD NOMINAL		CAPACIDAD DE CORTOCIRCUITO
					Max. kV	In (A)	kA rms Asimétrica
1	C1-TIV A	ABB	VSC	M1- TIV A	2.4	200	30
2	C2-TIV A	ABB	VSC	M2-TIV A	2.4	200	30
3	C3-TIV A	ABB	VSC	M3-TIV A	2.4	160	30
4	C4-TIV A	ABB	VSC	M4-TIV A	2.4	200	30
5	C5-TIV A	ABB	VSC	M5-TIV A	2.4	160	30
6	C6-TIV A	ABB	VSC	M6-TIV A	2.4	200	30
7	C7-TIV A	ABB	VSC	M7-TIV A	2.4	200	30
8	C8-TIV A	ABB	VSC	M8-TIV A	2.4	160	30
9	C9-TIV A	ABB	VSC	M9-TIV A	2.4	160	30
10	C10-TIV A	ABB	VSC	M10-TIV A	2.4	160	30
11	C11-TIV A	ABB	VSC	M11-TIV A	2.4	160	30

**TABLA 2.9** Contactores termomagnéticos en las Plataforma Tivacuno B.

No.	CODIGO DE UBICACIÓN	MARCA	MODELO	CONTROLA	CAPACIDAD NOMINAL		CAPACIDAD DE CORTOCIRCUITO
					Max. kV	In (A)	kA rms Asimétrica
1	C1-TIV B	ABB	VSC	M1-TIV B	2.4	200	30
2	C2-TIV B	ABB	VSC	M2-TIV B	2.4	160	30
3	C3-TIV B	ABB	VSC	M3-TIV B	2.4	200	30
4	C4-TIV B	ABB	VSC	M4-TIV B	2.4	200	30
5	C5-TIV B	ABB	VSC	M5-TIV B	2.4	200	30

**TABLA 2.10** Fusibles termomagnéticos extraíbles en las Plataforma Tivacuno A.

No.	CODIGO DE UBICACIÓN	MARCA	MODELO	CAPACIDAD NOMINAL			PROTEGE AL MOTOR DE INDUCCION
				Max. kV	In (A)	Capacidad de disparo (kA)	
1	F1-TIV A	SIBA	HHM	3.6	160	50	M1- TIV A
2	F2-TIV A	SIBA	HHM	3.6	160	50	M2-TIV A
3	F3-TIV A	SIBA	HHM	3.6	125	50	M3-TIV A
4	F4-TIV A	SIBA	HHM	3.6	160	50	M4-TIV A
5	F5-TIV A	SIBA	HHM	3.6	125	50	M5-TIV A
6	F6-TIV A	SIBA	HHM	3.6	160	50	M6-TIV A
7	F7-TIV A	SIBA	HHM	3.6	160	50	M7-TIV A
8	F8-TIV A	SIBA	HHM	3.6	125	50	M8-TIV A
9	F9-TIV A	SIBA	HHM	3.6	125	50	M9-TIV A
10	F10-TIV A	SIBA	HHM	3.6	125	50	M10-TIV A
11	F11-TIV A	SIBA	HHM	3.6	125	50	M11-TIV A

**TABLA 2.11** Fusibles termomagnéticos extraíbles en las Plataforma Tivacuno B.

No.	CODIGO DE UBICACIÓN	MARCA	MODELO	CAPACIDAD NOMINAL			PROTEGE AL MOTOR DE INDUCCION
				Max. kV	In (A)	Capacidad de disparo (kA)	
1	F1-TIV B	SIBA	HHM	3.6	125	50	M1-TIV B
2	F2-TIV B	SIBA	HHM	3.6	100	50	M2-TIV B
3	F3-TIV B	SIBA	HHM	3.6	160	50	M3-TIV B
4	F4-TIV B	SIBA	HHM	3.6	125	50	M4-TIV B
5	F5-TIV B	SIBA	HHM	3.6	125	50	M5-TIV B

**TABLA 2.12** Motores de inducción tipo jaula de ardilla de las Plataformas Tivacuno A

No.	MOTOR DE INDUCCION	TIPO	Fases	CAPACIDAD NOMINAL					
				HP	kVA	Max. kV	In (A)	RPM	Polos
1	M1-TIV A	Jaula de ardilla	3Ø	600	520	2.4	125.2	1800	4
2	M2-TIV A	Jaula de ardilla	3Ø	114	113	2.4	27.2	1800	4
3	M3-TIV A	Jaula de ardilla	3Ø	300	267	2.4	64.2	1800	4
4	M4-TIV A	Jaula de ardilla	3Ø	600	520	2.4	125.2	1800	4
5	M5-TIV A	Jaula de ardilla	3Ø	400	348	2.4	83.7	1800	4
6	M6-TIV A	Jaula de ardilla	3Ø	114	113	2.4	27.2	1800	4
7	M7-TIV A	Jaula de ardilla	3Ø	500	434	2.4	104.5	1800	4
8	M8-TIV A	Jaula de ardilla	3Ø	300	267	2.4	64.2	1800	4
9	M9-TIV A	Jaula de ardilla	3Ø	350	305	2.4	73.3	1800	4
10	M10-TIV A	Jaula de ardilla	3Ø	350	305	2.4	73.3	1800	4
11	M11-TIV A	Jaula de ardilla	3Ø	400	348	2.4	83.7	1800	4

**TABLA 2.13** Motores de inducción tipo jaula de ardilla de las Plataformas Tivacuno B

No.	MOTOR DE INDUCCION	TIPO	Fases	CAPACIDAD NOMINAL					
				HP	kVA	Max. kV	In (A)	RPM	Polos
1	M1-TIV B	Jaula de ardilla	3Ø	450	391	2.4	94.1	1800	4
2	M2-TIV B	Jaula de ardilla	3Ø	300	267	2.4	64.2	1800	4
3	M3-TIV B	Jaula de ardilla	3Ø	600	520	2.4	125.2	1800	4
4	M4-TIV B	Jaula de ardilla	3Ø	450	391	2.4	94.1	1800	4
5	M5-TIV B	Jaula de ardilla	3Ø	500	434	2.4	104.5	1800	4

## 2.4 ANALIS DE FLUJOS DE POTENCIA

El presente análisis de **flujos de potencia** se realiza sobre el sistema eléctrico de distribución actual; conformado por redes de topología radial, se calculan mediante el empleo del Software “**ETAP Power Station**” y se simulan sobre los siguientes escenarios:

- ✓ En una primera etapa, se tiene la red Tivacuno NPF, desde donde se origina la generación de energía.
- ✓ En una segunda etapa, se tiene la red Tivacuno A, en donde se encuentran las cargas correspondientes a los once motores, para once pozos de producción de crudo.
- ✓ En una tercera etapa, se tiene la red Tivacuno B, en donde se encuentran las cargas correspondientes a los cinco motores, para cinco pozos de producción de crudo.

Los propósitos de éste análisis es determinar si los equipos componentes del sistema eléctrico actual se encuentran operando normalmente y si la generación disponible está acorde a la carga total consumida por los motores de las Plataformas Tivacuno A y Tivacuno B.

Para verificar éste cometido, se siguen recomendaciones realizadas por la Norma Americana **IEEE 141-1993**, lo cual manifiesta que un sistema eléctrico de distribución a nivel industrial opera normalmente si los *niveles de Voltaje* en sus barras se encuentran dentro de los rangos permisibles:  $0.95 < V_{p.u} < 1.05$  y sus respectivos *ángulos* están entre  $-30^\circ < \theta < 30^\circ$ .

Los resultados obtenidos del presente análisis se presentan a continuación en las siguientes tablas:

<b>TABLA 2.14</b> Resultados de la simulación de flujos de potencia					
SISTEMA ELECTRICO	Barra	Nivel de Voltaje (kV)	Flujo de Corriente (A)	Voltaje (p.u.)	Angulo (o)
Red Tivacuno NPF	SWGR X1-TIV	13.8	262	1	0
	SWGR X2-TIV	34.5	102.2	0.9994	2.72
	SWGR X3-TIV	34.5	102.2	0.9986	2.78
Red Tivacuno A	SWGR X4-TIV A	34.5	65.6	0.998	2.83
	MCC X1-TIV A	2.4	920	1	5.2
Red Tivacuno B	SWGR X5-TIV B	34.5	36.6	0.9978	2.78
	MCC X2-TIV B	2.4	513.8	1.0042	4.74

<b>TABLA 2.15</b> Corrientes nominales de los equipos				
SISTEMA ELECTRICO	EQUIPO	Nivel de Voltaje (kV)	In (A)	Flujo de Corriente (A)
Red Tivacuno NPF	G-TIV NPF	13.8	1092	262
	SWGR X1-TIV	13.8	600	262
	Cable 1-TIV	13.8	420	262
	T X1-TIV	34.5	418.4/167.3	262/102.2
	Cable 2-TIV	34.5	160	102.2
	SWGR X2-TIV	34.5	160	102.2
	Cable 3-TIV	34.5	160	100.2
Red Tivacuno A	SWGR X3-TIV	34.5	160	100.2
	Cable 4-TIV A	34.5	85	65.6
	SWGR X4-TIV A	34.5	100	65.6
	Cable 5-TIV A	2.4	85	65.6
	T X2-TIV A	34.5	83.67/1203	65.6/920
	Cable 6-TIV A	2.4	1200	920
Red Tivacuno B	MCC X1 - TIV A	2.4	1200	920
	Cable 7-TIV B	34.5	85	36.6
	SWGR X5-TIV B	34.5	100	36.6
	Cable 8-TIV B	2.4	85	36.6
	T X3-TIV B	34.5	83.67/1203	36.6/513.8
	Cable 9-TIV B	2.4	1200	513.8
	MCC X2 - TIV B	2.4	1200	513.8

<b>TABLA 2.16</b> Potencia de operación del sistema eléctrico							
Generación disponible		Generación consumida		Condición de operación del sistema eléctrico			Numero de pozos petroleros
Potencia Activa (kW)	Potencia Reactiva (kVAr)	Potencia Activa (kW)	Potencia Reactiva (kVAr)	Red Tivacuno NPF	Red Tivacuno A	Red Tivacuno B	
25500	5600	5643	2714	operando	operando	operando	16

Los resultados gráficos referentes al presente análisis se observan en el **ANEXO D.4 y D.5 – Planos No. 04 y 05**, respectivamente.

En la Tabla 2.15, se observa que el flujo de corriente en el generador de energía G-TIV NPF (conjunto motor-generador del tipo Diesel de combustión interna), se encuentra cargado a un 23,9% de su capacidad máxima, lo cual puede afectar su funcionamiento mecánico. Según la Norma Americana **NFPA110-2005**, éste generador no debe trabajar por debajo del 30% de su capacidad máxima y de ser a sí, se recomienda el uso de bancos de carga resistivos.

Pese a que el generador no está dentro del rango de operación adecuado, se observa que los niveles de Voltaje en cada una de las barras del sistema eléctrico se encuentran dentro de los rangos permisibles:  $0.95 < V_{p.u} < 1.05$  y  $-30^\circ < \theta < 30^\circ$ , recomendado por la Norma Americana **IEEE 141-1993**. Esto indica que el sistema eléctrico en su conjunto se encuentra operando, pero existe un riesgo de daño en el generador si no se toman los correctivos antes mencionados.

Se observa también que, la generación consumida es menor a la generación máxima disponible, cuando el sistema eléctrico de las Plataformas Tivacuno se encuentra trabajando a su capacidad máxima, lo cual confirma que la capacidad del generador se encuentra sobredimensionada.

Éste desfase en la generación se debe a que se esperaba una ampliación de redes subterráneas y de nuevas Plataformas para el año 2007, con lo cual se aumentaría la carga y se compensaría la generación disponible, pero éste incremento al final no se dio debido a problemas administrativos entre la compañía petrolera REPSOL YPF-Ecuador y el Estado ecuatoriano.



## 2.5 ANALISIS DE CORTOCIRCUITOS

El presente análisis de **cortocircuitos** se realiza sobre el sistema eléctrico de distribución actual, mediante el empleo del Software “**ETAP Power Station**” y se simulan fallas trifásicas, línea a tierra, línea a línea y línea - línea a tierra, en tiempos de medio y treinta ciclos de forma independiente en cada una de las siguientes barras:

- ✓ **Red Tivacuno NPF:** SWGR X1– TIV, SWGR X2– TIV, SWGR X3– TIV.
- ✓ **Red Tivacuno A:** SWGR X4 – TIV A, MCC X1 – TIV A.
- ✓ **Red Tivacuno B:** SWGR X5 – TIV B, MCC X2 – TIV B.

El presente análisis de cortocircuitos tiene como finalidad verificar que las capacidades de cortocircuito en los equipos del sistema eléctrico existente, soportan cualquier condición anormal (perturbación y/o falla) que pudiera presentarse.

Éste análisis también tendrá validez para el sistema eléctrico propuesto ya que se conservan las mismas características operativas del sistema existente y su topología no cambia. Esto indica que los nuevos equipos a seleccionarse como son: equipos eléctricos de distribución (switchgears), disyuntores de seccionamiento automático (circuit breakers) y relés digitales (GE Multilin, de modelo UR) guardaran las mismas características operativas que los equipos existentes.

Los valores de corrientes de cortocircuito obtenidos en el presente análisis, se utilizan más adelante en el Capítulo 4, en la calibración y coordinación de los dispositivos de protección.

Los resultados obtenidos del presente análisis se presentan a continuación en las siguientes tablas:

**TABLA 2.17** Corrientes de cortocircuito obtenidas al simular una falla trifásica en cada una de las barras

EQUIPO QUE PRESENTA LA FALLA	VOLTAJES DE LA BARRA	CORRIENTES DE FALLA MOMENTANEA CALCULADA			CAPACIDAD NOMINAL DEL EQUIPO			
	kV nom = kV pref	kA rms Simétrica	kA rms Asimétrica	kA pico Asimétrica	kV max	kA rms Simétrica (*)	kA rms Asimétrica	kA pico Asimétrica
SWGR X1 -TIV	13.8	9.14	15.17	25.03	13.8	15	16	27
SWGR X2 -TIV	34.5	2.73	4.31	7.2	34.5	3	6	10.1
SWGR X3 -TIV	34.5	2.65	4.13	6.91	34.5	3	6	10.1
SWGR X4 -TIV A	34.5	2.54	3.92	6.58	34.5	3	6	10.1
SWGR X5 -TIV B	34.5	2.58	3.73	6.35	34.5	3	6	10.1
MCC X1-TIV A	2.4	20.33	29.03	49.47	2.4	20	35	59
MCC X2-TIV B	2.4	15.55	21.9	37.42	2.4	20	35	59

(\*) La corriente Simétrica nominal de estos equipos, es igual a la corriente de falla que toleran sus respectivos *circuit breakers* (Rated Int.)

**TABLA 2.18** Corrientes de cortocircuito obtenidas al simular una falla trifásica en cada una de las líneas que alimentan a los motores

EQUIPO QUE PRESENTA LA FALLA	VOLTAJES DE LAS LINEAS	CORRIENTES DE FALLA MOMENTANEA CALCULADA			CAPACIDAD NOMINAL DEL EQUIPO			
	kV nom = kV pref	kA rms Simétrica	kA rms Asimétrica	kA pico Asimétrica	kV max	kA rms Simétrica (*)	kA rms Asimétrica	kA pico Asimétrica
<b>PLATAFORMA TIVACUNO A</b>								
CABLE M1-TIV A	2.4	20.33	29.03	49.47	2.4	20	35	59
CABLE M2-TIV A	2.4	20.33	29.03	49.47	2.4	20	35	59
CABLE M3-TIV A	2.4	20.33	29.03	49.47	2.4	20	35	59
CABLE M4-TIV A	2.4	20.33	29.03	49.47	2.4	20	35	59

CABLE M5-TIV A	2.4	20.33	29.03	49.47	2.4	20	35	59
CABLE M6-TIV A	2.4	20.33	29.03	49.47	2.4	20	35	59
CABLE M7-TIV A	2.4	20.33	29.03	49.47	2.4	20	35	59
CABLE M8-TIV A	2.4	20.33	29.03	49.47	2.4	20	35	59
CABLE M9-TIV A	2.4	20.33	29.03	49.47	2.4	20	35	59
CABLE M10-TIV A	2.4	20.33	29.03	49.47	2.4	20	35	59
CABLE M11-TIV A	2.4	20.33	29.03	49.47	2.4	20	35	59
<b>PLATAFORMA TIVACUNO B</b>								
CABLE M1-TIV B	2.4	15.55	21.9	37.42	2.4	20	35	59
CABLE M2-TIV B	2.4	15.55	21.9	37.42	2.4	20	35	59
CABLE M3-TIV B	2.4	15.55	21.9	37.42	2.4	20	35	59
CABLE M4-TIV B	2.4	15.55	21.9	37.42	2.4	20	35	59
CABLE M5-TIV B	2.4	15.55	21.9	37.42	2.4	20	35	59
(*) La corriente Simétrica nominal de estos equipos, es igual a la corriente de falla que toleran sus respectivos <i>disyuntores</i> (Rated Int.)								

Los resultados presentados en la **Tabla 2.17** y **2.18** sirven como datos para realizar la calibración de los relés digitales *GE Multilin* de modelo *UR*.

<b>TABLA 2.19</b> Corrientes de cortocircuito obtenidas al simular una falla línea a tierra en cada una de las barras							
DATOS DEL EQUIPO		PERIODO DE DURACION DE LA FALLA	Falla línea a tierra				
EQUIPO QUE PRESENTA LA FALLA	kV de la Barra		% Voltaje en las fases de la Barra			Corriente en las fases de la Barra (kA)	
	kV n = kV pref		Va	Vb	Vc	Ia	Ib = Ic
MCC X1-TIV A	2.4	0.5 ciclos	0	172.09	173.94	0.38	0
		30 ciclos	0	172.04	173.96	0.38	0
MCC X2-TIV B	2.4	0.5 ciclos	0	171.72	174.14	0.38	0
		30 ciclos	0	171.71	174.15	0.38	0
SWGR X1-TIV	13.8	0.5 ciclos	0	100.09	100.08	9.12	0
		30 ciclos	0	76.6	76.6	6.96	0
SWGR X3-TIV	34.5	0.5 ciclos	0	164.48	178.35	0.37	0
		30 ciclos	0	163.99	178	0.36	0

<b>TABLA 2.20</b> Corrientes de cortocircuito obtenidas al simular de una falla línea a línea en cada una de las barras							
DATOS DEL EQUIPO		PERIODO DE DURACION DE LA FALLA	Falla línea a línea				
EQUIPO QUE PRESENTA LA FALLA	kV de la Barra		% Voltaje en las fases de la Barra		Corriente en las fases de la Barra (kA)		
	kV n = kV pref		Va	Vb = Vc	Ia	Ib = Ic	
MCC X1-TIV A	2.4	0.5 ciclos	100	50	0	17.61	
		30 ciclos	94	46.86	0	15.95	
MCC X2-TIV B	2.4	0.5 ciclos	100	50	0	13.47	
		30 ciclos	95	47.49	0	12.74	
SWGR X1-TIV	13.8	0.5 ciclos	100	50	0	7.91	
		30 ciclos	69	34.29	0	5.4	
SWGR X3-TIV	34.5	0.5 ciclos	100	50	0	2.29	
		30 ciclos	85	42.5	0	1.92	

<b>TABLA 2.21</b> Corrientes de cortocircuito obtenidas al simular de una falla línea a tierra en cada una de las barras							
DATOS DEL EQUIPO		PERIODO DE DURACION DE LA FALLA	Falla línea - línea a tierra				
EQUIPO QUE PRESENTA LA FALLA	kV de la Barra		% Voltaje en las fases de la Barra		Corriente en las fases de la Barra (kA)		
	kV n = kV pref		Va	Vb = Vc	Ia	Ib	Ic
MCC X1-TIV A	2.4	0.5 ciclos	149.95	0	0	17.7	17.51
		30 ciclos	140.53	0	0	16.04	15.86
MCC X2-TIV B	2.4	0.5 ciclos	149.93	0	0	13.56	13.37
		30 ciclos	142.41	0	0	12.83	12.65

SWGR X1-TIV	13.8	0.5 ciclos	100.16	0	0	9.13	9.13
		30 ciclos	62.08	0	0	5.64	5.64
SWGR X3-TIV	34.5	0.5 ciclos	149.64	0	0	2.38	2.2
		30 ciclos	127.17	0	0	2	1.8

Los resultados presentados en las **Tablas 2.19 a 2.21** sirven para ver el comportamiento de la falla en los periodos comprendidos *0.5 a 30 ciclos*.

Los resultados gráficos referentes al presente análisis se observan en el **ANEXO D.6 – Planos No. 06**.

## 2.6 EVALUACION DE LA SITUACION ACTUAL DEL SISTEMA ELECTRICO DE LAS PLATAFORMAS TIVACUNO

El sistema eléctrico actual de las **Plataformas Tivacuno A/B**, se encuentra operando normalmente, sin embargo, sus elementos componentes como son: el centro de generación (**G-TIV NPF**) y los transformadores de distribución (**TX1-TIV; TX2-TIV A; TX3-TIV B**) se encuentran protegidos por relés electromecánicos y equipos de seccionamiento manual que no prestan la confiabilidad necesaria, ya que frecuentemente están sujetos a mantenimientos no programados.

Realizar el mantenimiento de estos dispositivos de protección resulta muy complicado, ya que sus repuestos están descontinuados en el mercado y si los hay, resulta muy costoso adquirirlos.

Por otro lado, los *Centros de Control de Motores* como son: el **MCC X1-TIV A y MCC X2-TIV B**, no tienen dispositivos de protección aguas arriba, por lo que de presentarse una falla, estos **MCCS** se dañarían inmediatamente y exponen además al daño de los once y cinco motores de inducción que se encuentran conectados a las barras de estos equipos.

Esto implica pérdidas económicas muy grandes en la producción diaria de crudo para el estado ecuatoriano, debido a la paralización de trabajos en el campo, lo cual se evita mediante la selección e implementación de los nuevos relés digitales (*GE Multilin, de modelo UR*).

## CAPITULO 3

### DISEÑO DEL NUEVO SISTEMA DE PROTECCIONES PARA LAS PLATAFORMAS TIVACUNO

#### 3.1 INTRODUCCION

Habiendo evaluado la situación actual en la que se encuentra el sistema eléctrico de las Plataformas Tivacuno, se realiza el diseño del nuevo sistema de protecciones, que representa un elemento clave tanto para la seguridad del personal, como para brindar la confiabilidad y estabilidad en las operaciones del sistema eléctrico en mención.

Éste diseño, básicamente consiste en mejorar los dispositivos de protección existentes, mediante la implementación de nuevos equipos como son: *equipos eléctricos de distribución (switchgears)*, *dispositivos de seccionamiento automático (circuit breakers)* y *relés digitales (GE Multilin, de modelo UR)*, los mismos que prestan todos los requerimientos de seguridad planteados anteriormente, para la correcta operación del sistema eléctrico. Con la implementación de estos nuevos equipos, se reduce considerablemente el cableado y equipos auxiliares requeridos por los dispositivos electromecánicos, optimizando de esta forma el espacio ocupado por los mismos.

Se hace necesario también, realizar la implementación de *variadores electrónicos de frecuencia (VFD)*, los cuales permitirán controlar de forma más eficiente el arranque de los once y cinco motores que comandan a once y cinco bombas electro-sumergibles, respectivamente. Además, permiten determinar si cada uno de los motores trifásicos de inducción (tipo jaula de ardilla) inicia o puede ser puesto en marcha con éxito, bajo ciertas condiciones operativas, que no impidan la operación normal de los motores que se encuentran en paralelo.

### 3.2 ANTECEDENTES

El diseño del nuevo sistema de protecciones se realiza sobre el sistema eléctrico propuesto de las Plataformas Tivacuno, para lo cual se utiliza el Software “**ETAP Power Station**”, el mismo que incorpora una serie de herramientas, métodos y análisis que permiten diseñar el diagrama unifilar del mismo.

En base a los análisis de flujos de carga y cortocircuitos realizados en el capítulo anterior y considerando que se mantienen la topología, la generación y las cargas del sistema eléctrico existente, se realiza la selección de los nuevos dispositivos de protección a implementarse en el sistema eléctrico propuesto.

El sistema eléctrico de distribución propuesto se crea a partir del sistema eléctrico existente con modificaciones en los siguientes equipos:

- ✓ El *oil switch* (**OIL SWITCH X1-TIV A**) remplazado por el *switchgear* (**SWGR X3-TIV**) que incluye los *disyuntores* (**CB-52J, CB-52K, CB-52L**).
- ✓ El *interruptor de falla en vacío* (**VFI X1-TIV A**) remplazado por el *switchgear* (**SWGR X4-TIV**) que incluye el *disyuntor* (**CB-52M**).

Además, se realizan nuevas implementaciones de equipos de protección como son:

- ✓ El *switchgear* (**SWGR X2-TIV**) que incluye el *disyuntor* (**CB-52F**).
- ✓ El *disyuntor* (**CB-52N**) para protección del *centro de control de motores* **MCC X1-TIV A**.
- ✓ El *disyuntor* (**CB-52R**) para protección del *centro de control de motores* **MCC X2-TIV B**.

Con la implementación de estos equipos se optimiza el espacio ocupado por los mismos, se minimizan los mantenimientos anuales y se incrementa la seguridad para el personal que trabaja en el sitio.

### 3.3 SELECCIÓN DE LOS NUEVOS EQUIPOS DE PROTECCION

#### 3.3.1 SELECCIÓN DE SWITCHGEARS [9]

Con el objeto de optimizar espacio y de controlar adecuadamente a los nuevos dispositivos de protección, se selecciona el equipo eléctrico de distribución **GE** (*Power/Vac Metal Enclosed Switchgear*), el mismo que se encuentra reforzado en su estructura a prueba de explosión ya sea producida por arco interno o por agentes externos. Su diseño incluye la provisión de unos ductos metálicos que se dirigen hacia el exterior, los cuales se encuentran sellados con pernos plásticos especialmente diseñados para desprenderse en caso de explosión, permitiendo el escape de gases y llamas.

La selección de estos equipos eléctricos de distribución, se realiza considerando principalmente la protección del personal y de los dispositivos de protección instalados en sus módulos, de acuerdo a los criterios establecidos por las Normas Internacionales **IEC 60298-1995**.

#### 3.3.2 SELECCIÓN DE DISYUNTORES AUTOMATICOS EXTRAIBLES [9]

Con el objeto de automatizar el nuevo sistema de protecciones, se selecciona el disyuntor automático extraíble de circuito al vacío **ABB** (*Vacuum circuit breakers VD4*), el mismo que incorpora tres interruptores de seccionamiento automático con alta capacidad de interrupción, frecuencia de operación de 60Hz y con tiempos de corte/cierre de 45 y 60ms respectivamente.

La selección de estos disyuntores se realiza considerando principalmente la protección del personal y de los equipos en el sitio, de acuerdo a los criterios establecidos por las Normas Internacionales **DIN IEC 62271-100/A3 - DRAFT**.

En las siguientes tablas se presenta las características de los nuevos dispositivos de protección a ser implementados sobre el sistema eléctrico existente.



**TABLA 3.1** Mejoras en los equipos de corte y seccionamiento de las Plataformas tivacuno.

No.	SISTEMA ELECTRICO EXISTENTE					SISTEMA ELECTRICO PROPUESTO					OBSERVACION
	TABLERO DE DISTRIBUCION ELECTRICA		EQUIPO QUE CONTROLA			TABLERO DE DISTRIBUCION ELECTRICA		EQUIPO QUE CONTROLA			
	Descripción	CODIGO DE UBICACIÓN	Nombre del Equipo	CODIGO DE UBICACIÓN	CANTID.	Descripción	CODIGO DE UBICACIÓN	Nombre del Equipo	CODIGO DE UBICACIÓN	CANTID.	
1	Dispositivo de distribución eléctrica GE type: Power Vac	SWGR X1-TIV	Vacuum circuit breakers ABB type VD4:	CB-52E	1	Dispositivo de distribución eléctrica GE type: Power Vac	SWGR X1-TIV	Vacuum circuit breakers ABB type VD4:	CB-52E	1	Se conserva el existente
2	-	-	-	-	-	Dispositivo de distribución eléctrica GE type: Power Vac	SWGR X2-TIV	Vacuum circuit breakers ABB type VD4:	CB-52F	1	nuevo
3	Oil Immersed Load Break Switches	OIL SWITCH X1-TIV	Load breaker switch ABB type LBOR-II:	SW-F2	1	Dispositivo de distribución eléctrica GE type: Power Vac	SWGR X3-TIV	Vacuum circuit breakers ABB type VD4:	CB-52J	1	nuevo
			Load breaker switch ABB type LBOR-II:	SW-K1	1			Vacuum circuit breakers ABB type VD4:	CB-52K	1	nuevo
			Load breaker switch ABB type LBOR-II:	SW-Q1	1			Vacuum circuit breakers ABB type VD4:	CB-52L	1	nuevo
4	Interruptor de falla en vacio	VFI X1-TIV A	Load breaker switch ABB type LBOR-II:	SW-52M	1	Dispositivo de distribución eléctrica GE type: Power Vac	SWGR X4-TIV A	Vacuum circuit breakers ABB type VD4:	CB-52M	1	nuevo

5	Dispositivo de distribución eléctrica GE type: Power Vac	MCC X1-TIV A	-	-	-	Dispositivo de distribución eléctrica GE type: Power Vac	MCC X1-TIV A	Vacuum circuit breakers ABB type VD4:	CB-52N	1	nuevo
			fuse SIBA type HHM:	F1-TIV A	11			fuse SIBA type HHM:	F1-TIV A	11	Se conserva los existentes
			contactor ABB type VSC:	C-TIV A	11			contactor ABB type VSC:	C-TIV A	11	Se conserva los existentes
			-	-	-			variable frequency drive type:	VFD-TIV A	11	nuevos
6	Dispositivo de distribución eléctrica GE type: Power Vac	SWGR X2-TIV B	Vacuum circuit breakers ABB type VD4:	CB-52Q	1	Dispositivo de distribución eléctrica GE type: Power Vac	SWGR X5-TIV B	Vacuum circuit breakers ABB type VD4:	CB-52Q	1	Se conserva el existente, solo se cambia su denominación de X2 a X5.
7	Dispositivo de distribución eléctrica GE type: Power Vac	MCC X2-TIV B	-	-	-	Dispositivo de distribución eléctrica GE type: Power Vac	MCC X2-TIV B	Vacuum circuit breakers ABB type VD4:	CB-52R	1	nuevos
			fuse SIBA type HHM:	F1-TIV B	11			fuse SIBA type HHM:	F1-TIV B	11	Se conserva los existentes
			contactor ABB type VSC:	C-TIV B	11			contactor ABB type VSC:	C-TIV A	11	Se conserva los existentes
			-	-	-			variable frequency drive type:	VFD-TIV A	11	nuevos
✓ Las características de estos nuevos equipo se presentan en la <i>Tabla 3.2</i> .											

**TABLA 3.2** Equipos de distribución y seccionamiento de las Plataformas tivacuno.

No.	Tablero de distribución Metalclad				Disyuntor automático extraíble de circuito al vacío <i>ABB (VD4)</i>									EQUIPO PROTEGIDO
					CODIGO DE UBICACIÓN	MARCA	MODELO	CAPACIDAD NOMINAL						
	V nom.	Max. kV	In (A)	kA interrup.				Max. kA interrup.	kA rms Asimétrica	kA rms Pico				
1	SWGR X1-TIV	GE	Power Vac	13.8	CB-52E	ABB	15GHK500	15	600	18	23	36.8	62.1	G-TIV NPF; T X1-TIV
2	SWGR X2-TIV	GE	Power Vac	34.5	CB-52F	ABB	38PM31	38	160	31.5	31.5	50.4	85.05	cable 3-TIV
3	SWGR X3-TIV	GE	Power Vac	34.5	CB-52J	ABB	38PM31	38	160	31.5	31.5	50.4	85.05	SWGR X3-TIV
					CB-52K	ABB	38PM31	38	160	31.5	31.5	50.4	85.05	cable 4-TIV A
					CB-52L	ABB	38PM31	38	160	31.5	31.5	50.4	85.05	cable 7-TIV B
4	SWGR X4-TIV A	GE	Power Vac	34.5	CB-52M	ABB	38PM31	38	160	31.5	31.5	50.4	85.05	T X2-TIV A
5	MCC X1-TIV A	GE	Power Vac	2.4	CB-52N	ABB	5HK250	4.75	1200	30.3	37.5	60	101.3	MCC X1-TIV A
6	SWGR X5-TIV B	GE	Power Vac	34.5	CB-52Q	ABB	38PM31	38	160	31.5	31.5	50.4	85.05	T X3-TIV B
7	MCC X2-TIV B	GE	Power Vac	2.4	CB-52R	ABB	5HK250	4.75	1200	30.3	37.5	50	101.3	MCC X2-TIV B

### 3.3.3 SELECCIÓN DE RELÉS DIGITALES [10] [11]

Con el objeto de optimizar espacio y recursos económicos, se seleccionan los relés digitales **GE Multilin** de modelo **UR** (*Universal Relay*); estos son dispositivos inteligentes que utilizan tecnología de electrónica digital, incorpora una serie de funciones de protección que se seleccionan de acuerdo al tipo de equipo que se quiera proteger. Se caracteriza por que ante una gran magnitud de corriente, el tiempo de operación es muy pequeño y puede ser ajustado de acuerdo a los requerimientos del sistema de protecciones para proporcionar aislamiento inmediato ante cualquier tipo de fallo.

La selección de relés digitales, se realiza considerando los criterios establecidos por las Normas Americanas **IEEE C37.90-2005** y **ANSI/IEEE 142-1991**, que manifiesta que las protecciones más adecuadas, para **Sistemas de Distribución Industrial** en **MV**, son las siguientes:

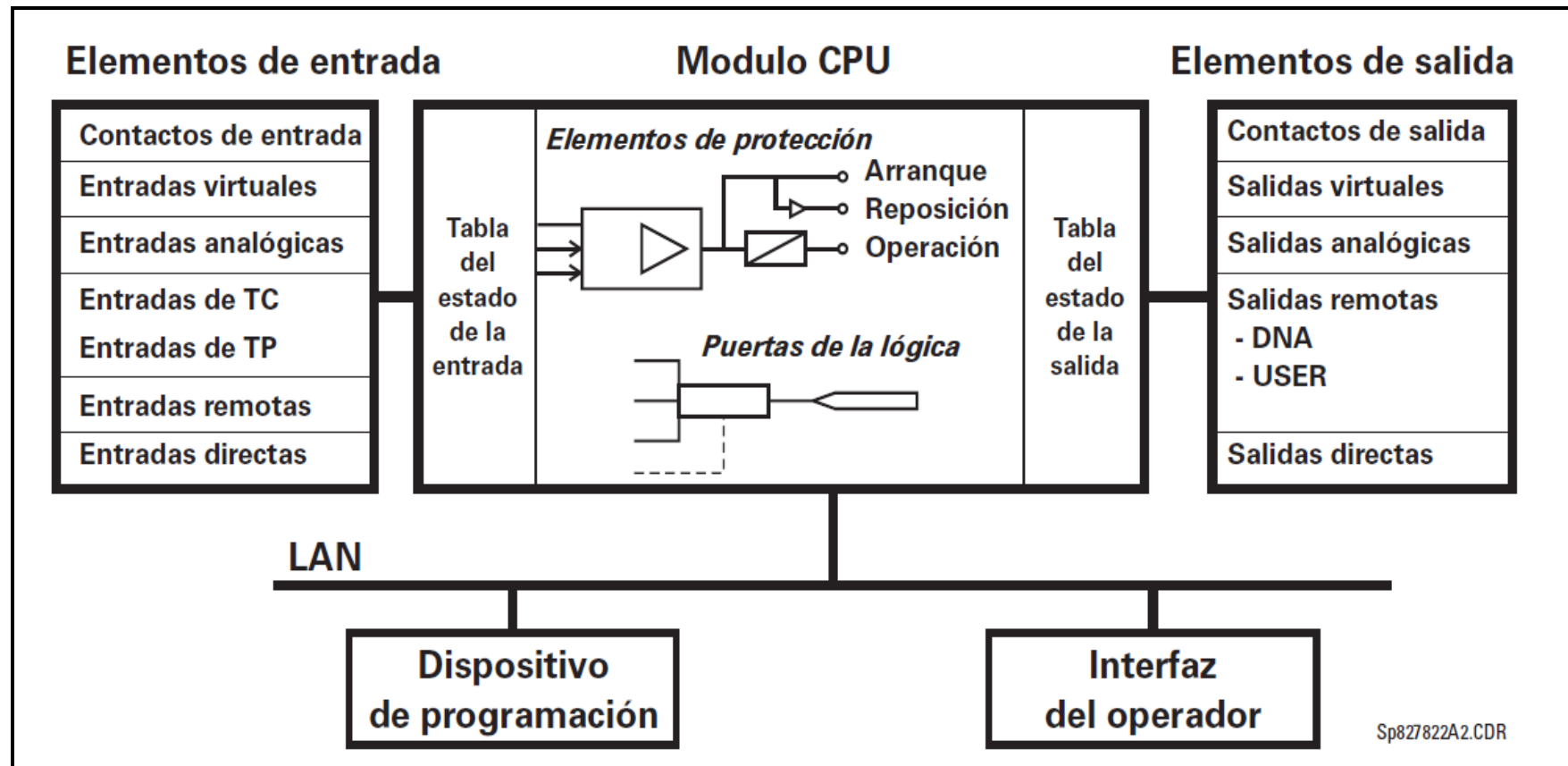
- ✚ *Para Sistemas Eléctricos de Distribución con redes de configuración radial, es aconsejable utilizar **relés de sobrecorriente no direccionales**.*
- ✚ *Para Sistemas Eléctricos de Distribución, con redes de configuración en anillo, es aconsejable utilizar **relés de sobrecorriente direccionales**.*
- ✚ *Para Sistemas Eléctricos de Distribución, formado por conductores **subterráneos** con distancias menores a 8 km, basta con proteger contra fallas entre las fases, no es necesario proteger contra fallas a tierra.*

Los relés digitales **GE Multilin** de modelo **UR**, se programan para detectar e indicar lo siguiente:

- ✓ Las fases afectadas por el fallo.
- ✓ La dirección del fallo vista desde el relé.
- ✓ La zona o distancia en la que ha ocurrido el fallo.
- ✓ Opera de acuerdo al tiempo programado.

Serán instalados dentro de módulos del *equipo de distribución eléctrica* (*switchgears*) correspondiente, como se muestra en la siguiente figura.

FIGURA 3.1 Diagrama de la arquitectura del relé digital "GE Multilin de modelo UR"



## 3.4 DISEÑO DEL NUEVO SISTEMA DE PROTECCIONES

### 3.4.1 COMPONENTES DEL SISTEMA DE PROTECCIONES

El diseño del nuevo Sistema de Protecciones queda determinado por los siguientes dispositivos de protección:

- ✓ Transformadores de Corriente (**TC**),
- ✓ Relés Digitales (**GE Multilin, de modelo UR**),
- ✓ Equipos eléctricos de distribución (**SWITCHGEAR**),
- ✓ Disyuntores de seccionamiento automático (**CB**),
- ✓ Desconectores fusibles y contactores.
- ✓ Centros de Control de Máquinas Rotativas (**MCC**).

### 3.4.2 COMPONENTES DEL SISTEMA ELECTRICO A SER PROTEGIDO

Los elementos componentes del sistema eléctrico propuesto que se protegen contra posibles fallas, son los siguientes:

- ✓ Generador: **G-TIV NPF**.- Ver especificaciones en la Tabla 2.1 del Capítulo 2.
- ✓ Transformadores de Distribución: **TX1-TIV, TX2-TIV A, TX3-TIV B**.- Ver especificaciones en la Tabla 2.2 del Capítulo 2.
- ✓ Líneas de distribución subterránea: **CABLE 3-TIV, CABLE 4-TIV A, CABLE 7-TIV B**.- Ver especificaciones en la Tabla 2.3 del Capítulo 2.
- ✓ Barras de los equipos de distribución eléctrica: **SWGR X3-TIV, MCC X1-TIV A, MCC X2-TIV B**.- Ver especificaciones en la Tabla 3.2 del Capítulo 3.
- ✓ Motores de inducción.- Ver especificaciones en las Tablas 2.12 y 2.13 del Capítulo 2.

### 3.4.3 ZONAS DE PROTECCIÓN [4] [5]

Con la finalidad de facilitar el diseño del nuevo sistema de protecciones, se divide al sistema eléctrico de distribución en zonas o tramos, las cuales se determinan considerando los siguientes criterios:

- ✚ Cada zona de protección se construye considerando uno o dos elementos componentes del sistema eléctrico y un interruptor de protección.
- ✚ Las zonas de protección adyacentes de dos elementos componentes del sistema eléctrico se intersecan alrededor de un interruptor común.
- ✚ Todas las zonas de protección se intersecan en interruptores comunes, de tal forma que no quede sin protección ningún elemento componente del sistema eléctrico.
- ✚ En una zona de protección al producirse un cortocircuito, la protección correspondiente provoca el disparo de todos los interruptores que se encuentre dentro de esa zona.
- ✚ Se determinan las zonas clasificadas como peligrosas. Esto permitirá realizar una correcta selección e implementación del equipo de protección, dependiendo del tipo de zona que se quiera proteger.

En el **ANEXO D.7 - Plano No. 07**, se muestran el diagrama unifilar de las Zonas de Protección del Sistema Eléctrico de Distribución de las Plataformas Tivacuno.

## 5 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO PROPUESTO

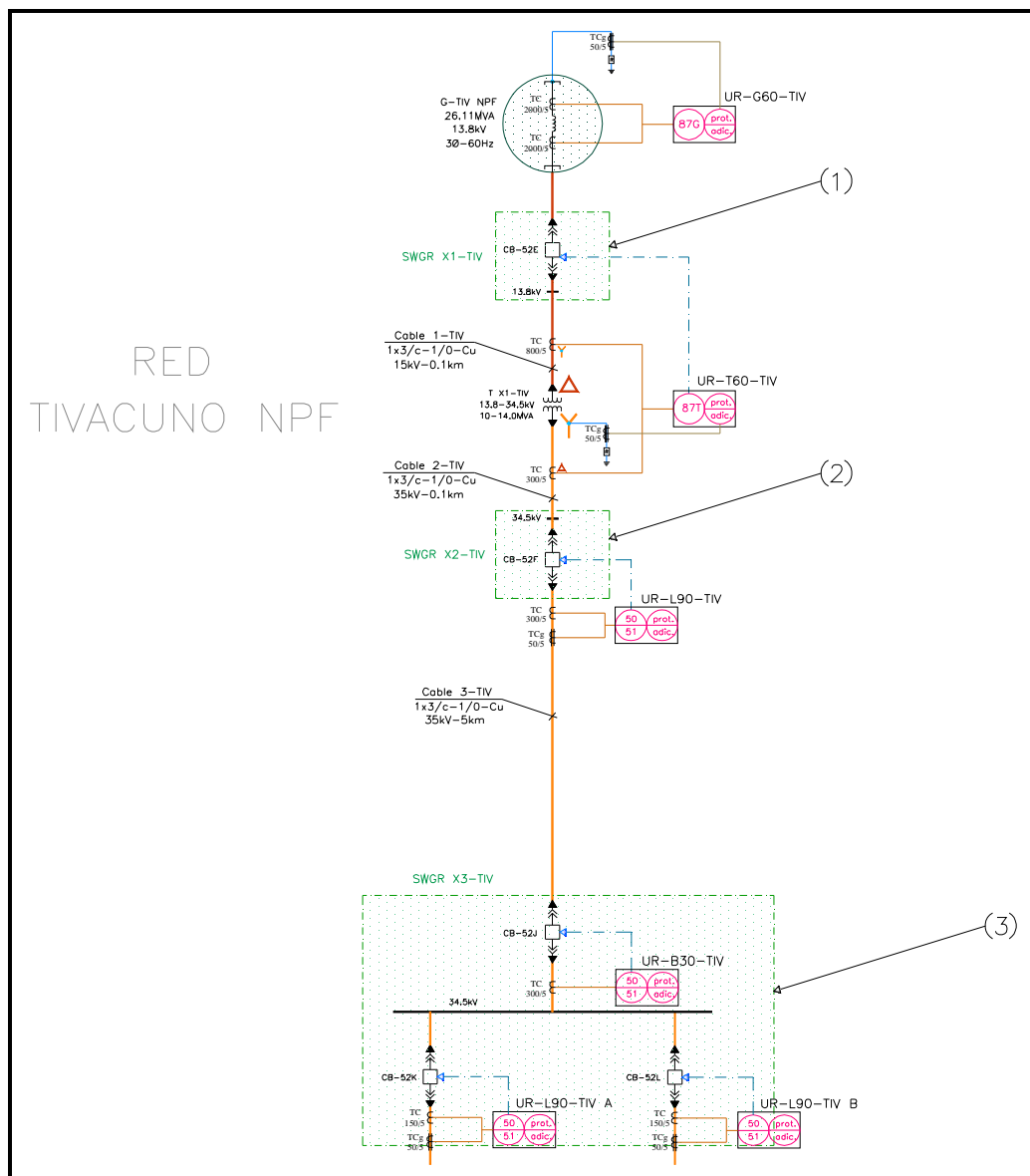
El **Sistema Eléctrico** que se propone, básicamente es el mismo que el sistema existente, con ciertas variantes que no afectan la topología del sistema, ni tampoco sus características de operación, ya que los nuevos equipos a ser implementados mantienen las características nominales de los equipos existentes. Esto indica que los análisis de flujos de carga y cortocircuitos se conservan también y son aplicables para la selección de los nuevos equipos a ser implementados.

A continuación, se presentan las mejoras propuestas para cada una de las redes eléctricas que conforman el sistema eléctrico, éstas son:

### 3.5.1 RED TIVACUNO NPF

- (1) En uno de los módulos del *switchgear* (**SWGR X1-TIV**) existente, se implementarán los relés digitales **Generator Management Relay (UR-G60)** para protección del sistema de generación (**G-TIV NPF**) y el **Transformer Management Relay (UR-T60)** para protección del transformador de distribución (**T X1-TIV**). A si mismo se conserva el **circuit breaker (CB-52E)** de protección automática extraíble, que se encuentra instalado en otro de sus módulos.

**FIGURA 3.2** Diagrama unifilar de la Red Tivacuno NPF, propuesto.



La ampliación de ésta figura observa en el **ANEXO D.3 - Plano No. 03**.

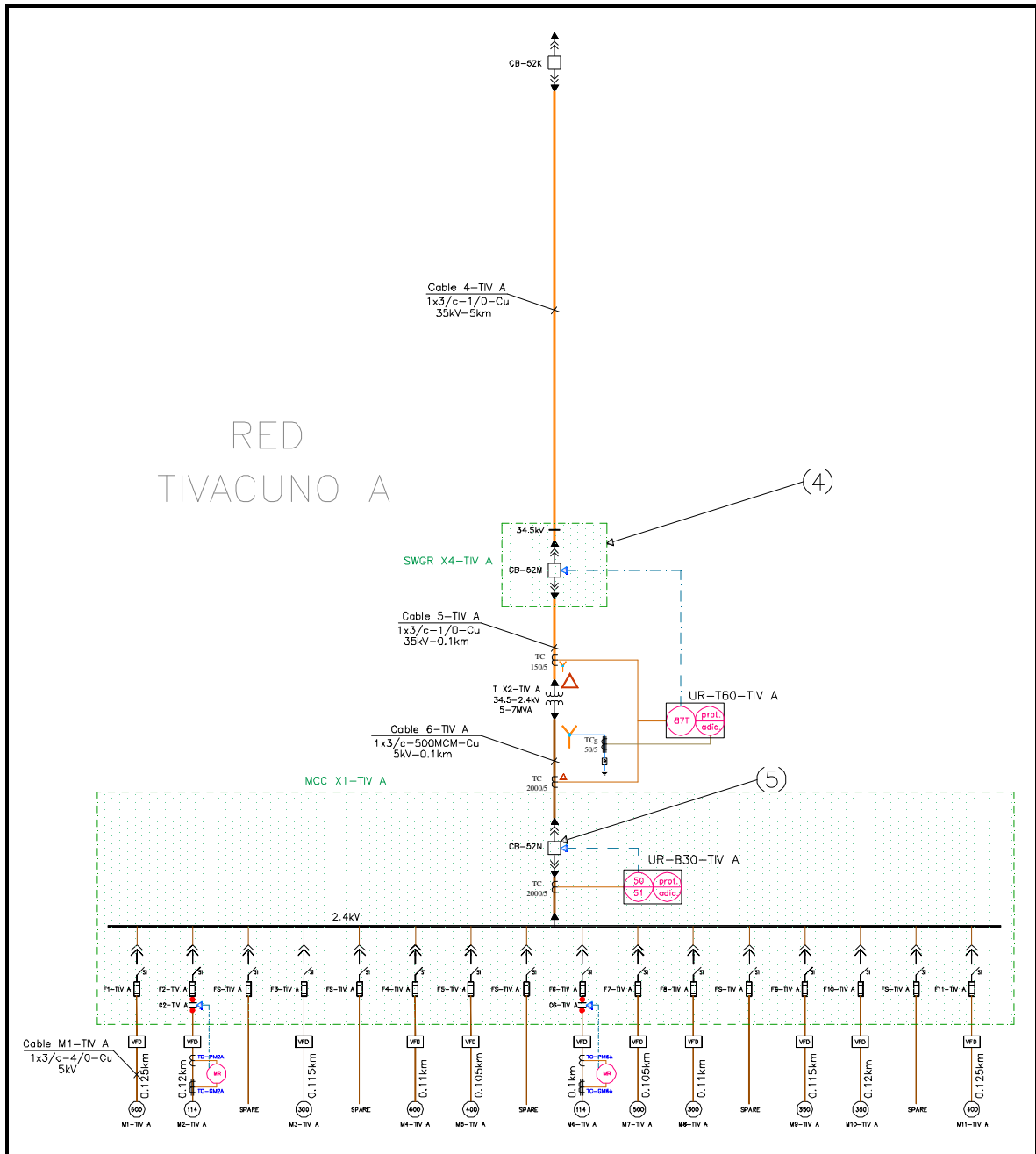


- (2) Se implementará un *switchgear* (**SWGR X2-TIV**) con *circuit breaker* (**CB-52F**) de protección automática extraíble a capacidad nominal de voltaje 34.5kV; 100A continuos; 6kA de corriente de falla y un relé digital (**UR-L90-TIV**) para protección del transformador de distribución (**T X1-TIV**) ubicado a 0.1km del mismo.
  
- (3) El *oil switch* (**OIL SWITCH X1-TIV**) ubicado en la Y de las Plataformas Tivacuno A/B se remplazará por un *switchgear* (**SWGR X3-TIV**), en cuyos módulos se implementaran relés digitales como son: un *Bus Differential Relay* (**UR-B30**) para protección de la barra, un *Line Phase Comparison Relay* (**UR-L90**) para protección de la línea (**Cable 4-TIV A**) y otro *Line Phase Comparison Relay* (**UR-L90**) para protección de la línea (**Cable 7-TIV B**). A sí mismo, se empleará uno de sus módulos para la implementación del *circuit breakers* respectivo como son: (**CB-52J, CB-52K, CB-52L**).

### 3.5.2 RED TIVACUNO A

- (4) Se cambiará el *interruptor de falla en vacio* (**VFI X1-TIV A**) y se implementará un *switchgear* (**SWGR X4-TIV A**) con *circuit breaker* (**CB-52M**) de protección automática extraíble, a capacidad nominal de voltaje 34.5kV; 100A continuos; 6kA de corriente de falla y un relé digital *Transformer Management Relay* (**UR-T60**) para protección del transformador de distribución (**T X2-TIV A**) ubicado a 0.1km del mismo.
  
- (5) Se implementará un *circuit breaker* (**CB-52N**) de protección automática extraíble, a capacidad nominal de voltaje 2.4kV; 1200A continuos; 35kA de corriente de falla y un relé digital *Bus Differential Relay* (**UR-B30-TIV A**) para protección del *centro de control de motores* (**MCC X1-TIV A**).

FIGURA 3.3 Diagrama unifilar de la Red Tivacuno A, propuesto.

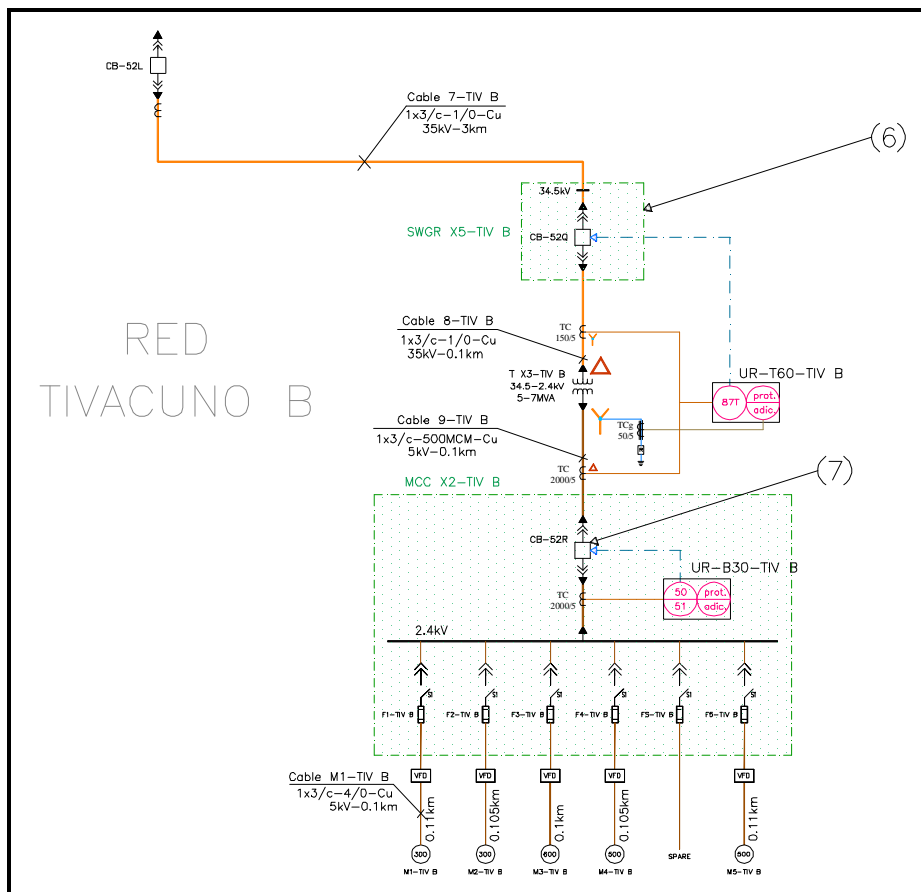


La ampliación de ésta figura se observa en el **ANEXO D.3 - Plano No. 03.**

### 3.5.3 RED TIVACUNO B

Desde el *switchgear* (**SWGR X3-TIV**), se deriva la línea de distribución subterránea (**cable 7-TIV B**) que se dirige hacia el *switchgear* (**SWGR X5-TIV B**), desde aquí se deriva la línea de distribución subterránea (**cable 8-TIV B**) que se dirige hacia el primario del transformador de distribución (**T X3-TIV B**) reductor de voltaje 34.5/2.4kV. Desde el secundario de éste transformador se alimenta a la línea de distribución subterránea (**cable 9-TIV B**) que se dirige hacia el Centro de Control de Motores (**MCC X2-TIV B**) al cual se conectan los once motores trifásicos de inducción.

**FIGURA 3.4** Diagrama unifilar de la Red Tivacuno B, propuesto.



La ampliación de ésta figura observa en el **ANEXO D.3 - Plano No. 03**.

- (6) Se cambia la denominación del *switchgear* (**SWGR X2-TIV B**) existente y se conserva el mismo equipo con otra denominación que es *switchgear* (**SWGR X5-TIV B**) con *circuit breaker* (**CB-52Q**) de protección automática extraíble, a

capacidad nominal de voltaje 34.5kV; 100A continuos; 6kA de corriente de falla y se implementara un relé digital **Transformer Management Relay (UR-T60)** para protección del transformador de distribución (**T X3-TIV B**) ubicado a 0.1km del mismo.

- (7) Se implementará un **circuit breaker (CB-52R)** de protección automática extraíble, a capacidad nominal de voltaje 2.4kV; 1200A continuos; 35kA de corriente de falla y un relé digital **Bus Differential Relay (UR-B30-TIV A)** para protección del *centro de control de motores (MCC X1-TIV B)*.

## 6 ANALIS DEL ARRANQUE DE MOTORES

El presente análisis de **arranque de motores** se realiza sobre el sistema eléctrico de distribución propuesto, mediante el empleo del Software “**ETAP Power Station**” y se simula el arranque de motores, sobre los siguientes casos de estudio:

- ✓ **Primer caso de análisis:** Se realiza el arranque a plena carga de los once motores de inducción ubicados en las Plataformas Tivacuno A.
- ✓ **Segundo caso de análisis:** Se realiza el arranque a plena carga de los cinco motores de inducción ubicados en las Plataformas Tivacuno B.

Durante el arranque de estos motores de inducción, las corrientes que circulan por sus bobinados son superiores a la corriente nominal de los mismos. Esto puede ocasionar la actuación innecesaria de los fusibles de protección y desconectar a estos motores del sistema eléctrico.

Debido a la gran capacidad operativa que tienen estos motores de inducción, se selecciona el tipo de arranque **estrella – triangulo**, el mismo que toma efecto al realizar la conexión de sus bobinados en **estrella** ya que esto permite reducir el voltaje y las corrientes de arranque en sus bobinados. Una vez en movimiento estos motores, las corrientes de arranque disminuyen con lo cual es posible efectuar el cambio de conexión de sus bobinados a **triángulo** para aprovechar toda la potencia del motor y evitar sobrecorrientes que afecten a sus fusibles de protección.

El propósito de éste análisis **de arranque de motores**, es determinar si los motores trifásicos de inducción (tipo jaula de ardilla) inician o puede ser puesto en marcha y cuánto tiempo es necesario para que el motor alcance su velocidad estable. También se determina si ponerlos en marcha no impedirá la operación normal de los otros motores que se encuentran en paralelo.

Para verificar éste cometido, se siguen recomendaciones realizadas por las Normas Americanas **IEEE 141-1993**, **ANSI/NEMA MG1-2003** y **ANSI C84.1-1995**, las cuales manifiestan lo siguiente:

- ✓ La corriente durante la fase de arranque de los motores puede tomar valores que se encuentran dentro del rango:  $2I_n \leq I_{arr} \leq 6I_n$ , que porcentualmente debe estar entre 200% y 600% de la corriente nominal.
- ✓ La máxima caída de voltaje en las barras del sistema eléctrico de distribución debe ser de  $\pm 5\%$  el valor de su voltaje nominal. Es decir debe encontrarse dentro del rango:  $0.95 \leq V_{p.u} \leq 1.05$ .
- ✓ El proceso de arranque finaliza cuando se equilibra el torque del motor con el torque de la carga, estabilizándose la velocidad de giro de cada uno de los motores, junto con la corriente de la línea.

En las siguientes tablas se presenta la información ingresada a la base de datos del software “**ETAP PowerStation**” para realizar la simulación del arranque dinámico de los once y cinco motores que se encuentran conectados a los **MCC X1-TIV A** y **MCC X2-TIV B** respectivamente.

TABLA 3.3 Datos para el arranque de los motores.								
No.	MOTOR DE INDUCCION	HP	TIPO	No. DE FASES	Vn (kV)	In (A)	TIPO DE ARRANQUE	PERIODO DE ARRANQUE (seg.)
<b>Motores trifásicos de inducción de las Plataformas Tivacuno A.</b>								
1	M1-TIV A	600	Jaula de ardilla	3Φ	2.4	125.2	Y / D	0 - 10
2	M2-TIV A	114	Jaula de ardilla	3Φ	2.4	27.2	Y / D	0 - 10
3	M3-TIV A	300	Jaula de ardilla	3Φ	2.4	64.2	Y / D	0 - 10
4	M4-TIV A	600	Jaula de ardilla	3Φ	2.4	125.2	Y / D	0 - 10
5	M5-TIV A	400	Jaula de ardilla	3Φ	2.4	83.7	Y / D	0 - 10
6	M6-TIV A	114	Jaula de ardilla	3Φ	2.4	27.2	Y / D	0 - 10

7	M7-TIV A	500	Jaula de ardilla	3Φ	2.4	104.5	Y / D	0 - 10
8	M8-TIV A	300	Jaula de ardilla	3Φ	2.4	64.2	Y / D	0 - 10
9	M9-TIV A	350	Jaula de ardilla	3Φ	2.4	73.3	Y / D	0 - 10
10	M10-TIV A	350	Jaula de ardilla	3Φ	2.4	73.3	Y / D	0 - 10
11	M11-TIV A	400	Jaula de ardilla	3Φ	2.4	83.7	Y / D	0 - 10
<b>Motores trifásicos de inducción de las Plataformas Tivacuno B.</b>								
1	M1-TIV B	450	Jaula de ardilla	3Φ	2.4	94.1	Y / D	0 - 10
2	M2-TIV B	300	Jaula de ardilla	3Φ	2.4	64.2	Y / D	0 - 10
3	M3-TIV B	600	Jaula de ardilla	3Φ	2.4	125.2	Y / D	0 - 10
4	M4-TIV B	450	Jaula de ardilla	3Φ	2.4	94.1	Y / D	0 - 10
5	M5-TIV B	500	Jaula de ardilla	3Φ	2.4	104.5	Y / D	0 - 10

<b>TABLA 3.4 Variadores electrónicos de frecuencia (VFD)</b>							
No.	EQUIPO	MARCA	TIPO	CAPACIDAD NOMINAL			MOTOR QUE CONTROLA
				HP	Max. kV	EF%	
<b>Variadores electrónicos de frecuencia para las Plataformas Tivacuno A</b>							
1	VFD1-TIV A	SIEMENS	ROBICON PH	600	2.4	93	M1-TIV A
2	VFD2-TIV A	SIEMENS	ROBICON PH	114	2.4	82	M2-TIV A
3	VFD3-TIV A	SIEMENS	ROBICON PH	300	2.4	92	M3-TIV A
4	VFD4-TIV A	SIEMENS	ROBICON PH	600	2.4	93	M4-TIV A
5	VFD5-TIV A	SIEMENS	ROBICON PH	400	2.4	92	M5-TIV A
6	VFD6-TIV A	SIEMENS	ROBICON PH	114	2.4	82	M6-TIV A
7	VFD7-TIV A	SIEMENS	ROBICON PH	500	2.4	91	M7-TIV A
8	VFD8-TIV A	SIEMENS	ROBICON PH	300	2.4	92	M8-TIV A
9	VFD9-TIV A	SIEMENS	ROBICON PH	350	2.4	92	M9-TIV A
10	VFD10-TIV A	SIEMENS	ROBICON PH	350	2.4	92	M10-TIV A
11	VFD11-TIV A	SIEMENS	ROBICON PH	400	2.4	92	M11-TIV A
<b>Variadores electrónicos de frecuencia para las Plataformas Tivacuno B</b>							
1	VFD1-TIV B	SIEMENS	ROBICON PH	450	2.4	93	M1-TIV B
2	VFD2-TIV B	SIEMENS	ROBICON PH	300	2.4	92	M2-TIV B
3	VFD3-TIV B	SIEMENS	ROBICON PH	600	2.4	93	M3-TIV B
4	VFD4-TIV B	SIEMENS	ROBICON PH	450	2.4	93	M4-TIV B
5	VFD5-TIV B	SIEMENS	ROBICON PH	500	2.4	91	M5-TIV B

Los resultados obtenidos del presente análisis se presentan a continuación en las siguientes tablas:

## 3.6.1.1 ARRANQUE DE LOS MOTORES DE LA PLATAFORMA TIVACUNO A

TABLA 3.5 Aceleración del motor: M1-TIV A							In (A) = 125.2	
Tiempo (Seg.)	Deslizam. (%)	% Corriente a plena carga (A)	Corriente de Arranque (A)	% Voltaje Terminal		% Voltaje Barra MCC	Torque a plena carga (%)	
				Carga (kV)	Barra (kV)		Motor	Nominal
0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	115.7	0.0	0.0
1.1	100.0	182.5	228.5	54.7	54.7	94.8	31.7	0.0
1.2	80.7	378.4	473.8	72.9	72.9	72.9	49.1	3.7
1.3	53.1	348.5	436.3	77.0	77.0	77.0	50.3	21.9
1.4	35.9	321.4	402.4	77.1	77.1	77.1	53.5	41.1
1.5	28.3	299.2	374.6	74.5	74.5	74.6	54.2	51.4
1.6	26.6	300.3	375.9	75.5	75.5	75.5	57.0	53.8
1.7	24.7	299.4	374.8	76.1	76.1	76.1	59.7	56.7
1.8	22.9	297.6	372.6	76.5	76.5	76.5	62.3	59.5
1.9	21.1	295.5	370.0	76.8	76.8	76.8	65.2	62.2
2.0	19.3	292.9	366.7	77.0	77.0	77.1	68.5	65.1
2.1	17.3	289.4	362.3	77.3	77.3	77.4	72.9	68.4
10.0	20.8	285.6	357.6	81.7	81.7	81.7	100.7	78.8
TABLA 3.6 Aceleración del motor: M2-TIV A							In (A) = 64.2	
Tiempo (Seg.)	Deslizam. (%)	% Corriente a plena carga (A)	Corriente de Arranque (A)	% Voltaje Terminal		% Voltaje Barra MCC	Torque a plena carga (%)	
				Carga	Barra		Motor	Nominal
0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	115.7	0.0	0.0
1.1	100.0	194.0	124.5	54.7	54.7	94.8	31.3	0.0
1.2	78.6	394.1	253.0	72.9	72.9	72.9	47.5	4.6
1.3	49.2	356.6	228.9	77.0	77.0	77.0	49.5	25.8
1.4	33.0	328.7	211.0	77.1	77.1	77.1	54.3	45.0
1.5	26.6	307.1	197.1	74.6	74.6	74.6	55.2	53.9
1.6	25.7	309.5	198.7	75.5	75.5	75.5	57.4	55.2
1.7	24.2	309.1	198.4	76.1	76.1	76.1	59.9	57.4
1.8	22.5	307.4	197.3	76.5	76.5	76.5	62.5	60.0
1.9	20.8	305.1	195.9	76.8	76.8	76.8	65.4	62.7
2.0	19.0	302.0	193.9	77.1	77.1	77.1	69.0	65.7
2.1	16.7	297.5	191.0	77.3	77.3	77.4	74.3	69.4
10.0	13.3	267.1	171.5	81.7	81.7	81.7	121.5	85.8

### 3.6.1.2 ARRANQUE DE LOS MOTORES DE LA PLATAFORMA TIVACUNO B

TABLA 3.7 Aceleración del motor: M2-TIV B							In (A) = 64.2	
Tiempo (Seg.)	Deslizamt. (%)	% Corriente a plena carga	Corriente de Arranque (A)	% Voltaje Terminal		% Voltaje Barra MCC	Torque a plena carga (%)	
				Carga	Barra		Motor	Nominal
0.0	100.00	0.00	0.0	0.00	0.00	114.87	0.00	0.00
1.1	100.00	211.93	136.1	57.61	57.61	99.80	33.48	0.00
1.2	76.61	436.31	280.1	80.49	80.49	80.50	53.48	5.47
1.3	43.08	377.20	242.2	84.75	84.75	84.76	55.70	32.40
1.4	26.80	353.06	226.7	86.93	86.93	86.94	68.15	53.58
1.5	16.62	336.76	216.2	88.96	88.96	88.97	90.65	69.52
10.0	16.62	143.33	92.0	91.24	91.24	91.25	123.60	96.31

TABLA 3.8 Aceleración del motor: M3-TIV B							In (A) = 125.2	
Tiempo (Seg.)	Deslizamt. (%)	% Corriente a plena carga	Corriente de Arranque (A)	% Voltaje Terminal		% Voltaje Barra MCC	Torque a plena carga (%)	
				Carga	Barra		Motor	Nominal
0.0	100.00	0.00	0.0	0.00	0.00	114.87	0.00	0.00
1.1	100.00	207.99	260.4	57.60	57.60	99.80	34.22	0.00
1.2	78.27	439.17	549.8	80.47	80.47	80.50	56.50	4.72
1.3	45.38	386.19	483.5	84.74	84.74	84.76	58.88	29.83
1.4	26.93	358.67	449.1	86.92	86.92	86.94	72.62	53.39
1.5	26.93	335.19	419.7	88.95	88.95	88.97	102.63	72.73
10.0	26.93	343.74	430.4	91.23	91.23	91.25	107.94	72.73

Se observa que el voltaje que se presenta en la barra del MCC X1-TIV A al momento del arranque de los motores M1-TIV A y M2-TIV A es de: 94.8% del voltaje nominal (2.4kV) que en por unidad es de **0.94p.u.** Lo cual no es ideal ya que no se encuentra dentro del rango  $0.95 < V_{p.u} < 1.05$ , recomendado por la Norma Americana **IEEE 141-1993**.

Se observa que el voltaje que se presenta en la barra del MCC X2-TIV B al momento del arranque de los motores M2-TIV B y M3-TIV B es de: 99.8% del voltaje nominal (2.4kV) que en por unidad es de **0.99p.u.** Lo cual es ideal ya que se encuentra dentro del rango  $0.95 < V_{p.u} < 1.05$ , recomendado por la Norma Americana **IEEE 141-1993**.



Se observa que la corriente máxima que se presenta durante el periodo de arranque de los motores *M1-TIV A* y *M2-TIV A* son: 473.8A y 253.0A respectivamente. Lo cual es ideal ya que se encuentra dentro del rango  $2 I_n < I_{arr} < 6 I_n$ , recomendado por las Normas Americanas **ANSI C84.1-1995** y **ANSI/NEMA MG1-2003**.

Se observa que la corriente máxima que se presenta durante el periodo de arranque de los motores *M2-TIV B* y *M3-TIV B* son: 280.1A y 549.8A respectivamente. Lo cual es ideal ya que se encuentra dentro del rango  $2 I_n < I_{arr} < 6 I_n$ , recomendado por las Normas Americanas **ANSI C84.1-1995** y **ANSI/NEMA MG1-2003**.

Para mejorar la confiabilidad en el arranque de estos motores y evitar caídas de voltaje en las barras a las cuales se conectan, se hace necesario realizar la implementación de *variadores electrónicos de frecuencia (VFD)*, los cuales permiten controlar el arranque, la velocidad y la frecuencia de estos motores. Estos serán implementados a la entrada de cada uno de los motores, de ésta forma se establecerá el número de bombas que tienen que estar en funcionamiento en cada momento y situación del sistema.

En el **ANEXO C.1**, se presentan las curvas de arranque correspondientes a estos motores. En los **ANEXOS C.2 y C.3**, se presenta el reporte de datos para los otros motores.

## CAPITULO 4

### ESTUDIO DE COORDINACION DE PROTECCIONES ELECTRICAS PARA LAS PLATAFORMAS TIVACUNO EMPLEANDO RELÉS DIGITALES “GE MULTILIN”

#### 4.1 INTRODUCCION

El Sistema de Protecciones constituye un elemento clave en el funcionamiento del Sistema Eléctrico de Distribución de las Plataformas Tivacuno, ya que de su correcto funcionamiento depende la producción continua de crudo (petróleo), para toda la Industria de Petrolera del Bloque 16.

Una vez obtenidas las magnitudes de las corrientes de falla y habiendo diseñado el nuevo **Sistema de Protecciones**, sus dispositivos de protección, como son: equipos eléctricos de distribución (switchgears), dispositivos de seccionamiento automático (circuit breakers) y relés digitales (GE Multilin, de modelo UR), son calibrados y coordinados por zonas, de acuerdo a las características operativas de los equipos a proteger en el sistema eléctrico.

Éste procedimiento permitirá a estos dispositivos de protección, actuar ante condiciones de falla de forma *selectiva* y brindar la *confiabilidad* necesaria en la operación de los equipos, máquinas y Sistemas.

Además se mejora la seguridad para el personal técnico, que es elemento más importante que se encuentra en las Plataformas Tivacuno.

De la correcta calibración y coordinación de estos dispositivos, depende la optimización de recursos económicos tanto en los mantenimientos como en la adquisición de nuevos equipos.

## 4.2 ANTECEDENTES

- ✚ El estudio de coordinación de los nuevos dispositivos de protección se realiza sobre el diseño del nuevo sistema de protecciones para las Plataforma Tivacuno A/B, para lo cual se emplea el *Software Electrical Transient Analyzer Program "ETAP Power Station"*.
- ✚ La calibración y coordinación se realiza en los nuevos *relés digitales (GE Multilin de modelo UR)*, en base al análisis de flujos de carga y cortocircuitos realizados anteriormente en el Capítulo 2, dependiendo de la zona y equipos que se quieren proteger.
- ✚ Se determinan los ajustes (settings) y el tipo de curvas Tiempo-Corriente (TCC's) de los relés de protección a ser implementados. Ésta información permitirá proveer coordinación entre estos dispositivos de protección y eliminar en forma rápida y selectiva las fallas que podrían presentarse en el sistema eléctrico, permitiendo así disminuir pérdidas y optimizar recursos económicos.
- ✚ Como resultado del Estudio de Coordinación de Protecciones Eléctricas, objeto de éste proyecto de titulación, se presentarán las curvas de coordinación *Tiempo-Corriente (TCC's)* obtenidas de la simulación realizada en el *"ETAP Power Station"*.

## 4.3 BASES TEORICAS DE ESTUDIO [4], [5]

El funcionamiento de los dispositivos de protección debe ser **óptimo** al momento de presentarse cualquier tipo de falla en el sistema, para lo cual deben cumplir con ciertas propiedades que se relacionan entre sí, éstas son las siguientes:

- a). **Selectividad:** Es la cualidad de los dispositivos de protección que les permite discriminar la ubicación de la falla dentro de cada zona de protección, con el objeto de aislar exclusivamente el equipo fallado, manteniendo en servicio al resto del **sistema**.

- b). **Velocidad:** Es la cualidad de los dispositivos de protección que les permite aislar las fallas, que se presenten en determinada zona de protección, en el menor tiempo posible (instantáneo),
- c). **Confiabilidad:** Es la cualidad de los dispositivos de protección que expresa operación correcta y continua, ante situaciones en las cuales ésta diseñado para operar.
- d). **Seguridad:** Es la cualidad de los dispositivos de protección que expresa el grado de certeza y confiabilidad de que estos dispositivos operen correctamente, sin errores.
- e). **Sensibilidad:** Es la cualidad de los dispositivos de protección que permite operar detectando la falla de mínimo nivel que ocurra dentro de su zona de operación o la menor variación de la magnitud que controla respecto de la magnitud de referencia o ajuste.
- f). **Estabilidad:** Es la cualidad de los dispositivos de protección para mostrarse insensibles a las condiciones normales de carga y para las condiciones de fallas externas de las zonas previamente definidas.
- g). **Exactitud:** Es la cualidad de los dispositivos de protección que permite operar con el mínimo error, respecto a la magnitud teórica de ajuste.

#### **4.4 MEMORIA TÉCNICA DE LOS NUEVOS RELÉS DIGITALES [22]**

Ésta memoria técnica facilita al operador de protecciones, realizar el control periódico del correcto o mal funcionamiento de los relés digitales **GE Multilin de modelo UR**, se indican sus características, ubicación y las funciones de protección que incorpora cada uno de estos relés para proteger a los *elementos componentes* del sistema eléctrico.

Lo expuesto se detalla a continuación en las tablas 4.1 a 4.7.

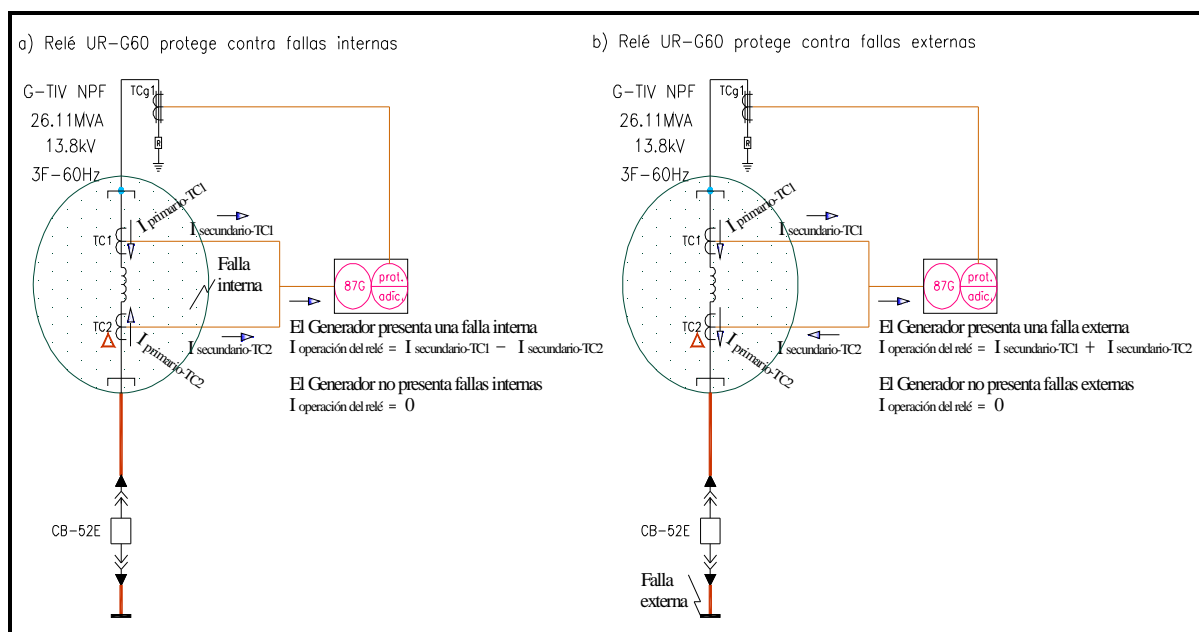
#### 4.4.1 PROTECCION DEL GENERADOR

El generador de energía eléctrica como es: **G-TIV NPF** y su máquina motriz son los elementos más caros del sistema eléctrico, por lo que se protegen mediante el relé digital **UR-G60** el mismo que dispone de una serie de funciones de protección que se habilitan para proteger óptimamente a este generador.

La función (24) protege al generador contra una disminución de voltaje debido al incremento de la carga inductiva en el estator y opera cuando la sobrecitación excede la relación Voltaje/frecuencia que es un valor pre ajustado. La función diferencial (40) protege al generador contra la falta de excitación o la presencia de una gran carga capacitiva y opera por fallo de la intensidad de campo de la máquina, o por una excedente reactiva de la corriente de armadura del generador.

La función diferencial (87G) protege al generador contra fallas internas tales como: fallas en los devanados del estator, en los devanados del rotor. Esta función también protege al generador contra fallas externas, pero no se coordina con otros relés que conforman el sistema de protecciones.

**FIGURA 4.1** Protección diferencial para el generador de energía.



Otras funciones de protección del relé UR-G60 se observa en la Tabla 4.1.

**TABLA 4.1** Relé UR-G60 Generator Management Relay**INFORMACION DEL EQUIPO PROTEGIDO**NOMBRE: *Centro de Generación (G-TIV NPF)***INFORMACION DEL RELÉ**MARCA: *General Electric GE-Multilin*TIPO: *Digital*CANTIDAD: *Un relé para el centro de generación (TOTAL 1)*UBICACIÓN: *A la salida del Centro de Generación.*

<b>FUNCIONES DEL RELÉ</b>	<b>NUMERACION ANSI/IEEE</b>
Relé de sobreexcitación.	24
Relé de mínimo voltaje, auxiliar.	27
Relé direccional de potencia.	32
Relé de campo.	40
Relé de intensidad para equilibrio o inversión de fases.	46
Relé de sobrecorriente.	50/51
Relé de fallas a tierra	50N/51N
Relé de sobrevoltaje, auxiliar.	59
Relé direccional de sobrecorriente de c.a.	67
Relé de bloqueo.	68
Relé de protección de ángulo de fase o salida de paralelo.	78
Relé de frecuencia.	81
Relé diferencial.	87G

La descripción de estas funciones se pueden observar en el Anexo B.

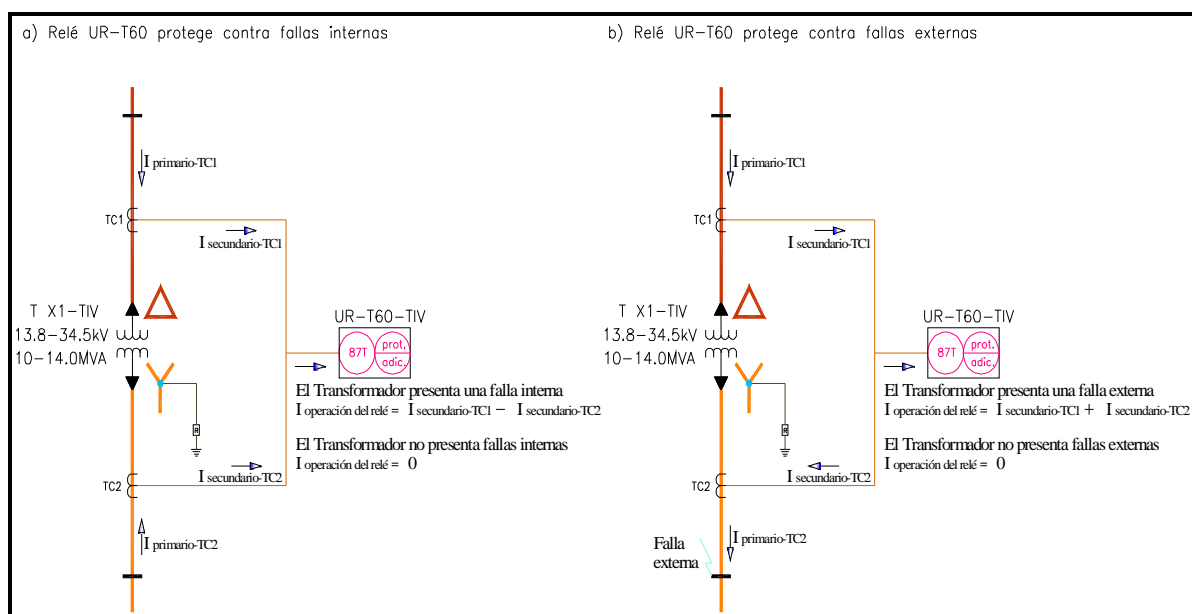
#### 4.4.2 PROTECCION DE TRANSFORMADORES

Los transformadores de distribución como son: **TX1-TIV**, **TX2-TIV A** y **TX3-TIV B**, se protegen mediante el relé digital **UR-T60** el mismo que dispone de una serie de funciones de protección que se habilitan para proteger óptimamente a estos transformadores.

Así, la función (63T) protege al transformador contra la presión de gases producidos por la evaporización del aceite al sobrecalentarse al interior del tanque. Esta función no se coordina con otros relés que conforman el sistema de protecciones, ya que es una protección de tipo mecánica.

La función diferencial (87T) protege al transformador contra fallas internas tales como: falla a tierra de los enrollados, falla entre espirás y falla en lo terminales. Se ajusta para que no opere al detectar la corriente inicial de magnetización (inrush) y ante una saturación de los transformadores. Esta función diferencial restringe la presencia de armónicas y protege al transformador contra fallas externas, pero no se coordina con otros relés que conforman el sistema de protecciones.

**FIGURA 4.2** Protección diferencial para los transformadores de distribución.



La función (50/51) protege al transformador contra sobrecargas y fallas externas. Se ajustan de acuerdo a los análisis de flujos de carga y cortocircuitos y se coordina con otros relés que conforman el sistema de protecciones.

Otras funciones de protección del relé UR-T60 se observa en la Tabla 4.2.

**TABLA 4.2** Relé UR- T60 Transformer Management Relay

**INFORMACION DE LOS EQUIPOS PROTEGIDOS**

NOMBRE: *Transformador de Distribución (T X1-TIV, T X2-TIV A y T X3-TIV B)*



**INFORMACION DEL RELÉ DE PROTECCIÓN**

MARCA: *General Electric GE-Multilin*

MODELO: *Universal Relay (UR)*

TIPO: *Digital*

CANTIDAD: *Un relé para cada transformador (TOTAL 6)*

UBICACIÓN: *Entre las entradas y salidas de cada Transformador.*

<b>FUNCIONES DEL RELÉ</b>	<b>NUMERACION ANSI/IEEE</b>
Relé de sobreexcitación.	24
Relé de mínimo voltaje, auxiliar.	27
Relé de intensidad para equilibrio o inversión de fases.	46
Relé térmico.	49
Relé de sobrecorriente.	50/51
Relé de fallas a tierra.	50N/51N
Relé de sobrevoltaje, auxiliar.	59
Relé detector de gases (relé buchholz).	63T
Relé de frecuencia.	81
Relé diferencial.	87T



La descripción de estas funciones se pueden observar en el Anexo B.

#### 4.4.3 PROTECCION DE LAS LINEAS

**TABLA 4.3** Relé UR- L90 Line Phase Comparison Relay

**INFORMACION DEL EQUIPO PROTEGIDO**

NOMBRE: *Línea de Distribución Subterránea (Cable 3-TIV A, Cable 4-TIV A y Cable 7-TIV B)*



**INFORMACION DEL RELÉ DE PROTECCIÓN**

MARCA: *General Electric GE-Multilin*

MODELO: *Universal Relay (UR)*

TIPO: *Digital*

CANTIDAD: *Un relé para cada línea (TOTAL 3)*

UBICACIÓN: *A la salida de los switchgears desde donde parten las líneas protegidas.*

<b>FUNCIONES DEL RELÉ</b>	<b>NUMERACION ANSI/IEEE</b>
Relé de sincronización o puesta en paralelo	25
Relé de mínimo voltaje, auxiliar.	27
Relé de sobrecorriente	50/51
Relé de fallas a tierra	50N/51N
Relé de sobrevoltaje, auxiliar.	59
Relé de bloqueo.	68
Relé de reenganche de c.a.	79

La descripción de estas funciones se pueden observar en el Anexo B.

#### **4.4.4 PROTECCION DE LAS BARRAS**

**TABLA 4.4** Relé UR-B30 Bus Differential System**INFORMACION DEL EQUIPO PROTEGIDO**

NOMBRE: *Barra del Switchgear (SWGR X1-TIV)*

NOMBRE: *Barra del Centro de Control de Motores (MCC X1-TIV A y MCC X2-TIV B)*

**INFORMACION DEL RELÉ DE PROTECCIÓN**

MARCA: *General Electric GE-Multilin*

MODELO: *Universal Relay (UR)*

TIPO: *Digital*

CANTIDAD: *Un relé para cada barra del equipo (TOTAL 3)*

UBICACIÓN: *A la entrada de cada equipo protegido.*

<b>FUNCIONES DEL RELÉ</b>	<b>NUMERACION ANSI/IEEE</b>
Relé de mínimo voltaje, auxiliar.	27
Relé de sobrecorriente	50/51
Relé de fallas a tierra	50N/51N
Relé de sobrevoltaje, auxiliar.	59
Relé diferencial.	87B

descripción de estas funciones se pueden observar en el Anexo B.

La

#### 4.4.5 PROTECCION DE LOS MOTORES DE INDUCCION

Actualmente los motores trifásicos de inducción de las Plataformas Tivacuno A/B respectivamente, se encuentran protegidos con fusibles termomagnéticos de marca SIBA y contactores de maraca ABB con capacidades para medio voltaje a nivel industrial.

Estos dispositivos se encuentran protegiendo adecuadamente a estos motores y remplazarlos por otro tipo de protecciones resultaría una inversión económica innecesaria, por lo que se decide mantenerlos en el nuevo sistema de protecciones.

**TABLA 4.5** Fusibles termomagnéticos extraíbles - Tivacuno A.



No.	CODIGO DE UBICACIÓN	MARCA	MODELO	CAPACIDAD NOMINAL			PROTEGE AL MOTOR DE INDUCCION
				Max. kV	In (A)	Capacidad de disparo (kA)	
1	F1-TIV A	SIBA	HHM	3.6	160	50	M1- TIV A
2	F2-TIV A	SIBA	HHM	3.6	160	50	M2-TIV A
3	F3-TIV A	SIBA	HHM	3.6	125	50	M3-TIV A
4	F4-TIV A	SIBA	HHM	3.6	160	50	M4-TIV A
5	F5-TIV A	SIBA	HHM	3.6	125	50	M5-TIV A
6	F6-TIV A	SIBA	HHM	3.6	160	50	M6-TIV A
7	F7-TIV A	SIBA	HHM	3.6	160	50	M7-TIV A
8	F8-TIV A	SIBA	HHM	3.6	125	50	M8-TIV A
9	F9-TIV A	SIBA	HHM	3.6	125	50	M9-TIV A
10	F10-TIV A	SIBA	HHM	3.6	125	50	M10-TIV A
11	F11-TIV A	SIBA	HHM	3.6	125	50	M11-TIV A

**TABLA 4.6** Relé UR- M60 Motor Management Relay**INFORMACION DEL EQUIPO PROTEGIDO**

NOMBRE: Motores M2-TIV A y M6-TIV A, conectados a los Centros de Control de Motores (MCC X1-TIV A y MCC X2-TIV B).

**INFORMACION DEL RELÉ DE PROTECCIÓN**

MARCA: General Electric GE-Multilin; modelo Universal Relay (UR); tipo digital

CANTIDAD: Un relé para cada motor (TOTAL 2)

UBICACIÓN: A la entrada de cada uno de los motores.

FUNCIONES DEL RELÉ	NUMERACION ANSI/IEEE
Relé de mínimo voltaje, auxiliar.	27
Relé de intensidad para equilibrio o inversión de fases	46
Relé de voltaje para secuencia de fases	47
Relé térmico	49
Relé de sobrecorriente	50/51
Relé de fallas a tierra	50N/51N
Relé de sobrevoltaje, auxiliar.	59
Relé de sobrevoltaje, auxiliar.	59

**TABLA 4.7** Fusibles termomagnéticos extraíbles - Tivacuno B.

No.	CODIGO DE UBICACIÓN	MARCA	MODELO	CAPACIDAD NOMINAL			PROTEGE AL MOTOR DE INDUCCION
				Max. kV	In (A)	Capacidad de disparo (kA)	
1	F1-TIV B	SIBA	HHM	3.6	125	50	M1-TIV B
2	F2-TIV B	SIBA	HHM	3.6	100	50	M2-TIV B
3	F3-TIV B	SIBA	HHM	3.6	160	50	M3-TIV B
4	F4-TIV B	SIBA	HHM	3.6	125	50	M4-TIV B
5	F5-TIV B	SIBA	HHM	3.6	125	50	M5-TIV B

## 4.5 ANALISIS DE AJUSTE Y COORDINACION DE LAS PROTECCIONES ELECTRICAS [1] [5]

El presente análisis de **ajuste y coordinación de los dispositivos de protección**, se realizan sobre el sistema eléctrico de distribución propuesto, mediante el empleo del Software “**ETAP Power Station**” y se simulan fallas trifásicas sobre la barra del equipo más alejado, dentro de las siguientes zonas de protección:

- ✓ **Zona de Protecciones de la Red Tivacuno NPF:** falla SWGR X3– TIV.
- ✓ **Zona de Protecciones de la Red Tivacuno A:** falla MCC X1 – TIV A.
- ✓ **Zona de Protecciones de la Red Tivacuno B:** falla MCC X2 – TIV B.

El propósito de éste análisis, es determinar si los nuevos relés de protección digital (GE Multilin, de modelo UR), actúan selectivamente ante la presencia de fallas en las barras de los equipos mencionados anteriormente.

Para verificar éste cometido, se establecen procedimientos apoyados en recomendaciones realizadas por las Normas Americanas **IEEE Std C242-2001** y **IEEE C37.90-2005**.

### 4.5.1 PROCEDIMIENTO PARA AJUSTAR LOS RELÉS DE PROTECCIÓN

Los ajustes de los relés digitales (GE Multilin, de modelo UR), empiezan desde las barras de los **MCC X1-TIV A** y **MCC X2-TIV B** de los motores, que son las barras más alejadas y se va avanzando hacia el centro de generación **G-TIV NPF**, que se encuentra aguas arriba. Esto debido a que las corrientes de falla van aumentando conforme se acercan a la fuente de generación.

#### Ajuste de la función (51) de sobrecorriente

- a. Se determina la corriente que circula por el primario del Transformador de Corriente; para lo cual se emplean los datos obtenidos del análisis de flujos carga que se encuentran en la Tablas 2.14 a 2.16 del Capítulo 2. Ésta

corriente debe encontrarse dentro del rango  $1.2 I_{flujo} \leq I_{prim} \leq 1.5 I_{flujo}$ , establecido por la Norma Americana **IEEE C37.90-2005**.

- b. Se seleccionan las Curvas Tiempo-Corriente (TCC's) para los relés de sobrecorriente en función del equipo al que se quiere proteger. Así para el caso, se selecciona la curva: *Extremadamente inverso – IAC*.
- c. Se determina el **tap** (*mínimo valor de Pickup*) para los relés digitales **GE** de modelo **UR**, el mismo que debe encontrarse dentro del rango  $0.01 \leq Pickup \leq 30$ , establecido desde fábrica para los relés digitales **GE Multilin** de modelo **UR**. Éste valor *Pickup* irá ajustándose hasta observar que el relé puede leer tanto la corriente por el primario como la corriente por el secundario del TC.
- d. El valor **Time Dial** para los relés digitales **GE** de modelo **UR**, es variable e irá tomando valores aleatoriamente dentro del margen de coordinación entre las curvas (TCC's) con valores de tiempo entre  $0.2 \text{ seg} \leq t \leq 0.5 \text{ seg}$ . De éste intervalo se escoge el valor mínimo de tiempo para el caso en que la falla se produzca en la barra más alejada al centro de generación.

#### **Ajuste de la función (50) instantánea.**

- e. Se determina la corriente de cortocircuito que circula por el primario del Transformador de Corriente; para lo cual se emplean los datos obtenidos del análisis de cortocircuitos que se encuentran en la Tabla 2.17 del Capítulo 2. Ésta corriente debe encontrarse dentro del rango  $1.2 I_{flujo} \leq I_{prim} \leq 1.5 I_{flujo}$ , establecido por la Norma Americana **IEEE C37.90-2005**.
- f. Se determina el **tap** (*mínimo valor de Pickup*) para los relés digitales **GE** de modelo **UR**, el mismo que debe encontrarse dentro del rango  $0.01 \leq Pickup \leq 30$ , establecido desde fábrica. Éste valor *Pickup* debe irse ajustando hasta observar que el relé puede leer tanto la corriente de cortocircuito por el primario como la corriente de cortocircuito por el secundario del TC.
- g. Se establece un valor de tiempo de retraso (**Delay**) de 0.01s para que actúe la función instantánea del relé.

**TABLA 4.8** Información que se ingresa a los relés de sobrecorriente

RELÉ DIGITAL	TC	EQUIPO QUE PROTEGE	kV nominal	I flujo (A)	TEMPORIZADO				I cc calculado (kA)	INSTANTANEO			
					I prim (A) = 1.3 x I flujo	I Relay (A)	I Pickup (A)	Time Dial		I prim (A) = 1.2 x I cc	I Relay (A)	I Pickup (A)	Delay (seg)
<b>RED TIVACUNO NPF</b>													
UR-G60-TIV	2000 / 5	G-TIV NPF	13.8	262.0	340.6	0.85	0.170	33.52	9.1	10920	27.3	5.46	0.01
UR-T60-TIV (prim)	800 / 5	T X1-TIV	13.8	262.0	340.6	2.13	0.426	28.39	9.1	10920	68.3	13.65	0.01
UR-T60-TIV (secu)	300 / 5	T X1-TIV	34.5	102.2	132.9	2.21	0.443	24.35	2.7	3240	54.0	10.80	0.01
UR-L90-TIV	300 / 5	Cable 3-TIV	34.5	102.2	132.9	2.21	0.443	20.26	2.6	3120	52.0	10.40	0.01
UR-B30-TIV	300 / 5	SWGR X3-TIV	34.5	102.2	132.9	2.21	0.443	15.85	2.6	3120	52.0	10.40	0.01
<b>RED TIVACUNO A</b>													
UR-L90-TIV A	150 / 5	Cable 4-TIV A	34.5	65.6	85.3	2.84	0.569	15.57	2.5	3000	100.0	20.00	0.01
UR-T60-TIV A (prim)	150 / 5	T X2-TIV A	34.5	65.6	85.3	2.84	0.569	9.43	2.5	3000	100.0	20.00	0.01
UR-T60-TIV A (secu)	2000 / 5	T X2-TIV A	2.4	920.0	1196.0	2.99	0.598	5.31	21.4	25680	64.2	12.84	0.01
UR-B30-TIV A	2000 / 5	MCC X1-TIV A	2.4	920.0	1196.0	2.99	0.598	1.00	20.3	24360	60.9	12.18	0.01
<b>RED TIVACUNO B</b>													
UR-L90-TIV B	150 / 5	Cable 7-TIV B	34.5	36.6	47.6	1.59	0.317	22.32	2.6	3120	104.0	20.80	0.01
UR-T60-TIV B (prim)	150 / 5	T X3-TIV B	34.5	36.6	47.6	1.59	0.317	12.11	2.6	3120	104.0	20.80	0.01
UR-T60-TIV B (secu)	2000 / 5	T X3-TIV B	2.4	513.8	667.9	1.67	0.334	6.65	16.2	19440	48.6	9.72	0.01
UR-B30-TIV B	2000 / 5	MCC X2-TIV B	2.4	513.8	667.9	1.67	0.334	0.79	15.6	18720	46.8	9.36	0.01

**Observación:**

La corriente del relé.- Es la corriente en el lado del secundario del TC, ésta sirve para seleccionar el ajuste de la corriente Pickup y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$I_{\text{relay}} (A) = I_{\text{primario del TC}} / RTC$$

La corriente Pickup.- Es la corriente mínima de operación del relé y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$I_{\text{pickup}} (A) = I_{\text{relé}} / TC_{\text{secundario}}$$



h. Se presenta la interfaz de los relés digitales GE Multilin de modelo UR, y se ingresa la información presentada en la Tabla 4.8.

### h.1. RED TIVACUNO NPF

#### h.1.1. Relé UR-G60-TIV

<input checked="" type="checkbox"/> Overcurrent	
Curve Type	IAC - Extremely Inverse
Pickup Range	0.01 - 30 xCT Sec Multiples
Pickup	0.17 Step: 0.001
Relay Amps	0.85 340 Prim. Amps
Time Dial	33.52 Step: 0.01
<input checked="" type="checkbox"/> Instantaneous	
Pickup Range	0.01 - 30 xCT Sec Multiples
Pickup	5.46 Step: 0.001
Relay Amps	27.3 10920 Prim. Amps
Delay (sec)	0.01 Step: 0.01

#### h.1.2. Relé UR-T60-TIV (prim)

<input checked="" type="checkbox"/> Overcurrent	
Curve Type	IAC - Extremely Inverse
Pickup Range	0.01 - 30 xCT Sec Multiples
Pickup	0.426 Step: 0.001
Relay Amps	2.13 340.8 Prim. Amps
Time Dial	28.39 Step: 0.01
<input checked="" type="checkbox"/> Instantaneous	
Pickup Range	0.01 - 30 xCT Sec Multiples
Pickup	13.65 Step: 0.001
Relay Amps	68.25 10920 Prim. Amps
Delay (sec)	0.01 Step: 0.01

### h.1.3. Relé UR-T60-TIV (secu)

<input checked="" type="checkbox"/> Overcurrent	
Curve Type	IAC - Extremely Inverse
Pickup Range	0.01 - 30 xCT Sec Multiples
Pickup	0.443 Step: 0.001
Relay Amps	2.215 132.9 Prim. Amps
Time Dial	24.35 Step: 0.01
<input checked="" type="checkbox"/> Instantaneous	
Pickup Range	0.01 - 30 xCT Sec Multiples
Pickup	10.8 Step: 0.001
Relay Amps	54 3240 Prim. Amps
Delay (sec)	0.01 Step: 0.01

### h.1.4. Relé UR-L90-TIV

<input checked="" type="checkbox"/> Overcurrent	
Curve Type	IAC - Extremely Inverse
Pickup Range	0.01 - 30 xCT Sec Multiples
Pickup	0.443 Step: 0.001
Relay Amps	2.215 132.9 Prim. Amps
Time Dial	20.26 Step: 0.01
<input checked="" type="checkbox"/> Instantaneous	
Pickup Range	0.01 - 30 xCT Sec Multiples
Pickup	10.4 Step: 0.001
Relay Amps	52 3120 Prim. Amps
Delay (sec)	0.01 Step: 0.01

### h.1.5. Relé UR-B30-TIV

<input checked="" type="checkbox"/>	Overcurrent
Curve Type	IAC - Extremely Inverse
Pickup Range	0.01 - 30 xCT Sec Multiples
Pickup	0.443 Step: 0.001
Relay Amps	2.215 132.9 Prim. Amps
Time Dial	15.83 Step: 0.01
<input checked="" type="checkbox"/>	Instantaneous
Pickup Range	0.01 - 30 xCT Sec Multiples
Pickup	10.4 Step: 0.001
Relay Amps	52 3120 Prim. Amps
Delay (sec)	0.01 Step: 0.01

## h.2. RED TIVACUNO A

### h.2.1. Relé UR-L90-TIV A

<input checked="" type="checkbox"/>	Overcurrent
Curve Type	IAC - Extremely Inverse
Pickup Range	0.01 - 30 xCT Sec Multiples
Pickup	0.569 Step: 0.001
Relay Amps	2.845 85.35 Prim. Amps
Time Dial	15.57 Step: 0.01
<input checked="" type="checkbox"/>	Instantaneous
Pickup Range	0.01 - 30 xCT Sec Multiples
Pickup	20 Step: 0.001
Relay Amps	100 3000 Prim. Amps
Delay (sec)	0.01 Step: 0.01

### h.2.2. Relé UR-T60-TIV A (prim)

<input checked="" type="checkbox"/>	Overcurrent	
Curve Type	IAC - Extremely Inverse	▼
Pickup Range	0.01 - 30 xCT Sec	▼ Multiples
Pickup	0.569	▲▼ Step: 0.001
Relay Amps	2.845	85.35 Prim. Amps
Time Dial	9.43	▲▼ Step: 0.01
<input checked="" type="checkbox"/>	Instantaneous	
Pickup Range	0.01 - 30 xCT Sec	▼ Multiples
Pickup	20	▲▼ Step: 0.001
Relay Amps	100	3000 Prim. Amps
Delay (sec)	0.01	▲▼ Step: 0.01

### h.2.3. Relé UR-T60-TIV A (secu)

<input checked="" type="checkbox"/>	Overcurrent	
Curve Type	IAC - Extremely Inverse	▼
Pickup Range	0.01 - 30 xCT Sec	▼ Multiples
Pickup	0.598	▲▼ Step: 0.001
Relay Amps	2.99	1196 Prim. Amps
Time Dial	5.31	▲▼ Step: 0.01
<input checked="" type="checkbox"/>	Instantaneous	
Pickup Range	0.01 - 30 xCT Sec	▼ Multiples
Pickup	12.84	▲▼ Step: 0.001
Relay Amps	64.2	25680 Prim. Amps
Delay (sec)	0.01	▲▼ Step: 0.01

### h.2.4. Relé UR-B30-TIV A

<input checked="" type="checkbox"/>	Overcurrent			
	Curve Type	IAC - Extremely Inverse		
	Pickup Range	0.01 - 30 xCT Sec		Multiples
	Pickup	0.598		Step: 0.001
	Relay Amps	2.99	1196	Prim. Amps
	Time Dial	1.003		Step: 0.01
<input checked="" type="checkbox"/>	Instantaneous			
	Pickup Range	0.01 - 30 xCT Sec		Multiples
	Pickup	12.18		Step: 0.001
	Relay Amps	60.9	24360	Prim. Amps
	Delay (sec)	0.01		Step: 0.01

### h.2.5. Relé UR-M2-TIV A

<input checked="" type="checkbox"/>	Overcurrent			
	Curve Type	IAC - Extremely Inverse		
	Pickup Range	0.01 - 30 xCT Sec		Multiples
	Pickup	0.71		Step: 0.001
	Relay Amps	3.55	35.5	Prim. Amps
	Time Dial	44.76		Step: 0.01
<input checked="" type="checkbox"/>	Instantaneous			
	Pickup Range	0.01 - 30 xCT Sec		Multiples
	Pickup	25.349		Step: 0.001
	Relay Amps	126.7	1267	Prim. Amps
	Delay (sec)	0.01		Step: 0.01

### h.2.6. Relé UR-M6-TIV A

<input checked="" type="checkbox"/>	Overcurrent
Curve Type	IAC - Extremely Inverse
Pickup Range	0.01 - 30 xCT Sec Multiples
Pickup	0.71 Step: 0.001
Relay Amps	3.55 35.5 Prim. Amps
Time Dial	28.4 Step: 0.01
<input checked="" type="checkbox"/>	Instantaneous
Pickup Range	0.01 - 30 xCT Sec Multiples
Pickup	27.821 Step: 0.001
Relay Amps	139.1 1391 Prim. Amps
Delay (sec)	0.01 Step: 0.01

### h.3. RED TIVACUNO B

#### h.3.1. Relé UR-L90-TIV B

<input checked="" type="checkbox"/>	Overcurrent
Curve Type	IAC - Extremely Inverse
Pickup Range	0.01 - 30 xCT Sec Multiples
Pickup	0.317 Step: 0.001
Relay Amps	1.585 47.55 Prim. Amps
Time Dial	22.32 Step: 0.01
<input checked="" type="checkbox"/>	Instantaneous
Pickup Range	0.01 - 30 xCT Sec Multiples
Pickup	20.8 Step: 0.001
Relay Amps	104 3120 Prim. Amps
Delay (sec)	0.01 Step: 0.01

### h.3.2. Relé UR-T60-TIV B (prim)

<input checked="" type="checkbox"/>	Overcurrent	
Curve Type	IAC - Extremely Inverse	▼
Pickup Range	0.01 - 30 xCT Sec	▼ Multiples
Pickup	0.317	▲▼ Step: 0.001
Relay Amps	1.585	47.55 Prim. Amps
Time Dial	12.11	▲▼ Step: 0.01
<input checked="" type="checkbox"/>	Instantaneous	
Pickup Range	0.01 - 30 xCT Sec	▼ Multiples
Pickup	20.8	▲▼ Step: 0.001
Relay Amps	104	3120 Prim. Amps
Delay (sec)	0.01	▲▼ Step: 0.01

### h.3.3. Relé UR-T60-TIV B (secu)

<input checked="" type="checkbox"/>	Overcurrent	
Curve Type	IAC - Extremely Inverse	▼
Pickup Range	0.01 - 30 xCT Sec	▼ Multiples
Pickup	0.334	▲▼ Step: 0.001
Relay Amps	1.67	668 Prim. Amps
Time Dial	6.65	▲▼ Step: 0.01
<input checked="" type="checkbox"/>	Instantaneous	
Pickup Range	0.01 - 30 xCT Sec	▼ Multiples
Pickup	9.72	▲▼ Step: 0.001
Relay Amps	48.6	19440 Prim. Amps
Delay (sec)	0.01	▲▼ Step: 0.01

### h.3.4. Relé UR-B30-TIV B

<input checked="" type="checkbox"/>	Overcurrent		
	Curve Type	IAC - Extremely Inverse	
	Pickup Range	0.01 - 30 xCT Sec	Multiples
	Pickup	0.334	Step: 0.001
	Relay Amps	1.67	668 Prim. Amps
	Time Dial	0.793	Step: 0.01
<input checked="" type="checkbox"/>	Instantaneous		
	Pickup Range	0.01 - 30 xCT Sec	Multiples
	Pickup	9.36	Step: 0.001
	Relay Amps	46.8	18720 Prim. Amps
	Delay (sec)	0.01	Step: 0.01

## 4.5.2 PROCEDIMIENTO PARA COORDINAR PROTECCIONES Y CREAR SOLUCIONES GRÁFICAS DE CURVAS TIEMPO-CORRIENTE (TCC).

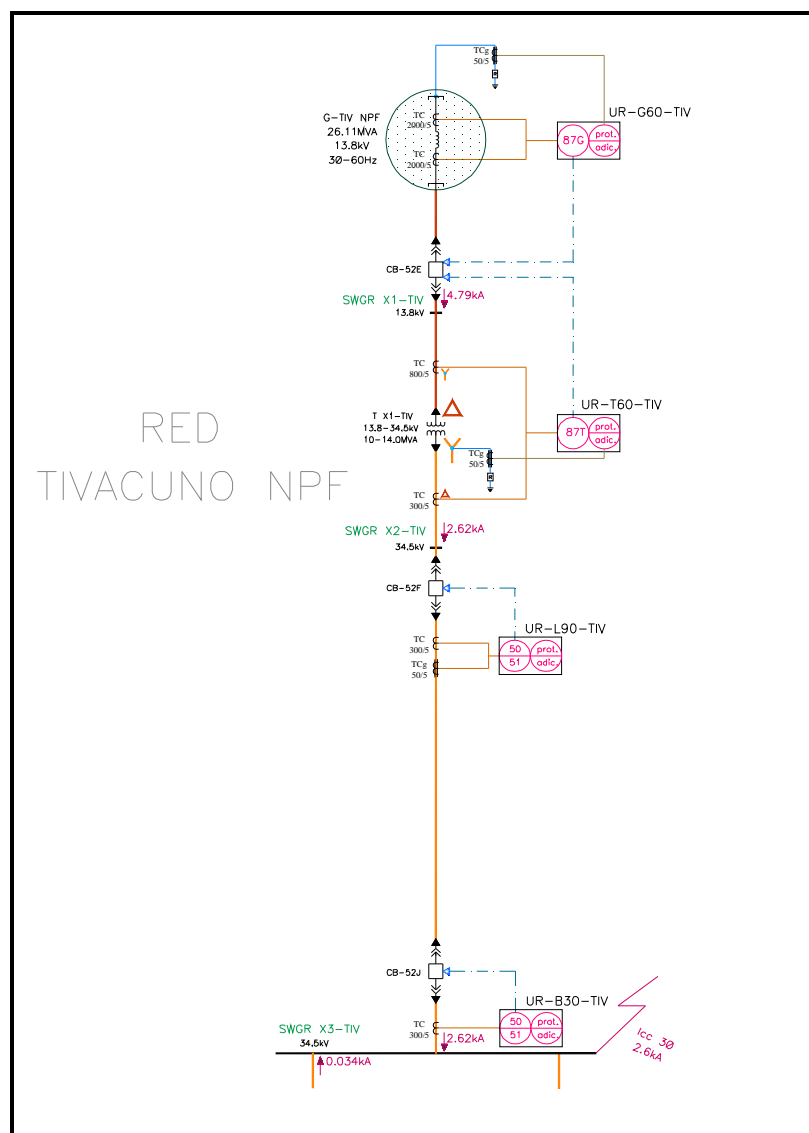
Las Curvas Tiempo-Corriente (**TCC**) correspondientes a los dispositivos de protección se crean y coordinan gráficamente siguiendo el procedimiento que se presenta a continuación.

- a. Se selecciona una zona o tramo del sistema eléctrico de distribución al cual se quiere realizar la coordinación de protecciones eléctricas. Los tramos en los cuales se realiza la coordinación son: la red **Tivacuno NPF**, la red **Tivacuno A** y la red **Tivacuno B**.
- b. Se activa la herramienta “**Create STAR View**” y se despliega la solución gráfica de las Curvas Tiempo-Corriente (**TCC**), correspondientes a la zona seleccionada previamente.
- c. Se usan escalas logarítmicas, cuando se trata de coordinar varios dispositivos en un solo gráfico; la escala de valores de las ordenadas se representa como

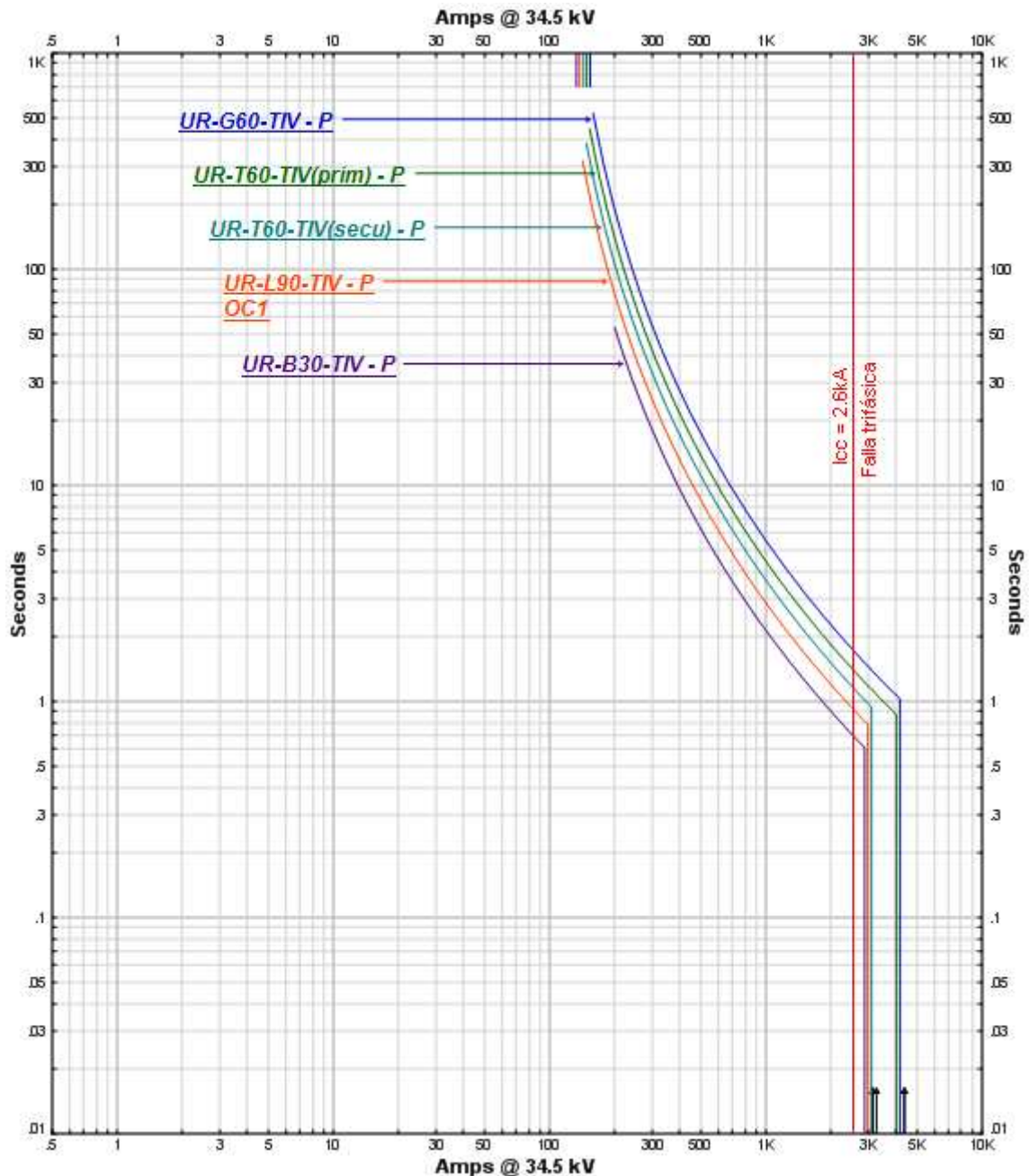


- corriente (Amp) y la escala de valores de las abscisas se representa como tiempo (seg).
- d. Se van coordinando las curvas en parejas de tal forma que no se crucen y respetando el margen de coordinación entre las mismas que se encuentra dentro del intervalo de tiempo **0.2 a 0.5** segundos.
  - e. A continuación en las figuras **4.11 a 4.20**, se presenta la coordinación gráfica de los dispositivos de protección que se encuentran en las redes Tivacuno NPF, Tivacuno A y Tivacuno B, respectivamente.

**FIGURA 4.3** Zona de Protecciones de la Red Tivacuno NPF



**FIGURA 4.4** *Curvas de coordinación de la Red Tivacuno NPF.*



En la **figura 4.2**, se observa que las Curvas Tiempo-Corriente (TCC's) de los relés digitales GE Multilin de modelo UR, actúan dentro de la zona denominada **Red Tivacuno NPF** ante la presencia de una falla trifásica de 2.6kA a 34.5kV simulada en la barra del equipo denominado *SWGR X3-TIV*. Se puede observar que existe selectividad en ésta zona ya que estos relés van actuando de forma secuencial en forma ascendente actuando con un margen de coordinación entre **0.2 a 0.5** segundos, recomendado por la Norma Americana **ANSI/IEEE 242-2001**.

FIGURA 4.5 Zona de Protecciones de la Red Tivacuno A.

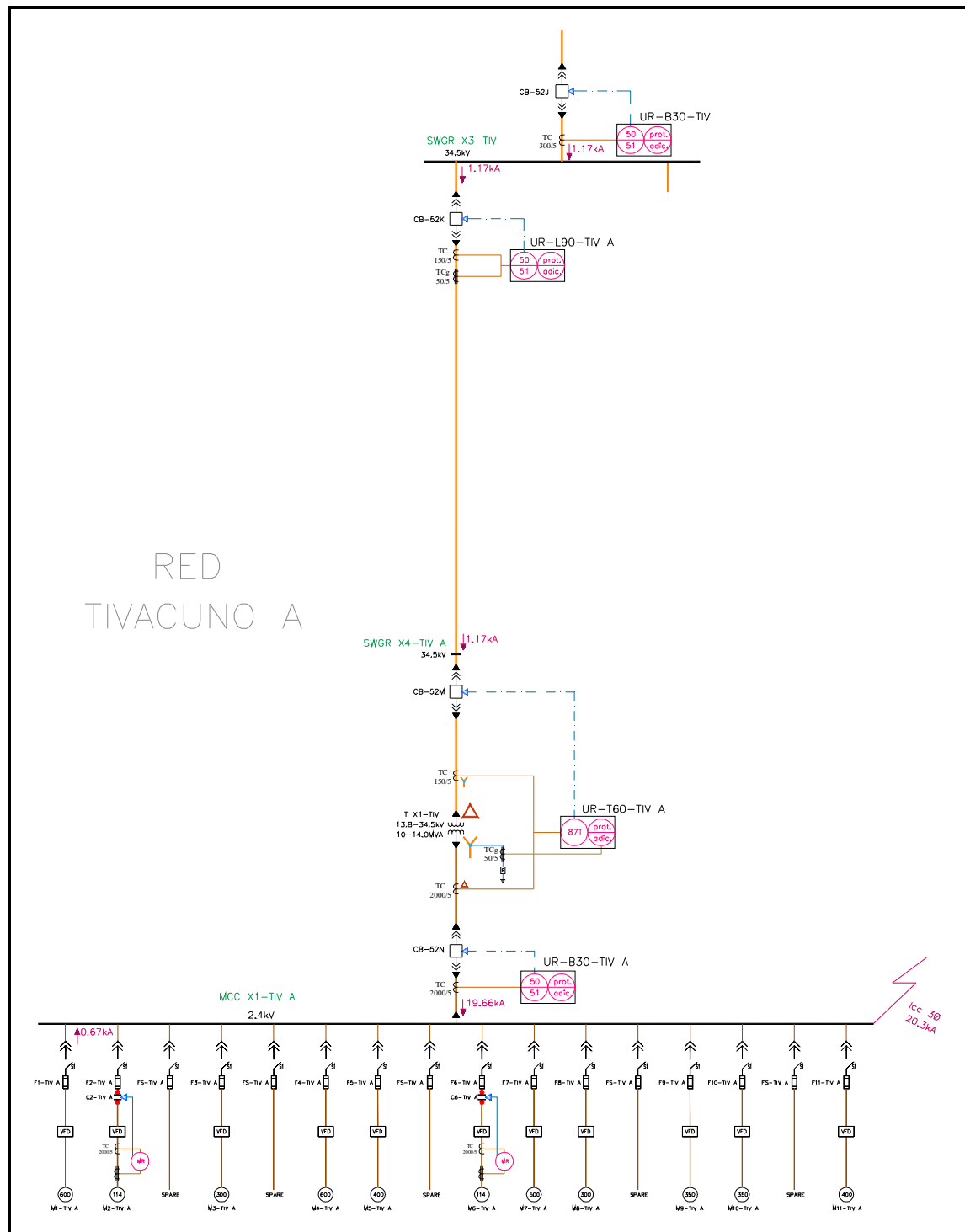
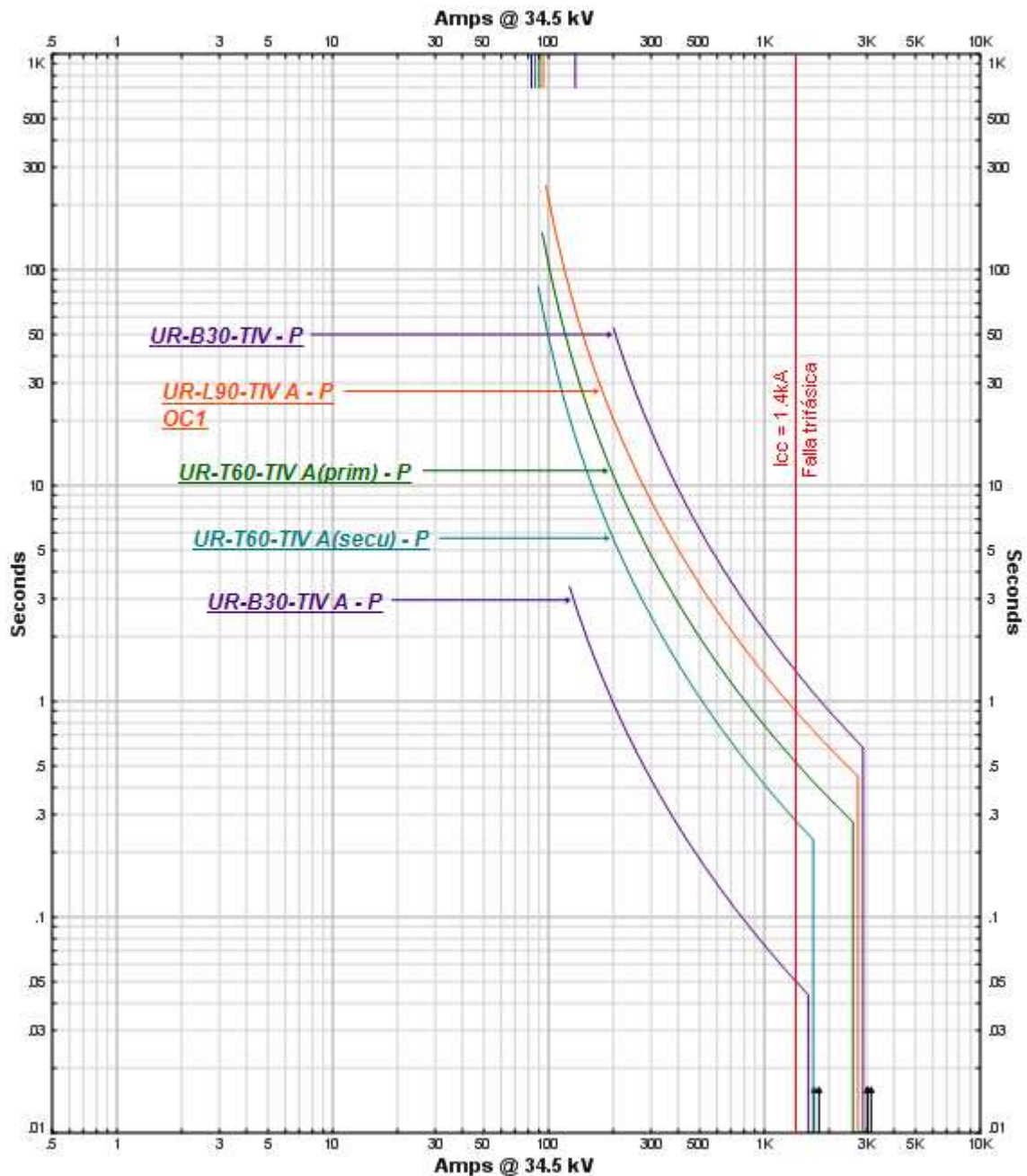


FIGURA 4.6 Curvas de coordinación de la Red Tivacuno A.



En la **figura 4.4**, se observa que las Curvas Tiempo-Corriente (TCC's) de los relés digitales GE Multilin de modelo UR, actúan dentro de la zona denominada **Red Tivacuno A** ante la presencia de una falla trifásica de 1.4kA a 34.5kV simulada en la barra del equipo denominado *MCC X1-TIV A*. Se puede observar que existe selectividad en ésta zona ya que estos relés van actuando de forma secuencial en forma ascendente actuando con un margen de coordinación entre **0.2** a **0.5** segundos, recomendado por la Norma Americana **ANSI/IEEE 242-2001**.

FIGURA 4.7 Zona de Protecciones de la Red Tivacuno B

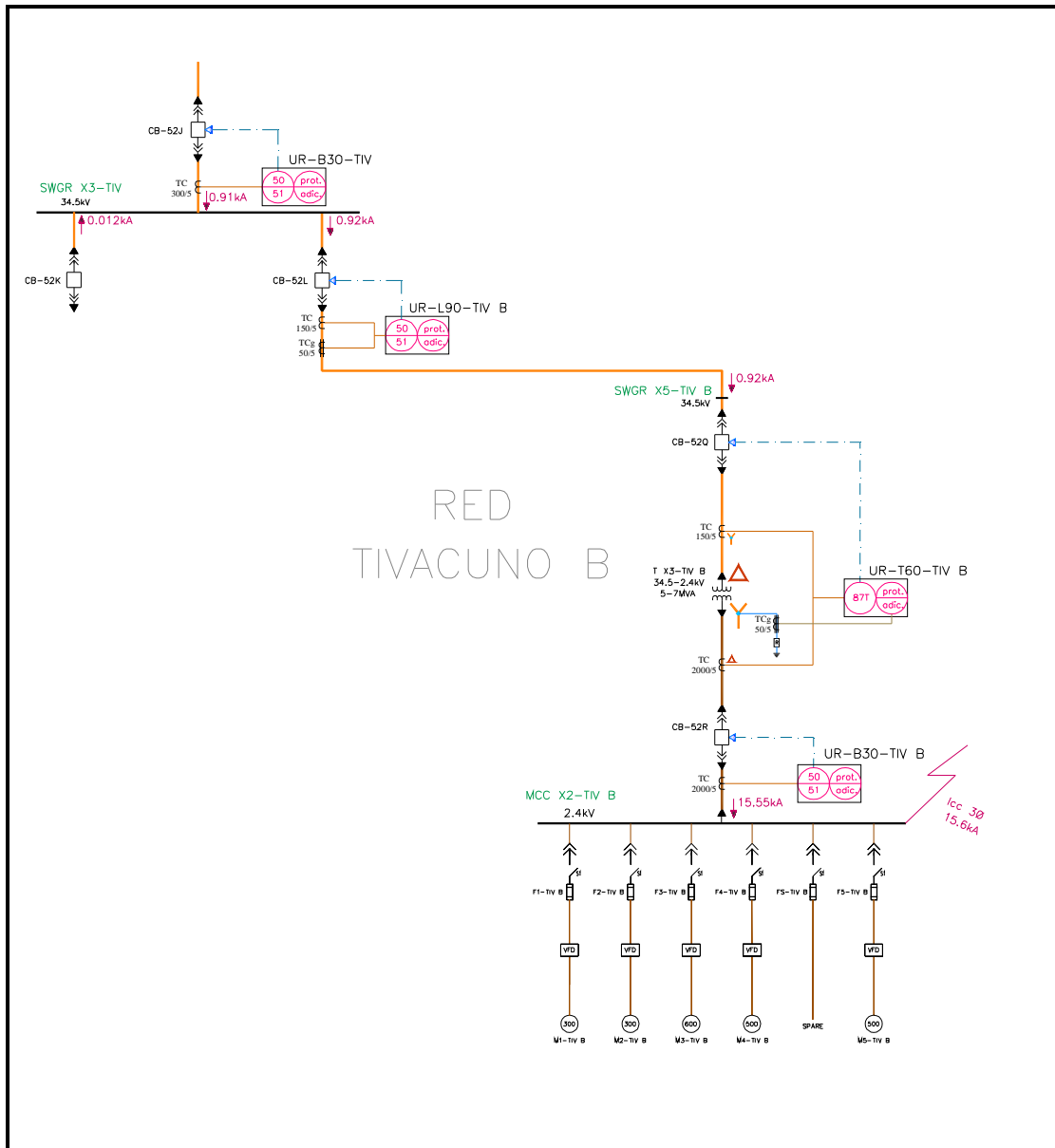
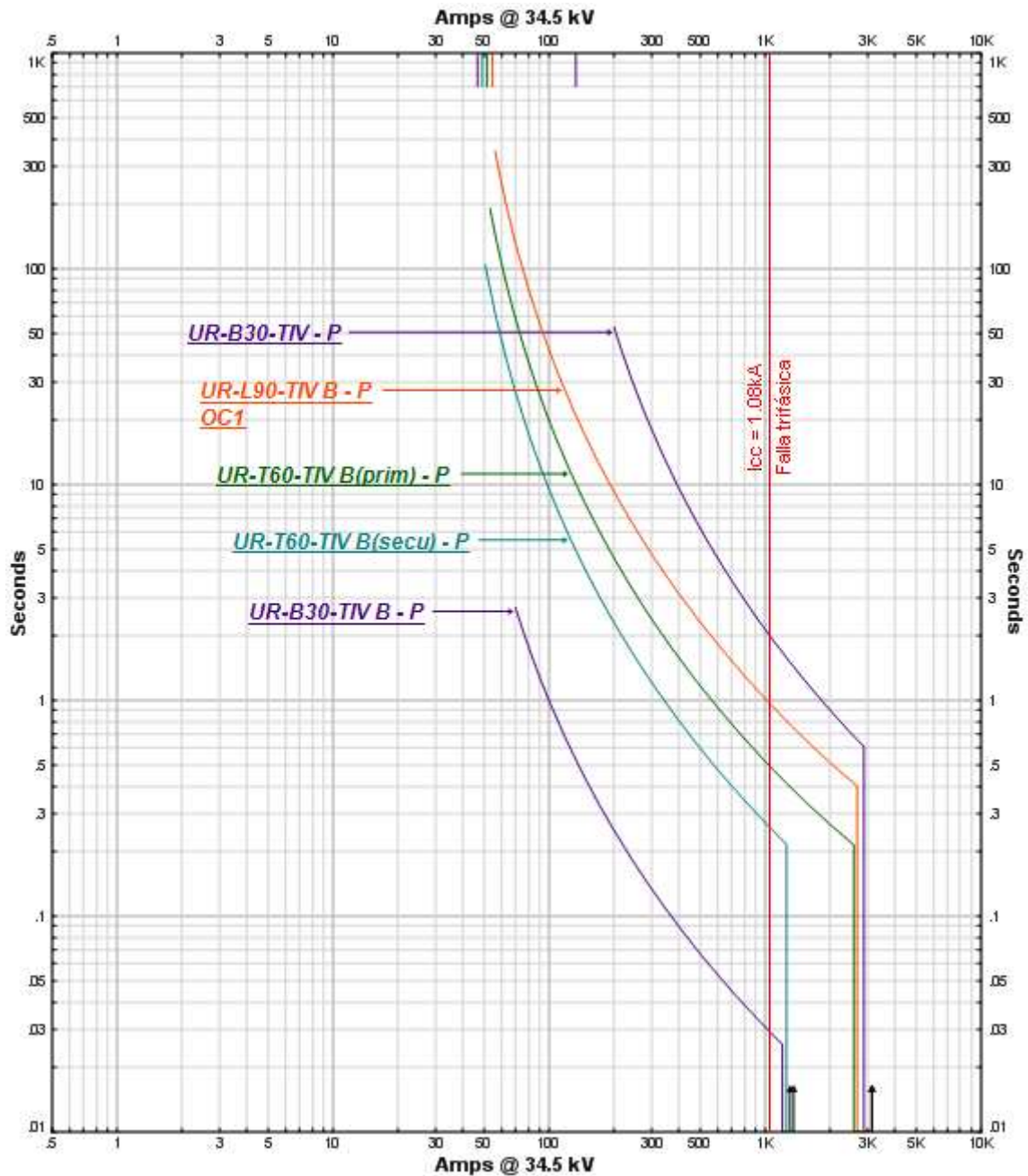
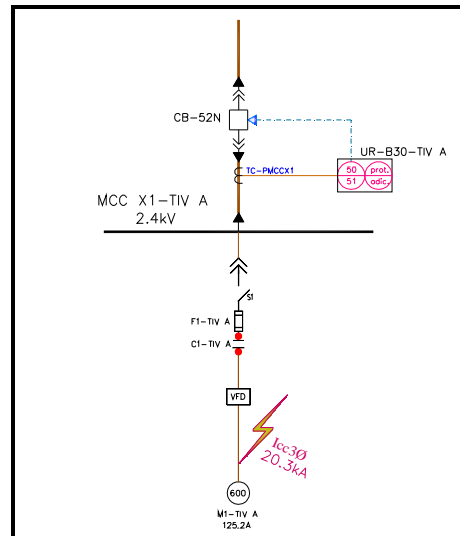


FIGURA 4.8 Curvas de coordinación de la Red Tivacuno B.

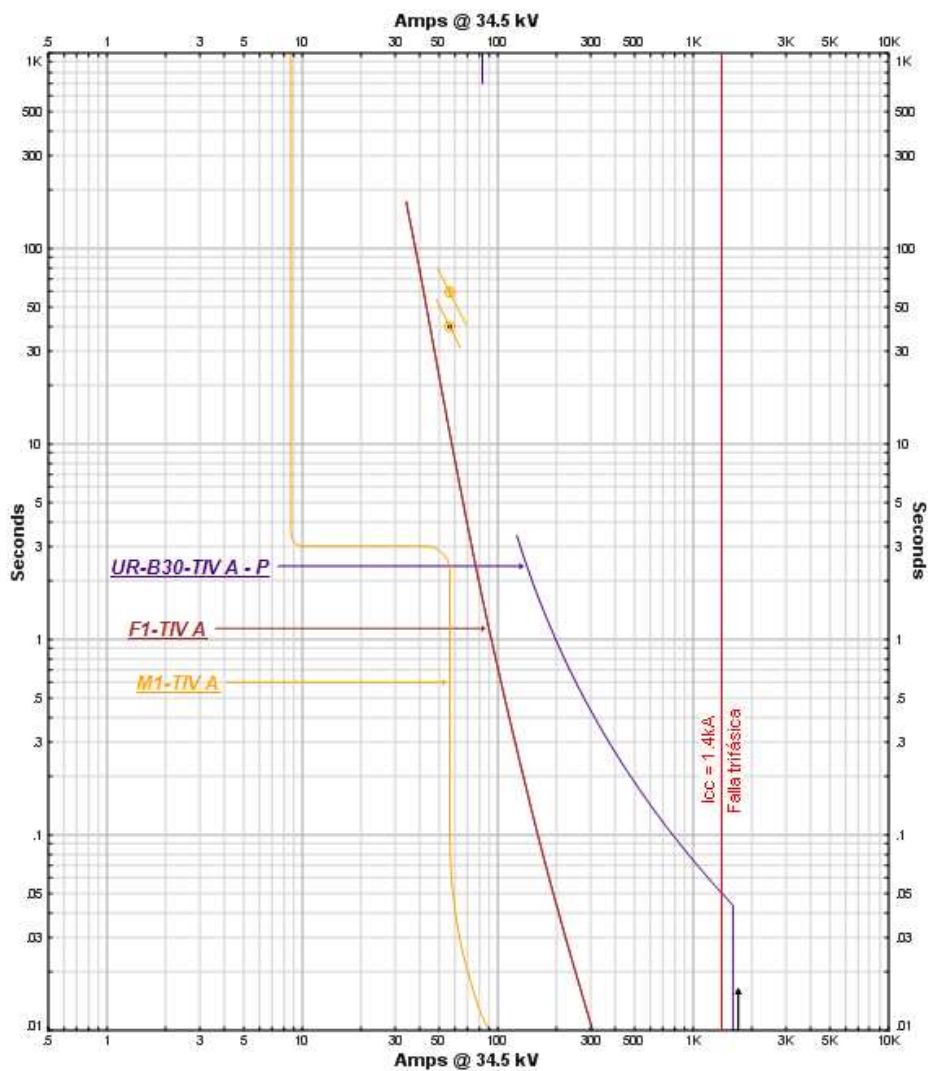


En la **figura 4.6**, se observa que las Curvas Tiempo-Corriente (TCC's) de los relés digitales GE Multilin de modelo UR, actúan dentro de la zona denominada **Red Tivacuno B** ante la presencia de una falla trifásica de 1.08A a 34.5kV simulada en la barra del equipo denominado *MCC X2-TIV B*. Se puede observar que existe selectividad en ésta zona ya que estos relés van actuando de forma secuencial en forma ascendente actuando con un margen de coordinación entre **0.2** a **0.5** segundos, recomendado por la Norma Americana **ANSI/IEEE 242-2001**.

**FIGURA 4.9** Zona de Protecciones para el motor *M1-TIV A*

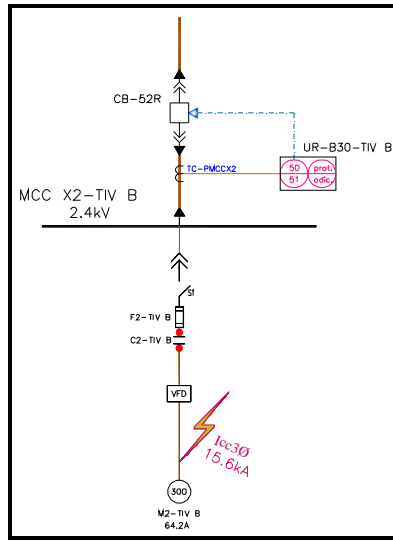


**FIGURA 4.10** Curvas de coordinación para el motor *M1-TIV A*

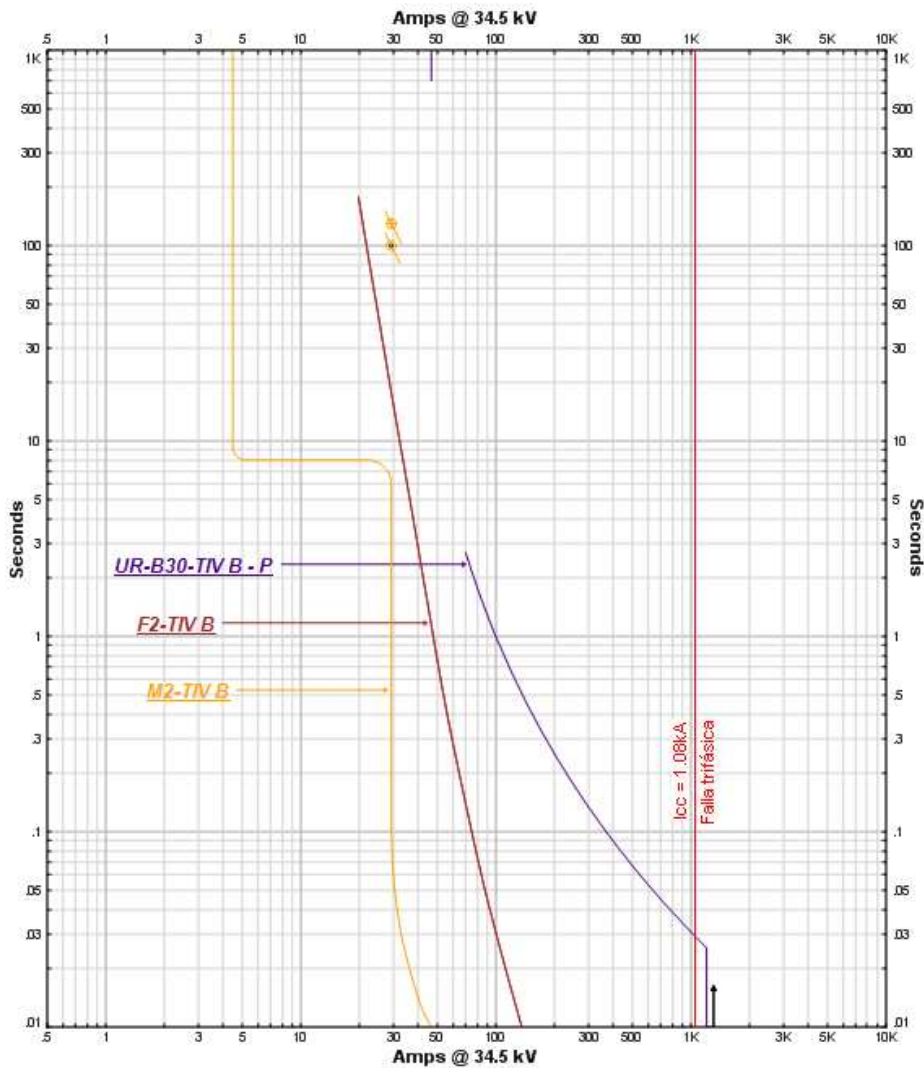




**FIGURA 4.11** Zona de protecciones para el motor **M2-TIV B**



**FIGURA 4.12** Curvas de coordinación para el MOTOR **M2-TIV B**





En la **figura 4.7**, al simular una falla trifásica sobre el cable de distribución que alimenta al motor *M1-TIV A*, se obtiene una corriente de cortocircuito de (20.3kA a 2.4kV) igual a la obtenida en la barra del MCC X1-TIV A. Esto se debe a que la longitud de éste cable no es muy distante (125m) y prácticamente es el mismo punto de falla.

En la **figura 4.8**, se observa que ante la presencia de una corriente de cortocircuito de (20.3kA a 2.4kV) equivalente a (1.4kA a 34.5kV) las Curvas Tiempo-Corriente (TCC's) de los dispositivos de protección para el motor *M1-TIV A*, actúan selectivamente dentro de su zona de protección con un margen de coordinación entre **0.2** a **0.5** segundos, recomendado por la Norma Americana **ANSI/IEEE 242-2001**.

En la **figura 4.9**, al simular una falla trifásica sobre el cable de distribución que alimenta al motor *M2-TIV B*, se obtiene una corriente de cortocircuito de (15.6kA a 2.4kV) igual a la obtenida en la barra del MCC X2-TIV B. Esto se debe a que la longitud de éste cable no es muy distante (105m) y prácticamente es el mismo punto de falla.

En la **figura 4.10**, se observa que ante la presencia de una corriente de cortocircuito de (15.6kA a 2.4kV) equivalente a (1.08kA a 34.5kV) las Curvas Tiempo-Corriente (TCC's) de los dispositivos de protección para el motor *M2-TIV B*, actúan selectivamente dentro de su zona de protección con un margen de coordinación entre **0.2** a **0.5** segundos, recomendado por la Norma Americana **ANSI/IEEE 242-2001**.

Éste análisis se repite para el caso de presentarse una falla trifásica en los otros cables conectados a las barras MCC X1-TIV A y MCC X2-TIV B respectivamente.

#### **4.6 RESULTADOS DE LOS AJUSTES DE COORDINACION**

A continuación en las tablas **4.9** y **4.10**, se presenta el reporte de resultados obtenidos de la coordinación gráfica de los dispositivos de protección que se encuentran en las redes Tivacuno NPF, Tivacuno A y Tivacuno B, respectivamente.

**TABLA 4.9** Resultados del ajuste de los relés de protección

TRANSFORMADOR DE CORRIENTE (TC)		AJUSTES DE LOS RELES DE SOBRECORRIENTE											DISYUNTOR QUE CONTROLA EL RELE					EQUIPO PROTEGIDO	
		RELE DIGITAL	V oper (kV)	TEMPORIZADO				I cc en la barra (kA)	INSTANTANEO				DISYUNTOR	CAPACIDAD DE OPERACIÓN					
RTC	Capacidad máxima del TC (kA)			I prim (A)	Relay (A)	Pickup (A)	Time Dial		I prim (A)	Relay (A)	Pickup (A)	Delay (seg)		V oper (kV)	Vmax nom (kV)	Capacidad Interrup (kA)	Tiempo de corte (ciclos)	Duracion de cierre (ciclos)	
<b>RED TIVACUNO NPF</b>																			
2000 / 5	10.92	UR-G60-TIV	13.8	384.6	0.962	0.1923	33.52	9.1	10400	26.00	5.200	0.01	CB-52E	13.8	15	10.0	5	3	G-TIV NPF
800 / 5	10.92	UR-T60-TIV (prim)	13.8	370.4	2.315	0.463	28.39	9.1	10002	62.51	12.503	0.01	CB-52E	13.8	15	10.0	5	3	T X1-TIV
300 / 5	3.12	UR-T60-TIV (secu)	34.5	143.1	2.385	0.477	24.35	2.7	3075	51.25	10.25	0.01	CB-52E	13.8	15	3.0	5	3	
300 / 5	3.12	UR-L90-TIV	34.5	137.4	2.290	0.458	20.26	2.6	2962	49.37	9.874	0.01	CB-52F	34.5	38	2.9	3	2	Cable 3-TIV
300 / 5	3.12	UR-B30-TIV	34.5	132.9	2.215	0.443	15.85	2.6	2859	47.65	9.530	0.01	CB-52J	34.5	38	2.9	3	2	SWGR X3-TIV
<b>RED TIVACUNO A</b>																			
150 / 5	3.00	UR-L90-TIV A	34.5	94.2	3.140	0.628	15.57	2.5	2711	90.38	18.076	0.01	CB-52K	34.5	38	2.8	3	2	Cable 4-TIV A
150 / 5	3.00	UR-T60-TIV A (prim)	34.5	90.45	3.015	0.603	9.43	2.5	2571	85.71	17.142	0.01	CB-52M	34.5	38	2.8	3	2	T X2-TIV A
2000 / 5	24.36	UR-T60-TIV A (secu)	2.4	1244.0	3.110	0.622	5.31	21.4	24178	60.44	12.089	0.01	CB-52M	34.5	38	23.5	3	2	
2000 / 5	24.36	UR-B30-TIV A	2.4	1196.0	2.990	0.598	1.00	20.3	22930	57.33	11.465	0.01	CB-52N	2.4	4.75	40.2	5	3	MCC X1-TIV A
<b>RED TIVACUNO B</b>																			
150 / 5	3.12	UR-L90-TIV B	34.5	54.45	1.815	0.363	22.32	2.6	2664	88.80	17.759	0.01	CB-52L	34.5	38	2.9	3	2	Cable 7-TIV B
150 / 5	3.12	UR-T60-TIV B (prim)	34.5	51.6	1.720	0.344	12.11	2.6	2571	85.71	17.142	0.01	CB-52Q	34.5	38	2.9	3	2	T X3-TIV B
2000 / 5	18.72	UR-T60-TIV B (secu)	2.4	704.0	1.760	0.352	6.65	16.2	18020	45.05	9.01	0.01	CB-52Q	34.5	38	17.8	3	2	
2000 / 5	18.72	UR-B30-TIV B	2.4	668.0	1.670	0.334	0.79	15.6	17278	43.19	8.639	0.01	CB-52R	2.4	4.75	30.9	5	3	MCC X2-TIV B
<p><b>Observación:</b></p> <p style="text-align: center;"><math>Capacidad\ interruptiva\ del\ disyuntor\ (kA) = (Vmax\ nominal / Voperacon) \times (Icc\ calculado\ kA)</math></p> <p>Los tiempos de corte y cierre fueron están acorde a las normativas IEC 62271-100, VDE 0671-part. 100, CEI 17-1exped.</p>																			

**TABLA 4.10** Resultados del ajuste de los fusibles de protección para los motores

No.	I <sub>cc</sub> calculado (kA)	FUSIBLE QUE PROTEGE AL RELÉ								MOTOR PROTEGIDO
		Fusibles termomagnéticos extraíbles	CAPACIDAD DE OPERACIÓN							
			V oper (kV)	Vmax nom (kV)	In (A)	Capacidad de sobrecarga (A)	I interrup (kA)	Capacidad Interrup (kA)	Tiempo de corte (seg)	
<b>PLATAFORMA - TIVACUNO A</b>										
1	20.3	F1-TIV A	2.4	3.6	160	480	4.37	50	0.01	M1-TIV A
2	20.3	F2-TIV A	2.4	3.6	160	480	4.37	50	0.01	M2-TIV A
3	20.3	F3-TIV A	2.4	3.6	125	466	2.77	50	0.01	M3-TIV A
4	20.3	F4-TIV A	2.4	3.6	160	480	4.35	50	0.01	M4-TIV A
5	20.3	F5-TIV A	2.4	3.6	125	466	2.77	50	0.01	M5-TIV A
6	20.3	F6-TIV A	2.4	3.6	160	480	4.35	50	0.01	M6-TIV A
7	20.3	F7-TIV A	2.4	3.6	160	480	4.35	50	0.01	M7-TIV A
8	20.3	F8-TIV A	2.4	3.6	125	466	2.77	50	0.01	M8-TIV A
9	20.3	F9-TIV A	2.4	3.6	125	466	2.77	50	0.01	M9-TIV A
10	20.3	F10-TIV A	2.4	3.6	125	466	2.77	50	0.01	M10-TIV A
11	20.3	F11-TIV A	2.4	3.6	125	466	2.77	50	0.01	M11-TIV A
<b>PLATAFORMA - TIVACUNO B</b>										
1	15.6	F1-TIV B	2.4	3.6	125	466	2.77	50	0.01	M1-TIV B
2	15.6	F2-TIV B	2.4	3.6	100	279	1.94	50	0.01	M2-TIV B
3	15.6	F3-TIV B	2.4	3.6	160	480	4.37	50	0.01	M3-TIV B
4	15.6	F4-TIV B	2.4	3.6	125	466	2.77	50	0.01	M4-TIV B
5	15.6	F5-TIV B	2.4	3.6	125	466	2.77	50	0.01	M5-TIV B
<p><i>Capacidad de los fusibles SIBA de acuerdo a la normativa IEC 60 282-1, IEC 60 549.</i></p> <p><i>I interrupción (kA).- Obtenida de la curva del fusible.</i></p> <p><i>Capacidad de sobrecarga (A).- Obtenida de la curva del fusible.</i></p>										

## **4.7 ANÁLISIS DE LOS AJUSTES DE COORDINACIÓN**

### **4.7.1 PROTECCIÓN DEL GENERADOR DE ENERGÍA (G-TIV NPF)**

El transformador de corriente (TC- 2000/5) detectan una falla trifásicas de (9.1kA a 13.8kV) y la transforma en una señal de corriente de (26A), la cual es leída por el relé (**UR-G60-TIV**) que ésta seteado para que su función instantánea (50) envíe una señal de disparo al disyuntor asociado (CB-52E) en caso de que la corriente de cortocircuito sobrepase el límite máximo de 10.4kA. Éste límite de corriente es inferior a la capacidad interruptiva del disyuntor (CB-52E) que tiene un valor de (10kA), lo cual indica que los contactos de éste disyuntor se abren y se protege satisfactoriamente al generador (G-TIV NPF).

### **4.7.2 PROTECCIÓN DEL TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN (TX1-TIV) EN EL LADO DE 13.8KV**

El transformador de corriente (TC- 800/5) detectan una falla trifásicas de (9.1kA a 13.8kV) y la transforma en una señal de corriente de (62.51A), la cual es leída por el relé (**UR-T60-TIV prim.**) que ésta seteado para que su función instantánea (50) envíe una señal de disparo al disyuntor asociado (CB-52E) en caso de que la corriente de cortocircuito sobrepase el límite máximo de 10kA. Éste límite de corriente es inferior a la capacidad interruptiva del disyuntor (CB-52E) que tiene un valor de (10kA), lo cual indica que los contactos de éste disyuntor se abren y se protege satisfactoriamente al transformador de distribución (TX1-TIV).

### **4.7.3 PROTECCIÓN DEL TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN (TX1-TIV) EN EL LADO DE 34.5KV**

El transformador de corriente (TC- 300/5) detectan una falla trifásicas de (2.7kA a 34.5kV) y la transforma en una señal de corriente de (51.25A), la cual es leída por el relé (**UR-T60-TIV secu.**) que ésta seteado para que su función instantánea (50) envíe una señal de disparo al disyuntor asociado (CB-52E) en caso de que la corriente de cortocircuito sobrepase el límite máximo de 3.075kA. Éste límite de corriente es inferior a la capacidad interruptiva del disyuntor (CB-52E) que tiene un valor de (3kA), lo cual indica que los contactos de éste disyuntor se abren y se protege satisfactoriamente al transformador de distribución (TX1-TIV).

Este mismo análisis se repite para los transformadores (**TX2-TIV A, TX3-TIV B**), de acuerdo a la Tabla 4.9 del presente capítulo.

#### **4.7.4 PROTECCIÓN DE LA LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN SUBTERRÁNEA (CABLE 3-TIV)**

El transformador de corriente (TC- 300/5) detectan una falla trifásicas de (2.6kA a 34.5kV) y la transforma en una señal de corriente de (49.37A), la cual es leída por el relé (**UR-L90-TIV**) que ésta seteado para que su función instantánea (50) envíe una señal de disparo al disyuntor asociado (CB-52F) en caso de que la corriente de cortocircuito sobrepase el límite máximo de 2.962kA. Este límite de corriente es inferior a la capacidad interruptiva del disyuntor (CB-52F) que tiene un valor de (2.9kA), lo cual indica que los contactos de éste disyuntor se abren y se protege satisfactoriamente a la línea de distribución subterránea (Cable 3-TIV).

Este mismo análisis se repite para los transformadores (**Cable 4-TIV A, Cable 7-TIV B**), de acuerdo a la Tabla 4.9 del presente capítulo.

#### **4.7.5 PROTECCIÓN DE LA BARRA DEL TABLERO DISTRIBUCIÓN (SWGR X3-TIV)**

El transformador de corriente (TC- 300/5) detectan una falla trifásicas de (2.6kA a 34.5kV) y la transforma en una señal de corriente de (47.65A), la cual es leída por el relé (**UR-B30-TIV**) que ésta seteado para que su función instantánea (50) envíe una señal de disparo al disyuntor asociado (CB-52J) en caso de que la corriente de cortocircuito sobrepase el límite máximo de 2.859kA. Este límite de corriente es inferior a la capacidad interruptiva del disyuntor (CB-52J) que tiene un valor de (2.9kA), lo cual indica que los contactos de éste disyuntor se abren y se protege satisfactoriamente a la barra del tablero distribución (SWGR X3-TIV).

#### **4.7.6 PROTECCIÓN DE LA BARRA DEL TABLERO DE CONTROL DE MOTORES (MCC X1-TIV A)**

El transformador de corriente (TC- 2000/5) detectan una falla trifásicas de (20.3kA a 2.4kV) y la transforma en una señal de corriente de (57.33A), la cual es leída por el relé (**UR-B30-TIV**) que ésta seteado para que su función instantánea (50) envíe una señal de disparo al disyuntor asociado (CB-52N) en caso de que la

corriente de cortocircuito sobrepase el límite máximo de 2.29kA. Éste límite de corriente es inferior a la capacidad interruptiva del disyuntor (CB-52N) que tiene un valor de (40.2kA), lo cual indica que los contactos de éste disyuntor se abren y se protege satisfactoriamente a la barra del tablero de control de motores (MCC X1-TIV A).

Éste mismo análisis se repite para las barra del tablero de control de motores (**MCC X2-TIV B**), de acuerdo a la Tabla 4.9 del presente capítulo.

#### **4.7.7 PROTECCIÓN DEL MOTOR (M1-TIV A)**

El fusible termomagnético (F1-TIV A) permite el paso constante, del flujo de corriente de (133.2A) hacia el motor de inducción (M1-TIV A), hasta cuando ésta supera la capacidad de sobrecarga del fusible de (480A). Cuando esto sucede, el fusible, corta inmediatamente el paso de ésta corriente de sobrecarga.

Al presentarse una falla trifásica de (20.3kA a 2.4kV), el fusible corta el paso de la misma en 4.28kA y en un tiempo de 0.01seg, dado que ésta es la máxima corriente de operación del fusible, con lo cual se protege satisfactoriamente a éste motor y su variador de frecuencia (VFD-M1A).

Éste mismo análisis se repite para los otros motores conectados al (**MCC X1-TIV A**), de acuerdo a la Tabla 4.9 del presente capítulo.

#### **4.7.8 PROTECCIÓN DEL MOTOR (M2-TIV B)**

El fusible termomagnético (F2-TIV B) permite el paso constante, del flujo de corriente de (68.6A) hacia el motor de inducción (M2-TIV B), hasta cuando ésta supera la capacidad de sobrecarga del fusible de (279A). Cuando esto sucede, el fusible, corta inmediatamente el paso de ésta corriente de sobrecarga.

Al presentarse una falla trifásica de (15.6kA a 2.4kV), el fusible corta el paso de la misma en 1.94kA y en un tiempo de 0.01seg, dado que ésta es la máxima corriente de operación del fusible, con lo cual se protege satisfactoriamente a éste motor y su variador de frecuencia (VFD-M2B).

Éste mismo análisis se repite para los otros motores conectados al (**MCC X2-TIV B**), de acuerdo a la Tabla 4.9 del presente capítulo.

## **CAPITULO 5**

### **ESTUDIO ECONÓMICO DEL PROYECTO**

#### **5.1 INTRODUCCION**

Éste estudio económico, tiene como finalidad evaluar la viabilidad del presente proyecto de titulación y determinar si es conveniente o no realizar la inversión económica para su ejecución.

Los motivos por los cuales se debe realizar la inversión económica, son los siguientes: por necesidades técnicas específicas y por excedente de recursos económicos debido a la producción de crudo.

Esto será posible determinar, únicamente después de realizar un análisis financiero del proyecto, para la cual se utilizan varios métodos de matemática financiera, que dependiendo de sus resultados nos permitirán tomar decisiones de factibilidad como: si el proyecto se muestra rentable deberá implementarse, caso contrario deberá abandonarse.

Con la implementación del nuevo Sistema de Protecciones, se espera minimizar las paralizaciones de trabajos debido a mantenimientos no programados, con lo cual se espera incrementar en un 30% la producción anual de crudo (16 grados API). Resulta irrelevante asumir que durante un año, no se presentará ningún tipo de anomalía en el sistema, ya que es un sistema eléctrico real y no ideal.

Se pretende también demostrar, los beneficios económicos que traerá la implementación del nuevo sistema de protecciones, para los entes administrativos de las Plataformas Tivacuno A/B.

De la correcta evaluación del proyecto, dependerá que los entes administrativos tomen las mejores decisiones y asignen los recursos económicos, para que éste proyecto se ponga en ejecución.

## 5.2 ANTECEDENTES

El presente estudio económico se elabora partiendo de información previa, facilitada por la Empresa **Repsol-YPF Ecuador S.A.** que se encuentra a cargo de la operación de servicios para la explotación del campo estatal Tivacuno, que produce en promedio unos 8000 barriles diarios de crudo pesado, con 16 grados API.

La información provista por el departamento de proyectos y financiero de ésta empresa es la siguiente:

Se establece un periodo de vida del proyecto de **10 años** y se asume un valor residual de los equipos del **5%**.

Debido a la escalada y la inestabilidad en el precio del barril de petróleo en los mercados internacionales, el Ecuador actualmente lo comercializa en **\$70** dólares por barril. Éste precio no es constante, pues tiende a incrementarse a futuro.

El costo por materiales, incluye únicamente los nuevos dispositivos de protección a ser implementados.

## 5.3 ANALISIS ECONOMICO DEL PROYECTO

Éste análisis se realiza para determinar el costo de inversión del proyecto, mediante el detalle de costos por concepto de:

- ✓ Materiales.
- ✓ Gastos Generales.
- ✓ Ingeniería del Proyecto.
- ✓ Construcción, Instalación y Montaje.
- ✓ Pre-Comisionado y Comisionado.
- ✓ Operación y Mantenimiento.
- ✓ Gastos Varios.



TABLA 5.1 Materiales				
ITEM	DISPOSITIVOS DE PROTECCION ELECTRICA	DESCRIPCION	CANTIDAD DE COMPRA	COSTO USD
<b>RED TIVACUNO NPF</b>				
1	relay GE type: UR-G60	Nuevo	1	\$ 16,446.60
2	relay GE type: UR-T60	Nuevo	1	\$ 13,891.47
3	device converter communications GE type: F485	Nuevo	1	\$ 352.47
4	<b>Switchgear: SWGR X2-TIV (34.5kV)</b>	Nuevo	1	\$ 200,000.00
5	relay GE type: UR-L90	Nuevo	1	\$ 18,202.88
6	device converter communications GE type: F485	Nuevo	1	\$ 352.47
7	Vacuum circuit breakers of type VD4 35kV	Nuevo	1	\$ 100,000.00
8	<b>Switchgear: SWGR X3-TIV 89 (34.5kV)</b>	Nuevo	1	\$ 200,000.00
9	relay GE type: UR-B30	Nuevo	1	\$ 15,603.13
10	relay GE type: UR-L90	Nuevo	2	\$ 36,405.76
11	device converter communications GE type: F485	Nuevo	1	\$ 352.47
12	Vacuum circuit breakers of type VD4 35kV	Nuevo	1	\$ 100,000.00
<b>RED TIVACUNO A</b>				
13	<b>Switchgear: SWGR X4-TIV A (34.5kV)</b>	Nuevo	1	\$ 200,000.00
14	relay GE type: UR-T60	Nuevo	1	\$ 13,891.47
15	device converter communications GE type: F485	Nuevo	1	\$ 352.47
16	Vacuum circuit breakers of type VD4 35kV	Nuevo	1	\$ 100,000.00
17	relay GE type: UR-B30	Nuevo	1	\$ 15,603.13
18	device converter communications GE type: F485	Nuevo	1	\$ 352.47
19	Vacuum circuit breakers of type VD4 35kV	Nuevo	1	\$ 100,000.00
20	relay GE type: UR-M60	Nuevo	2	\$ 31,000.00
21	device converter communications GE type: F485	Nuevo	1	\$ 352.47
22	Variable Frecuency Drive (VFD) SIEMENS type: ROBICON Perfect Harmony	Nuevo	11	\$ 880,000.00
<b>RED TIVACUNO B</b>				
23	relay GE type: UR-T60	Nuevo	1	\$ 13,891.47
24	device converter communications GE type: F485	Nuevo	1	\$ 352.47
25	relay GE type: UR-B30	Nuevo	1	\$ 15,603.13
26	device converter communications GE type: F485	Nuevo	1	\$ 352.47
27	Vacuum circuit breakers of type VD4 35kV	Nuevo	1	\$ 100,000.00
29	Variable Frecuency Drive (VFD) SIEMENS type: ROBICON Perfect Harmony	Nuevo	5	\$ 400,000.00
<b>A</b>	<b><u>SUB-TOTAL: TABLA 5.1</u></b>			<b>\$ 2,573,358.80</b>
<b>Fuente:</b>				
El precio de estos materiales fueron consultados en las siguientes direcciones web:				
<a href="http://pm.geindustrial.com/front.asp">http://pm.geindustrial.com/front.asp</a>				
<a href="mailto:electrica@googlegroups.com">electrica@googlegroups.com</a>				

<b>TABLA 5.2 Gastos generales</b>			
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO USD
1	GESTION Y TRAMITES DE COMPRAS	1	\$100,000.00
2	TRANSPORTE Y ADUANAS	1	\$45,000.00
<b>B</b>	<b><u>SUB-TOTAL: TABLA 5.2</u></b>		<b>\$145,000.00</b>

<b>TABLA 5.3 Ingeniería del proyecto</b>			
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO USD
1	INGENIERIA DE DISEÑO	1	\$150,000.00
2	INGENIERIA DE DETALLE	1	\$200,000.00
3	GESTION DE INGENIERIA	1	\$50,000.00
<b>C</b>	<b><u>SUB-TOTAL: TABLA 5.3</u></b>		<b>\$400,000.00</b>

<b>TABLA 5.4 Construcción, instalación y montaje</b>			
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO USD
1	OBRAS CIVILES	1	\$50,000.00
2	OBRAS MECANICAS	1	\$100,000.00
3	OBRAS ELECTRICAS, INSTRUMENTACION Y CONTROL	1	\$200,000.00
<b>D</b>	<b><u>SUB-TOTAL: TABLA 5.4</u></b>		<b>\$350,000.00</b>

<b>TABLA 5.5 Pre-comisionado y comisionado</b>			
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO USD
1	PRUEBAS, ENSAYOS Y PUÉSTA EN MARCHA DE LOS EQUIPOS Y SISTEMAS	1	\$170,000.00
<b>E</b>	<b><u>SUB-TOTAL: TABLA 5.5</u></b>		<b>\$170,000.00</b>

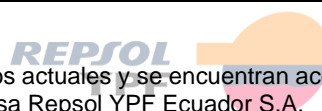
<b>TABLA 5.6 Operación y mantenimiento</b>			
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO USD
1	OPERACIONES Y MANTENIMIENTO ANUAL EN LOS SISTEMAS, MÁQUINARIA, EQUIPOS.	1	\$450,000.00
<b>F</b>	<b><u>SUB-TOTAL: TABLA 5.6</u></b>		<b>\$450,000.00</b>

<b>TABLA 5.7 Gastos varios</b>			
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO USD
1	Varios, Imprevistos	1	\$150,000.00
<b>G</b>	<b><u>SUB-TOTAL: TABLA 5.7</u></b>		<b>\$150,000.00</b>

<b>TABLA 5.8 Costo total de inversión del proyecto</b>	<b>A+B+C+D+E+F+G</b>	<b>=</b>	<b>=</b>	<b>\$4,280,033.21</b>
--	----------------------	----------	----------	-----------------------

Fuente:

Los costos presentados en las **Tablas 5.2 a 5.7**, son costos actuales y se encuentran acorde a la ingeniería que desarrolla el departamento de Proyectos de la Empresa Repsol YPF Ecuador S.A.



<b>TABLA 5.9</b> Depreciación de los equipos a implementarse				
ITEM	DESCRIPCIÓN	COSTO TOTAL	VALOR RESIDUAL	DEPRECIACION A 10 AÑOS
		(USD)	(%)	(USD)
1	Materiales	\$2,573,358.80	5%	\$257,335.88
<b><i>TOTAL: TABLA 5.9</i></b>				<b>\$257.335,88</b>

<b>TABLA 5.10</b> clasificación de costos					
ITEM	CONCEPTO	DESCRIPCIÓN	COSTO FIJO	COSTO VARIABLE	TOTAL
			USD	USD	USD
1	COSTO DE MATERIALES	Materiales: Switchgears, relés, circuit breakers, convertidor de comunicaciones, y VFD.	\$2,573,358.80		\$2,573,358.80
2	COSTOS GENERALES	Gestión, trámites y transporte de compra de equipos.	\$145.000,00		\$145.000,00
	COSTO DE SERVICIOS	Mano de obra indirecta: Ingeniería, construcción, instalación y montaje.	\$750.000,00		\$750.000,00
		Pre-comisionado y Comisionado: Pruebas, ensayos, puesta en marcha de los equipos y Sistemas.	\$170.000,00		\$170.000,00
		Mano de obra directa: Operación y mantenimiento de los equipos y Sistemas.		\$450.000,00	\$450.000,00
4	COSTO OPERATIVO	Varios e imprevistos.	\$150.000,00		\$150.000,00
5	DEPRECIACION	Depreciación de los equipos a 10 años.	\$257.335,88		\$257.335,88
<b><i>TOTAL: TABLA 5.10</i></b>			<b>\$4.045.694,68</b>	<b>\$450.000,00</b>	<b>\$4.495.694,68</b>

<b>TABLA 5.11</b> producción de crudo en los campos Tivacuno por la compañía Repsol YPF ecuador S.A.	
AÑO	PRODUCCION ANUAL DE CRUDO (USD)
<b>ÉSTADÍSTICAS DE PRODUCCION DE CRUDO</b>	
2002	\$ 494,256.00
2003	\$ 401,199.00
2004	\$ 446,041.65
2005	\$ 497,718.77
2006	\$ 605,902.20
2007	\$ 2,306,889.59
<b>PROYECCIONES DE LA PRODUCCION DE CRUDO</b>	
2008	\$ 2,668,672.00
2009	\$ 2,070,645.00
2010	\$ 1,924,294.00
2011	\$ 1,663,988.00
2012	\$ 1,384,820.00
2013	\$ 1,104,041.00
2014	\$ 984,696.00
2015	\$ 942,696.00
2016	\$ 891,062.00
2017	\$ 887,329.00
<b>Fuente:</b> DNH-exploración y explotación elaboración: coordinación de liquidaciones y estadísticas.	
<b>Pagina Web:</b> Ministerio de Minas y Petróleos, Dirección Nacional de Hidrocarburos, artículo PDF descargado de la web, 2008.	

**TABLA 5.12** Proyección de ingresos a diez años con el sistema de protecciones existente

tiempo de vida del proyecto	año	PRODUCCION ANUAL DE CRUDO	PRECIO DE PRODUCCION DEL BARRIL DE PETROLEO	PRECIO DE COMERCIALIZACION DEL BARRIL DE PETROLEO	INGRESOS TOTALES POR PRODUCCION ANUAL DE CRUDO	INGRESOS PARA EL ESTADO ECUATORIANO 70%	INGRESOS PARA LA EMPRESA REPSOL YPF 30%	INGRESOS TOTALES PARA REPSOL YPF
		# barriles/año	(USD)	(USD)	(USD)	(USD)	(USD)	(USD)
1	2008	\$ 2,668,672.00	\$ 10.00	\$ 70.00	\$ 186,807,040.00	\$ 130,764,928.00	\$ 56,042,112.00	\$ 56,042,122.00
2	2009	\$ 2,070,645.00	\$ 12.00	\$ 75.00	\$ 155,298,375.00	\$ 108,708,862.50	\$ 46,589,512.50	\$ 46,589,524.50
3	2010	\$ 1,924,294.00	\$ 14.00	\$ 80.00	\$ 153,943,520.00	\$ 107,760,464.00	\$ 46,183,056.00	\$ 46,183,070.00
4	2011	\$ 1,663,988.00	\$ 16.00	\$ 85.00	\$ 141,438,980.00	\$ 99,007,286.00	\$ 42,431,694.00	\$ 42,431,710.00
5	2012	\$ 1,384,820.00	\$ 18.00	\$ 90.00	\$ 124,633,800.00	\$ 87,243,660.00	\$ 37,390,140.00	\$ 37,390,158.00
6	2013	\$ 1,104,041.00	\$ 20.00	\$ 95.00	\$ 104,883,895.00	\$ 73,418,726.50	\$ 31,465,168.50	\$ 31,465,188.50
7	2014	\$ 984,696.00	\$ 22.00	\$ 100.00	\$ 98,469,600.00	\$ 68,928,720.00	\$ 29,540,880.00	\$ 29,540,902.00

8	2015	\$ 942,696.00	\$ 24.00	\$ 105.00	\$ 98,983,080.00	\$ 69,288,156.00	\$ 29,694,924.00	\$ 29,694,948.00
9	2016	\$ 891,062.00	\$ 26.00	\$ 110.00	\$ 98,016,820.00	\$ 68,611,774.00	\$ 29,405,046.00	\$ 29,405,072.00
10	2017	\$ 887,329.00	\$ 28.00	\$ 115.00	\$ 102,042,835.00	\$ 71,429,984.50	\$ 30,612,850.50	\$ 30,612,878.50
<b><u>TOTAL: TABLA 5.12</u></b>								<b>\$ 379,355,573.50</b>

<b>TABLA 5.13</b> Proyección de ingresos a diez años con el sistema de protecciones propuesto								
tiempo de vida del proyecto	año	PRODUCCION ANUAL DE CRUDO SE INCREMENTA EN 30%	PRECIO DE PRODUCCION DEL BARRIL DE PETROLEO	PRECIO DE COMERCIALIZACION DEL BARRIL DE PETROLEO	INGRESOS TOTALES POR PRODUCCION ANUAL DE CRUDO	INGRESOS PARA EL ESTADO ECUATORIANO 70%	INGRESOS PARA LA EMPRESA REPSOL YPF 30%	INGRESOS TOTALES PARA REPSOL YPF
		# barriles/año	(USD)	(USD)	(USD)	(USD)	(USD)	(USD)
1	2008	3,469,274	\$ 10.00	\$ 70.00	\$ 242,849,152.00	\$ 169,994,406.40	\$ 72,854,745.60	\$ 72,854,755.60

2	200 9	2,691,839	\$ 12.00	\$ 75.00	\$ 201,887,887.50	\$ 141,321,521.2 5	\$ 60,566,366.25	\$ 60,566,378.25
3	201 0	2,501,582	\$ 14.00	\$ 80.00	\$ 200,126,576.00	\$ 140,088,603.2 0	\$ 60,037,972.80	\$ 60,037,986.80
4	201 1	2,163,184	\$ 16.00	\$ 85.00	\$ 183,870,674.00	\$ 128,709,471.8 0	\$ 55,161,202.20	\$ 55,161,218.20
5	201 2	1,800,266	\$ 18.00	\$ 90.00	\$ 162,023,940.00	\$ 113,416,758.0 0	\$ 48,607,182.00	\$ 48,607,200.00
6	201 3	1,435,253	\$ 20.00	\$ 95.00	\$ 136,349,063.50	\$ 95,444,344.45	\$ 40,904,719.05	\$ 40,904,739.05
7	201 4	1,280,105	\$ 22.00	\$ 100.00	\$ 128,010,480.00	\$ 89,607,336.00	\$ 38,403,144.00	\$ 38,403,166.00
8	201 5	1,225,505	\$ 24.00	\$ 105.00	\$ 128,678,004.00	\$ 90,074,602.80	\$ 38,603,401.20	\$ 38,603,425.20
9	201 6	1,158,381	\$ 26.00	\$ 110.00	\$ 127,421,866.00	\$ 89,195,306.20	\$ 38,226,559.80	\$ 38,226,585.80
10	201 7	1,153,528	\$ 28.00	\$ 115.00	\$ 132,655,685.50	\$ 92,858,979.85	\$ 39,796,705.65	\$ 39,796,733.65
<b><u>TOTAL: TABLA 5.13</u></b>								\$ <b>493,162,188.55</b>

## 5.4 ANALISIS DE PREFACTIBILIDAD DEL PROYECTO

Este análisis se realiza para proyectar los egresos e ingresos que conllevaría la implementación del presente Proyecto de Titulación. Los costos variables se proyectan mediante una tasa de crecimiento del **2.46%** anual. Este índice porcentual se obtuvo del reporte económico publicado en el año 2007 por el Banco Central del Ecuador.

<b>TABLA 5.14</b> Proyección de egresos a diez años			
AÑO	COSTO FIJO	COSTO VARIABLE*	COSTO TOTAL
	(USD)	2.46% anual (USD)	EGRESOS (USD)
1	\$ 4,045,694.68	\$ 450,000.00	\$ 4,495,694.68
2	\$ 4,045,694.68	\$ 461,070.00	\$ 4,506,764.68
3	\$ 4,045,694.68	\$ 472,412.32	\$ 4,518,107.00
4	\$ 4,045,694.68	\$ 484,033.67	\$ 4,529,728.34
5	\$ 4,045,694.68	\$ 495,940.89	\$ 4,541,635.57
6	\$ 4,045,694.68	\$ 508,141.04	\$ 4,553,835.71
7	\$ 4,045,694.68	\$ 520,641.31	\$ 4,566,335.98
8	\$ 4,045,694.68	\$ 533,449.09	\$ 4,579,143.76
9	\$ 4,045,694.68	\$ 546,571.93	\$ 4,592,266.61
10	\$ 4,045,694.68	\$ 560,017.60	\$ 4,605,712.28
<b><i>TOTAL: TABLA 5.14</i></b>			<b>\$ 45,498,224.60</b>

<b>TABLA 5.15</b> Proyección de ingresos a diez años			
AÑO	INGRESOS CON EL SISTEMA DE PROTECCIONES EXISTENTE	INGRESOS CON EL SISTEMA DE PROTECCIONES PROPUESTO	INGRESOS NETOS REPSOL YPF
	(USD)	(USD)	(USD)
1	\$ 56,042,122.00	\$ 72,854,755.60	\$ 16,812,633.60
2	\$ 46,589,524.50	\$ 60,566,378.25	\$ 13,976,853.75
3	\$ 46,183,070.00	\$ 60,037,986.80	\$ 13,854,916.80
4	\$ 42,431,710.00	\$ 55,161,218.20	\$ 12,729,508.20
5	\$ 37,390,158.00	\$ 48,607,200.00	\$ 11,217,042.00
6	\$ 31,465,188.50	\$ 40,904,739.05	\$ 9,439,550.55
7	\$ 29,540,902.00	\$ 38,403,166.00	\$ 8,862,264.00
8	\$ 29,694,948.00	\$ 38,603,425.20	\$ 8,908,477.20
9	\$ 29,405,072.00	\$ 38,226,585.80	\$ 8,821,513.80
10	\$ 30,612,878.50	\$ 39,796,733.65	\$ 9,183,855.15
<b><i>TOTAL: TABLA 5.15</i></b>			<b>\$ 113,806,615.05</b>



<b>TABLA 5.16</b> Flujos netos de caja de las Plataformas Tivacuno A/B			
AÑO	INGRESOS NETOS	EGRESOS NETOS	BENEFICIOS NETOS
	(USD)	(USD)	(USD)
1	\$ 16,812,633.60	\$ 4,495,694.68	\$ 12,316,938.93
2	\$ 13,976,853.75	\$ 4,506,764.68	\$ 9,470,089.08
3	\$ 13,854,916.80	\$ 4,518,107.00	\$ 9,336,809.80
4	\$ 12,729,508.20	\$ 4,529,728.34	\$ 8,199,779.86
5	\$ 11,217,042.00	\$ 4,541,635.57	\$ 6,675,406.43
6	\$ 9,439,550.55	\$ 4,553,835.71	\$ 4,885,714.84
7	\$ 8,862,264.00	\$ 4,566,335.98	\$ 4,295,928.02
8	\$ 8,908,477.20	\$ 4,579,143.76	\$ 4,329,333.44
9	\$ 8,821,513.80	\$ 4,592,266.61	\$ 4,229,247.19
10	\$ 9,183,855.15	\$ 4,605,712.28	\$ 4,578,142.87
<b><i>TOTAL: TABLA 5.16</i></b>			<b>\$ 68,317,390.45</b>

## 5.5 ANALISIS FINANCIERO DEL PROYECTO [22]

En la evaluación financiera del presente proyecto de titulación, se emplean cuatro métodos de matemática financiera, que permiten medir su factibilidad y rentabilidad, estos son los siguientes:

- ✓ Método del Valor Actual Neto (**VAN**),
- ✓ Método de la Tasa Interna de Retorno (**TIR**),
- ✓ Método de la relación Beneficio/Costo (**B/C**),
- ✓ Método del Periodo de Recuperación de capital (**PR**).

El análisis de estos métodos se realiza considerando las siguientes premisas:

- ✓ La unidad monetaria vigente en el Ecuador es el dólar (**USD**).
- ✓ El presente proyecto se lo realiza estimando una vida útil de **diez años**.
- ✓ La *Tasa de Retorno Mínima Aceptable (TRMA%)*, para proyectos de mejoramiento o equipamiento industrial es del **10%** anual.
- ✓ El factor de actualización para el cálculo del VAN, de la TIR y de la relación B/C es del **10%** anual.

Se definen las siguientes variables de análisis:

- $B_k$  = Beneficio neto para el k-esimo año,
- $R_k$  = Ingresos netos para el k-esimo año,
- $E_k$  = Egresos netos para el k-esimo año,
- $I_0$  = Inversión inicial,
- $N$  = Vida del proyecto o periodo de estudio,
- $i^*\%$  = Factor de actualización.
- $r\%$  = Factor de actualización.
- $i^*\%$  = Factor de actualización.

### 5.5.1 VALOR ACTUAL NETO (VAN).

Evalúa la rentabilidad de un proyecto mediante la diferencia matemática que existe entre todos sus ingresos y egresos expresados en moneda actual.

$$VAN = \sum_{k=0}^{k=N} B_k \cdot (1 + i^*)^{-k} - I_0 \quad (5.1)$$

$$B_k = R_k - E_k$$

Se dice que sí:  $VAN > 0$ , el proyecto es viable y rentable, caso contrario no lo es.

<b>TABLA 5.17</b> Calculo del VAN			
AÑO	FLUJO NETO	$(1 + i^*)^{-k}$	VALOR ACTUAL
	(USD)	$i^* = 0,10$	(USD)
0	\$ 4,238,358.80		(\$ 4,238,358.80)
1	\$ 12,316,938.93	0.91	\$ 11,197,217.20
2	\$ 9,470,089.08	0.83	\$ 7,826,519.90
3	\$ 9,336,809.80	0.75	\$ 7,014,883.40
4	\$ 8,199,779.86	0.68	\$ 5,600,559.98
5	\$ 6,675,406.43	0.62	\$ 4,144,902.19
6	\$ 4,885,714.84	0.56	\$ 2,757,858.65
7	\$ 4,295,928.02	0.51	\$ 2,204,490.34
8	\$ 4,329,333.44	0.47	\$ 2,019,666.00
9	\$ 4,229,247.19	0.42	\$ 1,793,613.66
10	\$ 4,578,142.87	0.39	\$ 1,765,072.26
<b><i>TOTAL: TABLA 5.17</i></b>			<b>\$ 46,324,783.59</b>
<b>VALOR ACTUAL NETO (VAN)</b>			<b>\$ 42,086,424.79</b>
<b>VAN &gt; 0</b>			<b>proyecto viable</b>

### 5.5.2 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR = I%).

Evalúa el proyecto en función de la tasa de interés más alta, por periodo, que el inversionista podría pagar sin perder dinero, con la cual, la totalidad de los beneficios actualizados son exactamente iguales a los desembolsos expresados en moneda actual.

$$\sum_{k=0}^{k=N} B_k \cdot (1+r)^{-k} - I_0 = 0 \quad (5.2)$$

$$B_k = R_k - E_k$$

\* Se dice que sí: **TIR > TRMA**, el proyecto es viable y rentable, caso contrario no lo es.

<b>TABLA 5.18</b> Calculo de la <b>TIR</b>			
AÑO	FLUJO NETO	$(1+r)^{-k}$	VALOR ACTUAL
	(USD)	$r = 0,10$	(USD)
0	\$ 45,489,224.60		<b>(\$ 45,489,224.60)</b>
1	\$ 12,316,938.93	0.91	\$ 11,197,217.20
2	\$ 9,470,089.08	0.83	\$ 7,826,519.90
3	\$ 9,336,809.80	0.75	\$ 7,014,883.40
4	\$ 8,199,779.86	0.68	\$ 5,600,559.98
5	\$ 6,675,406.43	0.62	\$ 4,144,902.19
6	\$ 4,885,714.84	0.56	\$ 2,757,858.65
7	\$ 4,295,928.02	0.51	\$ 2,204,490.34
8	\$ 4,329,333.44	0.47	\$ 2,019,666.00
9	\$ 4,229,247.19	0.42	\$ 1,793,613.66
10	\$ 4,578,142.87	0.39	\$ 1,765,072.26
<b><u>TOTAL: TABLA 5.18</u></b>			<b>\$ 46,324,783.59</b>
<b>TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)</b>			<b>12%</b>
<b>TIR &gt; TRMA (10%)</b>			<b>proyecto viable</b>

### 5.5.3 RELACIÓN BENEFICIO/COSTO (B/C).

Evalúa la rentabilidad de un proyecto mediante la relación matemática que existe entre todos sus ingresos y egresos expresados en moneda actual.

$$B/C = \frac{\sum_{k=0}^{k=N} R_k}{\sum_{k=0}^{k=N} E_k} \quad (5.3)$$

Se dice que sí:  $B/C > 1$ , el proyecto es viable y rentable, caso contrario no lo es.

TABLA 5.19 Calculo la relación B/C					
AÑO	INGRESOS ORIGINALES	EGRESOS ORIGINALES	$(1 + i')^k$	VALOR ACTUAL INGRESOS	VALOR ACTUAL EGRESOS
	(USD)	(USD)	$i' = 0,10$	(USD)	(USD)
0					
1	\$ 16,812,633.60	\$ 4,495,694.68	0.91	\$ 15,284,212.36	\$ 4,086,995.16
2	\$ 13,976,853.75	\$ 4,506,764.68	0.83	\$ 11,551,118.80	\$ 3,724,598.90
3	\$ 13,854,916.80	\$ 4,518,107.00	0.75	\$ 10,409,404.06	\$ 3,394,520.66
4	\$ 12,729,508.20	\$ 4,529,728.34	0.68	\$ 8,694,425.38	\$ 3,093,865.41
5	\$ 11,217,042.00	\$ 4,541,635.57	0.62	\$ 6,964,900.56	\$ 2,819,998.37
6	\$ 9,439,550.55	\$ 4,553,835.71	0.56	\$ 5,328,380.20	\$ 2,570,521.54
7	\$ 8,862,264.00	\$ 4,566,335.98	0.51	\$ 4,547,742.72	\$ 2,343,252.38
8	\$ 8,908,477.20	\$ 4,579,143.76	0.47	\$ 4,155,870.36	\$ 2,136,204.36
9	\$ 8,821,513.80	\$ 4,592,266.61	0.42	\$ 3,741,182.99	\$ 1,947,569.33
10	\$ 9,183,855.15	\$ 4,605,712.28	0.39	\$ 3,540,773.72	\$ 1,775,701.46
<b><i>TOTAL: TABLA 5.19</i></b>				<b>\$ 74,218,011.15</b>	<b>\$ 27,893,227.57</b>
<b>RELACION BENEFICIO/COSTO (RBC)</b>				<b>2.66</b>	
<b>B/C &gt; 1</b>				<b>proyecto viable</b>	

### 5.5.4 PERIODO DE RECUPERACIÓN DE CAPITAL (PRC).

Es el periodo de tiempo en el que vamos a recuperar el capital total invertido ( $E_k$ ) en el proyecto.

$$PRC = \frac{I_0}{E_k} \quad (5.4)$$

Se dice que sí:  $PRC < 1$ , el proyecto es viable y rentable, caso contrario no lo es.

TABLA 5.20 Cálculo del PRC		
AÑO	FLUJO NETO	
	(USD)	
0	\$ 4,238,358.80	
1	\$ 12,316,938.93	
2	\$ 9,470,089.08	
3	\$ 9,336,809.80	
4	\$ 8,199,779.86	
5	\$ 6,675,406.43	
6	\$ 4,885,714.84	
7	\$ 4,295,928.02	
8	\$ 4,329,333.44	
9	\$ 4,229,247.19	
10	\$ 4,578,142.87	
PERIODO DE RECUPERACION DE CAPITAL (PRC)		0.926
		EQUIVALENTE
		11 meses y 3 días laborables
PRC < 1		proyecto rentable

Se demuestra que el presente proyecto de inversión es rentable y el capital invertido en la adquisición de los nuevos dispositivos de protección se recupera en un periodo no mayor a **once meses y tres días laborables**.

## 6. DECISIÓN DE VIABILIDAD

De acuerdo a los resultados obtenidos en los diferentes análisis que conforman el estudio económico se determina que el proyecto **es viable**, ya que se cumplen los márgenes establecidos para su efecto.

## CAPITULO 6

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 CONCLUSIONES

- Al realizar el análisis de los flujos de carga en el sistema eléctrico existente, se observa que el flujo de corriente en el generador de energía G-TIV NPF (conjunto motor-generador del tipo Diesel de combustión interna), se encuentra cargado a un 23,9% de su capacidad máxima, lo cual puede afectar su funcionamiento mecánico. Según la Norma Americana **NFPA110-2005**, éste generador no debe trabajar por debajo del 30% de su capacidad máxima y de ser a si, se recomienda el uso de bancos de carga resistivos.
- El desfase en la generación se debe a que se esperaba una ampliación de redes subterráneas y de nuevas Plataformas, con lo cual se aumentaría la carga, pero éste incremento al final no se dio debido a problemas administrativos entre la compañía petrolera REPSOL YPF-Ecuador y el Estado ecuatoriano.
- Al realizar el análisis de flujos de carga se observa que los niveles de Voltaje en cada una de las barras del sistema eléctrico, se encuentran dentro de los rangos permisibles:  $0.95 < V_{p.u} < 1.05$  y  $-30^\circ < \theta < 30^\circ$ , lo cual indica que el sistema eléctrico opera adecuadamente de acuerdo a las recomendaciones de la Norma Americana **IEEE 141-1993**.
- Las elevadas corriente de arranque provocan un incremento de voltaje en las barras de los *Switchgears* y *MCCs*, el mismo que es corregido mediante el empleo de *variadores electrónicos de frecuencia (VFD)* para el arranque del conjunto motores-bombas electrosumergibles, con lo cual

se obtienen valores de caída de voltaje que están dentro del límite  $\pm 5\%$ , recomendado por la Norma Americana **ANSI C84.1-1995**.

- El sistema eléctrico actual y su sistema de protecciones, se encuentran operando normalmente, sin embargo, se mejoran sus dispositivos de protección, ya que están discontinuados en el mercado y encontrar un repuesto o realizarles un mantenimiento resulta muy costoso. Esto implica una paralización innecesaria de trabajos en el sitio, que se evita mediante la selección e implementación de los nuevos relés digitales (*GE Multilin, de modelo UR*).
- No se analizan fallas en las líneas, debido a que el sistema eléctrico para las Plataformas Tivacuno, es un sistema conformado por redes de distribución subterránea, con lo cual la posibilidad de la presencia de fallas es mínima y si se presentan, los relés digitales **UR-L90** de protección para las líneas, actuarán inmediatamente, ya que están calibrados y coordinados para detectar la mínima corriente de falla.
- La calibración de los relés digitales (*GE Multilin, de modelo UR*) se realiza considerando que el sistema eléctrico de las Plataformas Tivacuno es un sistema con redes subterráneas de configuración radial, para lo cual se utilizan relés de sobrecorriente no direccionales y se ajustan para proteger contra fallas entre las fases, ya que por ser un sistema subterráneo no es necesario proteger contra fallas a tierra. Éste es un criterio recomendado por las Normas Americanas **IEEE 666-1991, ANSI/IEEE 142-1991 y IEEE C37.90-2005**.
- Cada uno de los transformador de distribución como son: **TX1-TIV, TX2-TIV A y TX3-TIV B**, quedan totalmente protegidos contra fallas internas y externas, al implementar el relé digital **UR-T60**, el mismo que incorpora la función diferencial (**87T**) como una protección principal y para el caso de sobrecalentamiento del tanque con aceite, se protege con la función (**63T**) comúnmente conocida como protección *Buchholz*.

- Debido al alto costo económico que representa una reparación o compra de los transformadores como son: **TX1-TIV**, **TX2-TIV A** y **TX3-TIV B**, se ajustan a los relés **UR-L90** ubicados aguas arriba de los transformadores, para que funcionen como protección de respaldo en caso de la presencia de una falla. De igual forma se ajustan a los relés **UR-B30** ubicados aguas arriba de los motores de inducción, para que actúen como protección de respaldo.
- Las curvas Tiempo-Corriente de los *relés digitales GE Multilin de modelo UR*, se coordinan de tal forma que al simular una falla trifásica en las barras del sistema, estos relés vayan actuando selectivamente, dentro de sus zona de protección, respetando un margen de coordinación entre las curvas de **0.2** a **0.5** segundos, con lo cual se garantiza que el nuevo sistema protecciones presta la confiabilidad necesaria para una correcta operación del sistema eléctrico como sugiere la Norma Americana **IEEE Std C242-2001**.
- Al comparar las capacidades de cortocircuito de los fusibles que protegen a los motores de inducción (M1-TIVA, M2-TIV B) y las corrientes de cortocircuito que se presenta en los terminales de la línea que alimenta a estos motores, se observa que estos fusibles toleran y actúan adecuadamente ante la presencia de éstas corrientes de cortocircuito, ya que a si lo indica el análisis de coordinación realizado para estos motores.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en el estudio económico, se concluye que el presente proyecto de inversión es viable y el capital invertido en la adquisición de los nuevos dispositivos de protección se recupera en un periodo no mayor a **once meses y tres días laborables**, lo cual es ideal de acuerdo a la producción anual de crudo de las Plataformas Tivacuno A/B.



## 2 RECOMENDACIONES

- Es necesario que se respeten las zonas por donde se extienden las líneas subterráneas, ya que si los conductores eléctricos fueran lastimados por un agente externo, existe el riesgo de que tomen contacto con una persona y las protecciones no actuarían o si actúan, las mismas funcionarían después que se produzca efecto eléctrico en la persona.
- Durante la adquisición de los nuevos equipos de protección como son: equipos eléctricos de distribución (switchgears), dispositivos de seccionamiento automático (circuit breakers) y relés digitales (GE Multilin, de modelo UR), es importante solicitar al fabricante toda la información referente a su construcción y funcionamiento para realizar el montaje de los mismos; además de pedir las garantías en caso de mal funcionamiento.
- Es importante codificar los dispositivos de protección, para ubicarlos inmediatamente en caso de presentarse alguna eventualidad, para posteriormente dar soluciones, mediante normas y procedimientos.
- Es necesario realizar periódicamente el mantenimiento del nuevo Sistema de Protecciones, para verificar que se encuentra operando normalmente dentro de lo programado.
- Con la implantación de los nuevos relés digitales “GE Multilin” se hace necesario también un reordenamiento del *Sistema para Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA)* existente. De existir el presupuesto sería conveniente mejorarlo, esto permitiría aprovechar al máximo la potencialidad de dichos relés. Por ahora se planea adaptar el nuevo Sistema de Protecciones al SCADA existente.
- Es necesario implementar un sistema de gestión de calidad ISO 9001:2000 en las instalaciones de las Plataformas Tivacuno A/B, con el objetivo de investigar si existen o no otros factores que puedan repercutir en la producción normal de crudo (petróleo).

- Si a futuro se quiere incrementar más cargas o rediseñar el sistema eléctrico de distribución propuesto, deberán realizarse nuevamente los estudios planteados para el efecto, pues el presente proyecto quedaría caduco.
- Se recomienda realizar la instalación y calibración de los nuevos dispositivos de protección, con el personal calificado para realizar estos trabajos, con el fin de evitar contratiempos ocasionados por malas conexiones.
- Se recomienda realizar una capacitación en sitio al personal técnico, sobre el montaje, la operación y mantenimiento de los nuevos dispositivos de protección a implementarse, debido a que es una tecnología nueva que servirá de gran ayuda al momento de presentarse alguna contingencia, que desde luego en éste tipo de equipos es muy remota, pero que no puede ser considerada como imposible.
- Finalmente, se recomienda a los catedráticos y autoridades de la carrera de Ingeniería Eléctrica, realizar las gestiones necesarias para actualizar y equipar al laboratorio de protecciones eléctricas con modernos dispositivos de protección, así como de la adquisición de paquetes computacionales especializados en el diseño y desarrollo de sistemas eléctricos simples o complejos. Esto permitirá formar profesionales con conocimientos acorde a los requerimientos del mundo laboral moderno.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] MENA LASLUIZA Pablo O; Coordinación de Protecciones en Sistemas Industriales; Tesis de Grado. EPN. Quito, Ecuador. 1981.
- [2] YANEZ TIMBILA Freddy J; Determinación de la capacidad de ruptura en dispositivos de corte para bajo voltaje; Tesis de Grado. EPN. Quito, Ecuador. 2006.
- [3] MARIN VELASTEGUI Alexander Mauricio; Estudio y Coordinación de Protecciones para Petroproducción usando relés digitales; Tesis de Grado. EPN. Quito, Ecuador. 2003.
- [4] BRAND Luis C; MONCADA Juan A; Protecciones de Sistemas Eléctricos; Primera Edición. Ed. Quito, Ecuador. 2002.
- [5] HENRIQUEZ HARPER Gilberto; Protección de Instalaciones Eléctricas Industriales y Comerciales; Segunda Edición. Limusa S.A. Mexico, D.F. 2003.
- [6] ARROYO ARANA Carlos; Protección de Fallas a Tierra en Sistemas de Distribución; Primera Edición. Lima, Perú. 1998.
- [7] INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING "IEEE"; Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants (IEEE Red Book). IEEE 141-1993.
- [8] STANDARD FOR EMERGENCY AND STANDBY POWER SYSTEMS. NFPA 110-2005.
- [9] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION "IEC"; A.C. metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV. (IEC 60298:1990 + Corrigendum 1995 + A1:1994).

- [10] INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING; "IEEE"; Standard for Relays and Relay Systems Associated with Electric Power Apparatus. IEEE C37.90-2005.
- [11] AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE "ANSI" AND INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING "IEEE"; Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power. ANSI/IEEE 142-1991.
- [12] AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE "ANSI"; Electric Power Systems and Equipment – Voltage Ratings (60 Hz). ANSI C84.1-1995.
- [13] AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE "ANSI" AND NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION "NEMA"; Motors and Generators. ANSI/NEMA MG1-2003.
- [14] INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING; "IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems". IEEE Std C242-2001.
- [15] AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE "ANSI" AND INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING "IEEE"; Guide for AC Generator Protection. ANSI/IEEE C37.102-1995.
- [16] AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE "ANSI" AND INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING "IEEE"; Standard Inverse – Time Characteristic Equation for Overcurrent Relays. ANSI/IEEE C37.112-1996.
- [17] SCHNEIDER ELECTRIC S.A.; La Selectividad Energética BT; Versión Española. 1994.
- [18] SCHNEIDER ELECTRIC S.A.; Protección de las Máquinas y de las Redes Industriales de AT; Versión Española. 1991.

- [19] SCHNEIDER ELECTRIC S.A.; Protecciones Eléctricas en MT; Versión Española. 2003.
- [20] SCHNEIDER ELECTRIC S.A.; Puésta a Tierra del Neutro en una Red Industrial de MT; Versión Española. 2000.
- [21] CLARE Engineers Relay Handbook; Ventajas de los Relés de Estado Solido respecto a los Relés Electromecanicos; Milwaukee. Wisconsin. USA. 1996.
- [22] CATALOGO RELÉS DIGITALES MULTILIN DE GENERAL ELECTRIC.
- [23] SAPAG CHAIN Nassir; Preparación y Evaluación de Proyectos; Tercera Edición. Bogotá, Colombia. 1995.
- [24] <http://techstreet.com/>

---

# A N E X O S

---

# **ANEXO A**

**MANUAL DEL SOFTWARE ELECTRICAL TRANSIENT  
ANALYZER PROGRAM “ETAP POWER STATION”, DIRIGIDO AL  
ESTUDIO DE CORTOCIRCUITOS, ARRANQUE DE MOTORES Y  
COORDINACION DE PROTECCIONES ELECTRICAS**

## A.1 INTRODUCCION

Con la finalidad de optimizar tiempo y dinero, en la actualidad las Industrias y Empresas Eléctricas, están equipándose de hardware y software, que sirven como una herramienta de trabajo, dirigida al desarrollo de la ingeniería de Proyectos, Supervisión y Control de Sistemas Eléctricos.

El presente anexo presenta un manual básico que describe las principales características y herramientas del Software “**ETAP PowerStation**”, centrándonos en la simulación, cálculo, gráficas y reporte de resultados, de los siguientes estudios como son: Flujos de potencia, cortocircuitos, arranque de motores y coordinación de protecciones eléctricas.

## A.2 DEFINICION DEL SOFTWARE ETAP

El **ETAP PowerStation** (*Electrical Transient Analyzer Program*) es un Software especializado en desarrollo de procesos de Ingeniería Eléctrica, que presenta soluciones de análisis transitorio y gráfico de Sistemas Eléctricos de Potencia o Distribución.<sup>(1)</sup>

Este Software permite desarrollar estudios de ingeniería sobre:

- ✓ Flujo de Carga.
- ✓ **Cortocircuito.**
- ✓ **Arranque de Motores.**
- ✓ Estabilidad Transitoria.
- ✓ **Coordinación de Protecciones.**
- ✓ Capacidad Amperimétrica de Cables.
- ✓ Flujo de Carga Armónico.
- ✓ Diseño de Puésta a Tierra.



### A.3 CARACTERÍSTICAS DEL SOFTWARE “ETAP POWER STATION”

Éste Software es muy amplio, entonces para efectos de estudio presentamos las principales características:

- ✚ Crear proyectos de trabajo y organizar la base de datos del mismo. Cada proyecto suministra las herramientas y soportes necesarios para crear y modelar y analizar diagramas unifilares del sistema eléctrico en análisis, de acuerdo a los requerimientos del usuario.
- ✚ Desarrollar estudios de flujo de carga AC y DC, cortocircuito, arranque de motores, armónicos, estabilidad transitoria, coordinación de protecciones, capacidad amperimétrica de cables, descarga de baterías, entre otros.
- ✚ Adicionalmente, el **ETAP PowerStation** posee una librería (ej: parámetros de cables, motores, etc.) que es fácilmente accesible desde la base de datos, la cual es expandible o ajustable a los requerimientos del usuario.
- ✚ Una vez que se crea un Proyecto, el ETAP presenta un Editor del Proyecto el cual consiste de una presentación gráfica en forma de árbol que muestra: presentaciones, casos estudiado, librerías de elementos componentes del sistema.

### A.4 NORMAS ELECTRICAS QUE EMPLEA EL “ETAP POWER STATION”

Para el desarrollo de sus procesos de trabajo el “**ETAP PowerStation**” emplea las siguientes Normas Eléctricas Internacionales:

**ANSI** : American National Standard Institute

**IEEE** : Institute of Electrical and Electronics Engineers

**IEC** : Internacional Electrotechnical Comision

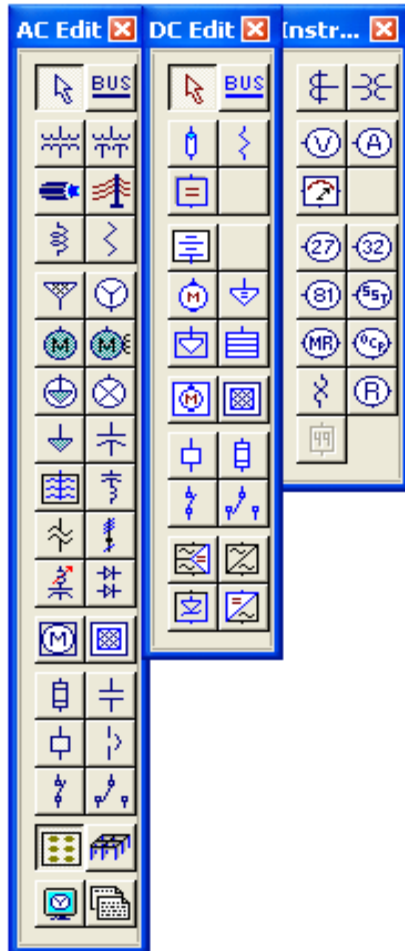
## A.5 CREANDO EL SISTEMA ELECTRICO DE ESTUDIO

Los pasos para crear el Sistema eléctrico de distribución de las Plataformas Tivacuno A/B en el **ETAP PowerStation**, son los siguientes:

- 1). Se abre un nuevo Proyecto de **ETAP Power Station**.
- 2). Se activa el módulo “**Edit**” que se encuentra en la barra de herramientas **Mode**, haciendo **click** sobre éste módulo.



Se despliega un sub-menú de herramientas **AC, DC Edit**.



- 3). Se empieza a dibujar el diagrama unifilar con sus elementos de medición y protección (sin ajustes), seleccionando en la barra de herramientas AC Edit, un elemento Power Grid (Sistema equivalente) haciendo un **click**.
- 4). En la ventana de edición del diagrama unifilar en estudio, se hace **click** en cualquier parte de la ventana para insertar el elemento Power Grid.
- 5). Siguiendo el mismo procedimiento se insertan todos los elementos del Sistema Eléctrico de Distribución que se quiere analizar.
- 6). Para definir otra **Barra (Bus2)**, se debe extender la barra insertada, para que aparezca como Bus2, colocando el puntero del mouse en cualquier extremo de la barra, hasta que aparezca una flecha doble. Luego se hace **click** y arrastra hasta la longitud deseada.

- 7). Para conectar los elementos Power Grid, se coloca el puntero del mouse en el pin de conexión de un elemento, y se pondrá de color rojo. Luego, se hace **click** y se arrastra hasta el pin de conexión del otro elemento. En el caso de las barras, desde el pin, hasta un punto sobre la barra (Bus).
- 8). Se puede acceder a la ventana de información de cualquier elemento del Sistema Eléctrico de Distribución creado, haciendo doble **click** sobre el elemento que se quiera. Al acceder a ésta ventana, se puede mirár, agregar o modificar los datos. Se puede ingresar datos manualmente sólo en campos con fondo blanco.
- 9). También se puede manipular la orientación y apariencia de los elementos, haciendo **click** derecho en un elemento del diagrama unifilar, aparecerá una lista de opciones, para seleccionar de acuerdo a las necesidades.

## A.6 PROCEDIMIENTO PARA CALCULAR LAS CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO

En ésta sección se explica la manera de emplear el “**ETAP Power Station**”, módulo “**Short Circuit Analysis**”, para realizar el cálculo de las **corrientes de cortocircuito** en las diferentes barras del diagrama unifilar propuesto.

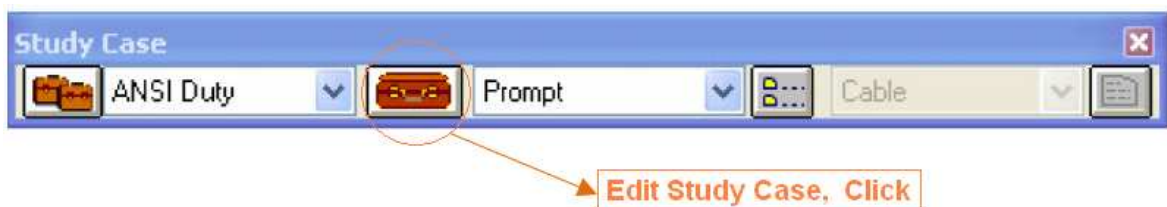
- 1). Una vez dibujado el diagrama unifilar, se activa el módulo “**Short Circuit Analysis**” que se encuentra en la barra de herramientas **Mode**, haciendo **click** sobre éste módulo.



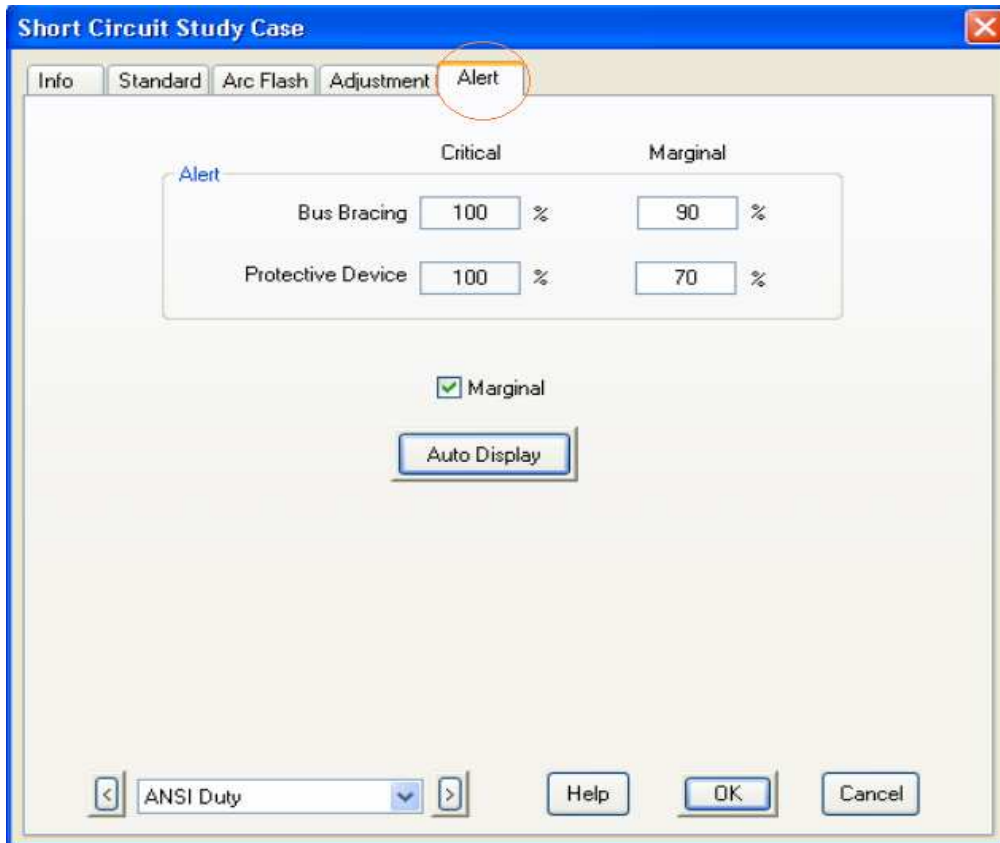
Se despliega un sub-menú de herramientas **ANSI Short Circuit** (ANSI/IEEE).



- 2). En la barra de herramientas Study Case, se hace **click** en el botón **Edit Study Case**. Esto abre el editor **Short Circuit Study Case**, que permite cambiar los criterios y opciones de cálculo. En la ventana **Info**, se selecciona una barra o varias barras que estén defectuosas. Se hace **click** en todas las barras, excepto **Sub 3** y seleccionar **~Fault>>** para colocarlas en la categoría **Don't Fault Sub 3**. Ahora aparece sólo en la categoría **Fault**, se hace **click** en **OK** cuando se termina.



- 3). En la barra de herramientas **ANSI Short Circuit Toolbar**, se selecciona el botón **duty (Run 3-Phase Device Duty)**, para correr un estudio (**duty**) de cortocircuito.
  - ✓ Existen otros cuatro tipos de estudios además del **duty**, que se pueden llevar a cabo bajo la configuración estándar **ANSI**. Los métodos **ANSI** están predeterminados para estudios de cortocircuito, pero se pueden cambiarse en el editor **Short Circuit Study Case**.
  - ✓ Además, se puede realizar otros tres estudios según el conjunto de estándares **IEC**.
  - ✓ Una vez que se corre el estudio **duty**, la **ventana de edición** donde se encuentra el diagrama unifilar mostrará los resultados del cálculo de **Device Duty Short Circuit**. Se pueden modificar los resultados en la **ventana de edición**, al cambiar las configuraciones de cortocircuito en **Display Options**.
- 4). Se selecciona el botón **Alert View** en la barra de herramientas **ANSI Short Circuit Toolbar** para ver los dispositivos señalizados.
- 5). Para ver o modificar las configuraciones de alarma, se abre el editor **Short Circuit Study Case** en la ventana **Alert**. Se activa la casilla **Marginal** y se cambia el límite a 70%. Luego se activa la casilla **Auto Display** y se hace **click** en **OK**. Cuando se ha activado la casilla **Marginal**, todos los dispositivos que han excedido éste límite, pero que permanecen bajo un 100% aparecerán en **Alert View** en la categoría **Marginal**. Los dispositivos que han excedido el 100% siempre serán señalados y aparecerán en la categoría **Critical** de **Alert View**.



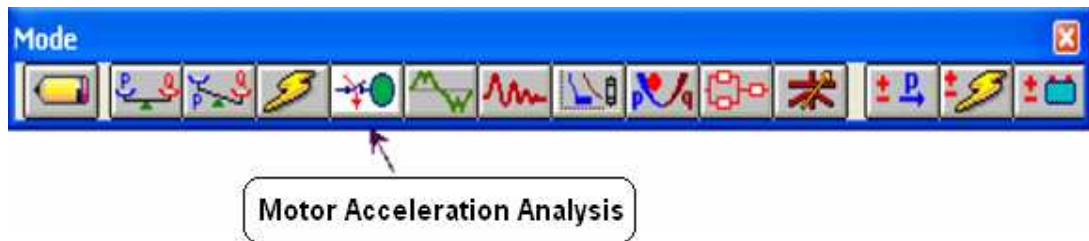
- 6). Finalmente se mirará el reporte de resultados de cortocircuitos del Sistema Eléctrico en análisis. Se hace doble **click** en el botón **Report Manager**.

## A.7 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR EL ARRANQUE DE UNO O MÁS MOTORES Y CREAR SOLUCIONES GRÁFICAS DE CURVAS TIEMPO-ACELERACION

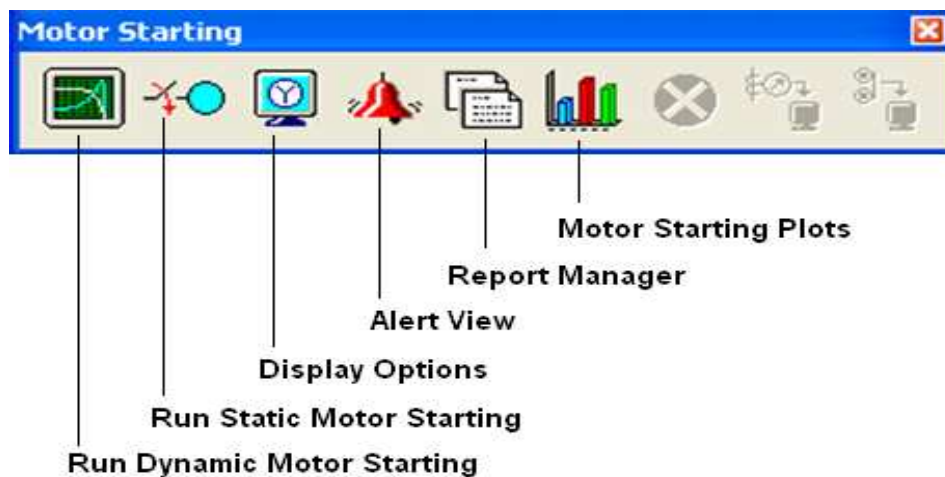
En ésta sección se explica la forma de utilizar el módulo **Motor Acceleration Analysis**, del “**ETAP Power Station**”, para crear curvas de salida de arranque de motores y cómo manipular éstas desde un diagrama unifilar existente.

Para arrancar uno o un conjunto de motores y crear sus curvas **Tiempo-Aceleración**, se siguen los siguientes pasos:

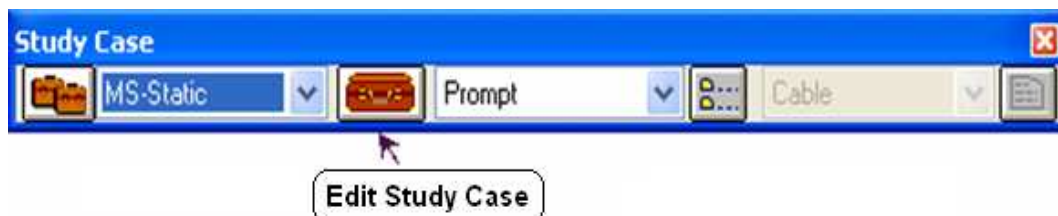
- 1). Una vez dibujado el diagrama unifilar, se activa el módulo **Motor Acceleration Analysis** que se encuentra en la barra de herramientas **Mode**, haciendo **click** sobre éste módulo.



Se despliega un sub-menú de herramientas **Motor Starting** (ANSI/IEEE).



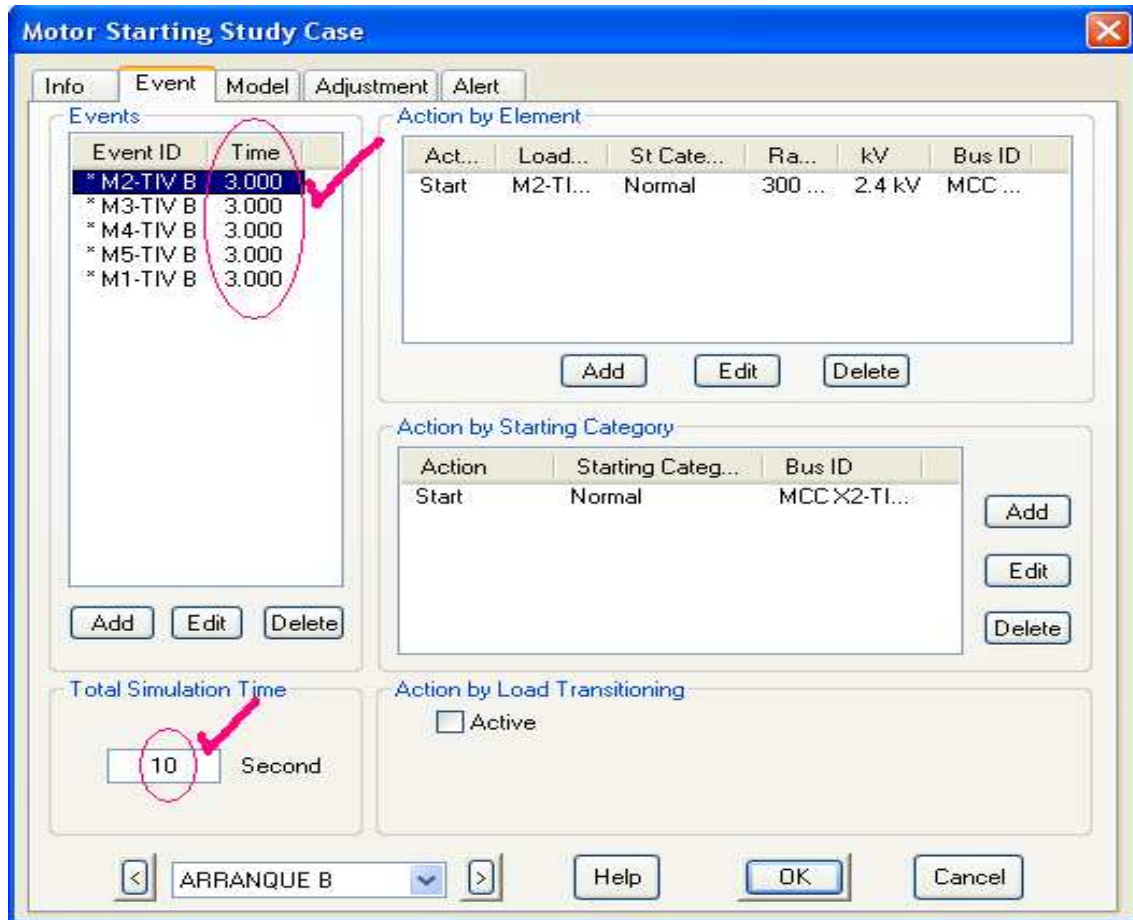
- 2). En la barra de herramientas **Study Case**, se abre el editor **Motor Starting Study Case**. Desde allí, se puede agregar y modificar las condiciones para el estudio del arranque de motores.



- 3). En la página **Event**, se cambia el **Total Simulation Time** a 10 segundos. Así los gráficos de salida ilustran los resultados en una escala entre 0 y 10 segundos. Se agrega una cantidad ilimitada de eventos para simular acciones y maniobras en una simulación del arranque de un motor. Se

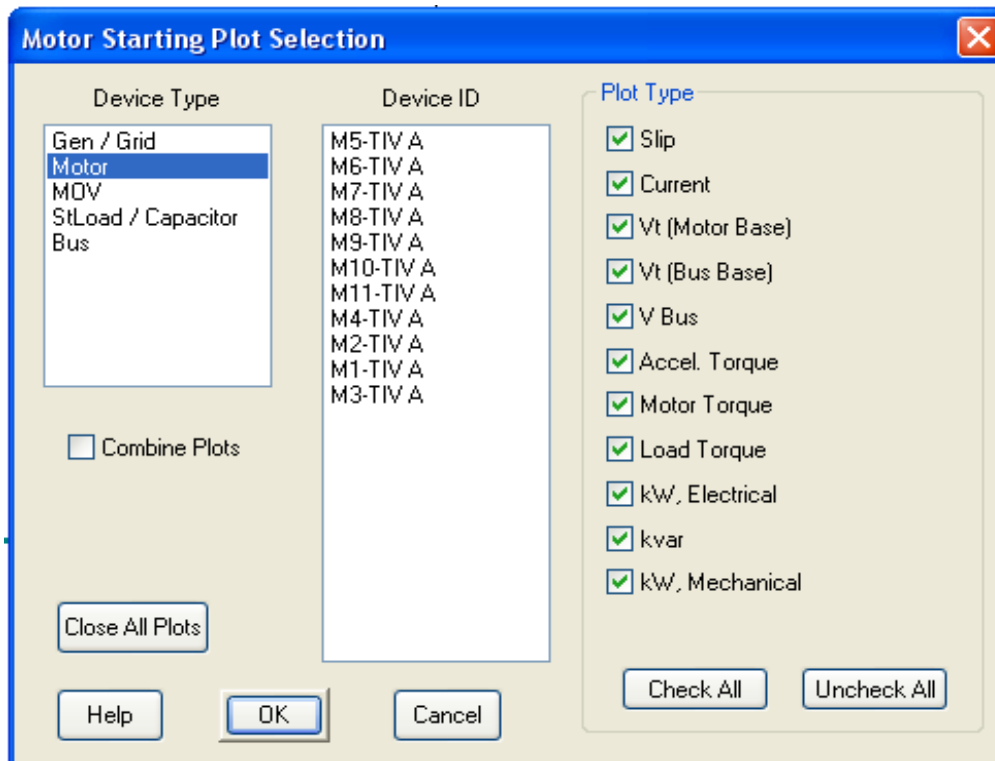


puede iniciar o apagar cargas individuales o grupos categorizados de los motores con las características **Action by Load Transitioning** y **Action by Starting Category**, haciendo **click** en cada opción respectivamente.



- 4). En la página **Event**, se agrega un o varios eventos y haciendo **click** en el botón **Add**. Las acciones que se producen en cada **tiempo de evento** (menor al tiempo Total de 10s), se pueden agregar, modificar o borrar seleccionando el evento y modificando el respectivo encabezado de **Action** (*by Element, by Starting Category, by Load Transitioning*). Se hace **click** en **OK** para guardar los cambios que realice.
- 5). Se puede correr un estudio **Dynamic Motor Starting**. Se hace **click** en el botón **Run Dynamic Motor Starting**. Se simula con la herramienta **Motor Starting Plots** para crear gráficos generados como resultado del estudio del arranque de motores. Se hace doble **click** en la siguiente herramienta:

- 6). Aparecerá la ventana Motor Starting Plot Selection para que pueda elegir los gráficos que se mostrarán. Seleccione los gráficos que desea ver o haga **click** en OK para mostrar todos los gráficos.

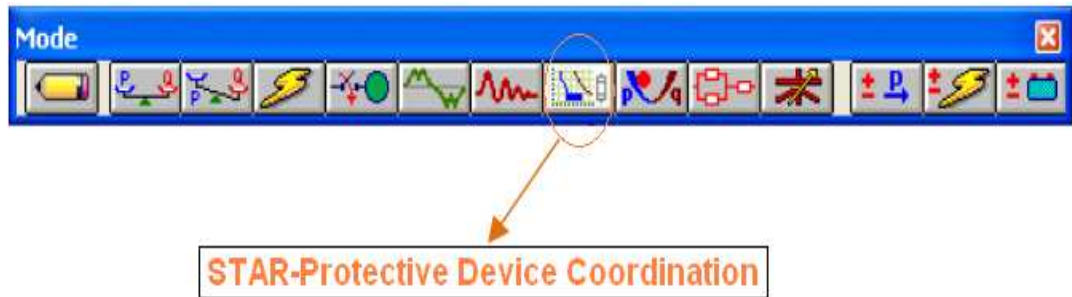


- 7). Finalmente se mirará el reporte de resultados obtenidos al realizar el arranque de cada uno de los motores. Se hace **click** en el botón **Report Manager**.

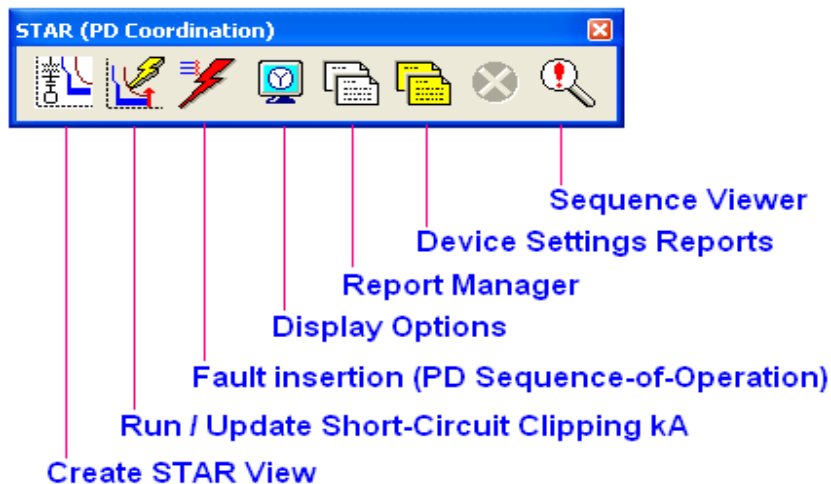
## A.8 PROCEDIMIENTO PARA COORDINAR PROTECCIONES Y CREAR SOLUCIONES GRÁFICAS DE CURVAS TIEMPO-CORRIENTE (STAR TCC VIEW).

En ésta sección se explica la forma de emplear el módulo **Star-Protective Device Coordination**, del "ETAP Power Station", para crear curvas **Star TCC View** y manipularlas desde un diagrama unifilar existente, se siguen los siguientes pasos:

- a. Una vez dibujado el diagrama unifilar, se activa el módulo **Star-Protective Device Coordination**, que se encuentra en la barra de herramientas **Mode**, haciendo **click** sobre éste módulo.

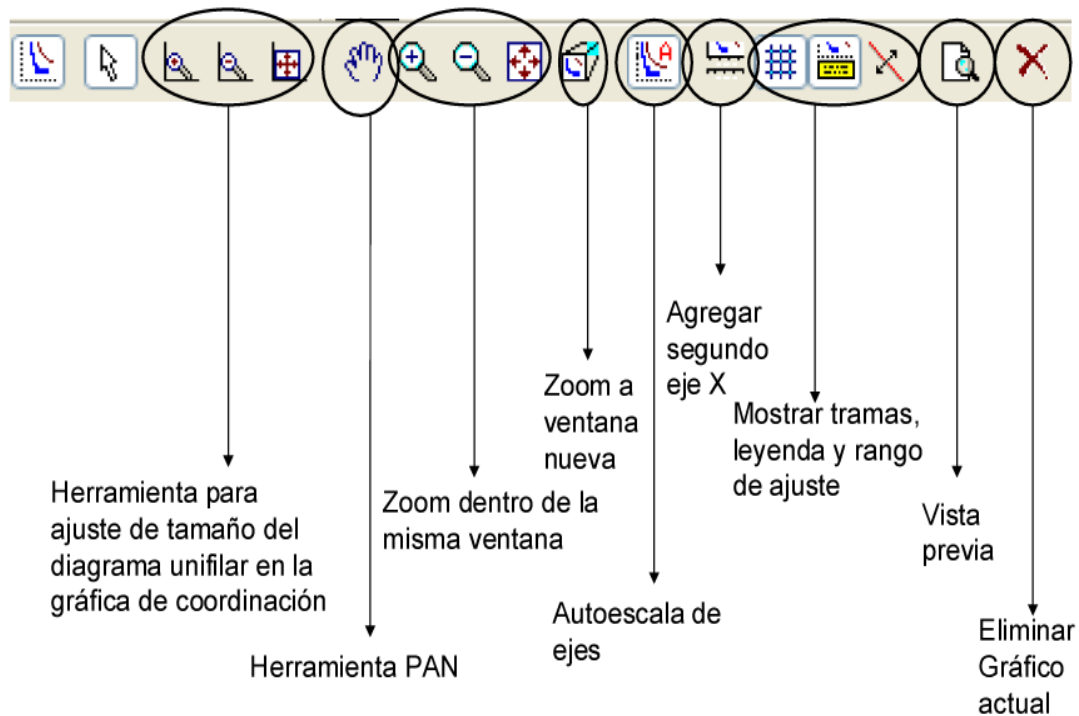


Se despliega un sub-menú de herramientas **STAR (PD Coordination)**.



- b. Se realiza la inserción de una falla trifásica en la barra del sistema eléctrico en análisis, con la finalidad de calcular las corrientes de falla. Se hace **click** en el botón **Fault insertion**. Éste mismo proceso se repite para las otras barras del sistema.
- c. Se mirá la secuencia de operación de los dispositivos de protección, verificando que actúen de forma selectiva. Se hace **click** en el botón **Sequence Viewer**.
- d. Se selecciona una zona o parte del diagrama unifilar del sistema eléctrico de distribución, al cual se quiere realizar la coordinación de protecciones eléctricas. La selección de ésta zona o subsistema presionando con el **cursor** hasta marcar lo que se necesita coordinar, quedara pintado en color rojo.

- e. Se simula con la herramienta para crear gráficos tiempo-corriente, y así coordinar las protecciones del sub-sistema seleccionado. Se hace **click** en el botón **Create STAR View**. Éste mismo proceso se repite para las otras zonas del sistema.
- f. Se puede editar el grafico tiempo-corriente de acuerdo a las necesidades del usuario, mediante la siguiente barra de herramientas:



- g. Finalmente se mirará el reporte de resultados y ajustes de los dispositivos de protección. Se hace **click** en el botón **Report Manager** y/o con **Device Settings Reports**.

# **ANEXO B**

**FUNSIONES DE PROTECCION SEGUN LA NUMERACION  
ANSI / IEEE**

## B.1 DEFINICIONES

- (1) **Elemento principal**, es el dispositivo de iniciación, tal como el interruptor de control, relé de voltaje, interruptor de flotador, etc., que sirve para poner el aparato en operación o fuera de servicio, bien directamente o a través de dispositivos, tales como relés de protección con retardo.
- (2) **Relé de cierre o arranque temporizado**, es el que da la temporización deseada entre operaciones de una secuencia automática o de un sistema de protección, excepto cuando es proporcionado específicamente por los dispositivos 48, 62 y 79 descritos más adelante.
- (3) **Relé de comprobación o de bloqueo**, es el que opera en respuesta a la posición de un número de condiciones determinadas, en un equipo para permitir que continúe su operación, para que se pare o para proporcionar una prueba de la posición de estos dispositivos o de éstas condiciones para cualquier fin.
- (4) **Contacto principal**, es un dispositivo generalmente mandado por el dispositivo N° 1 o su equivalente y los dispositivos de permiso y protección necesarios, y sirve para cerrar y abrir los circuitos de control necesarios para reponer un equipo en marcha, bajo las condiciones deseadas o bajo otras condiciones anormales.
- (5) **Dispositivo de parada**, es aquel cuya función primaria es quitar y mantener un equipo fuera de servicio.
- (6) **Interruptor de arranque**, es un dispositivo cuya función principal es conectar la máquina a su fuente de voltaje de arranque.
- (7) **Interruptor de ánodo**, es el utilizado en los circuitos del ánodo de un rectificador de potencia, principalmente para interrumpir el circuito rectificador por retorno del encendido de arco.

- (8) Dispositivo de desconexión de energía de control**, es un dispositivo de desconexión (tal como un conmutador de cuchilla, interruptor o bloque de fusibles extraíbles) que se utiliza con el fin de conectar y desconectar, respectivamente, la fuente de energía de control hacia y desde la barra o equipo de control.
- (9) Dispositivo de inversión**, es el que se utiliza para invertir las conexiones del campo de una máquina o bien para otras funciones especiales de inversión.
- (10) Conmutador de secuencia**, es el que se utiliza para cambiar la secuencia de conexión o desconexión de unidades de un equipo de unidades múltiples.
- (11) Reservado para aplicaciones futuras.**
- (12) Dispositivo de exceso de velocidad**, es normalmente un interruptor de velocidad de conexión directa que actúa cuando la máquina embala.
- (13) Dispositivo de velocidad síncrona**, es el que funciona con aproximadamente la velocidad normal de una máquina, tal como un conmutador de velocidad centrífuga, relés de frecuencia de deslizamiento, relé de voltaje, relé de intensidad mínima o cualquier tipo de dispositivo similar.
- (14) Dispositivo de falta de velocidad**, es el que actúa cuando la velocidad de la máquina desciende por debajo de un valor predeterminado.
- (15) Dispositivo regulador de velocidad o frecuencia**, de una máquina o sistema a un cierto valor o bien entre ciertos límites
- (16) Reservado para aplicaciones futuras.**
- (17) Conmutador para puentear el campo serie**, sirve para abrir y cerrar un circuito en shunt entre los extremos de cualquier pieza o aparto (excepto una resistencia) tal como el campo de una máquina un condensador o una reactancia.

Nota.- Eso incluye los dispositivos que realizan las funciones de shunt necesarias para arrancar una máquina por los dispositivos 6 ó 42, su equivalente, y también excluye la función del dispositivo 73 que sirve para la operación de las resistencias.

- (18) **Dispositivo de aceleración o declaración**, es el que se utiliza para cerrar o hacer cerrar los circuitos que sirven para aumentar o disminuir la velocidad de una máquina.
- (19) **Contactos de transición de arranque a marcha normal**. Su función es hacer las transferencias de las conexiones de alimentación de arranque a las de marcha normal de la máquina.
- (20) **Válvula maniobrada eléctricamente**, es una válvula accionada por solenoide o motor, que se utiliza en circuitos de vacío, aire, gas, aceite, agua o similares.
- (21) **Relé de distancia**, es el que funciona cuando al admitancia, impedancia o reactancia del circuito disminuyen o aumentan a unos límites preestablecidos.
- (22) **Interruptor igualador**, sirve para conectar y desconectar las conexiones para actualización de intensidad para los reguladores de campo de la máquina o de voltaje de la máquina, en una instalación de unidades múltiples.
- (23) **Dispositivo regulador de temperatura**, es el que funciona para mantener la temperatura de la máquina u otros aparatos dentro de ciertos límites.
- (24) **Relé de sobreexcitación**, es un relé que funciona cuando la relación V/Hz (voltaje/frecuencia) excede un valor pre ajustado. El relé puede tener una característica temporizada o instantánea.
- (25) **Relé de sincronización o puésta en paralelo**, es el que funciona cuando dos circuitos de alterna están dentro de los límites deseados de voltaje, frecuencia o ángulo de fase, lo cual permite o causa la puésta en paralelo de estos circuitos.



- (26) **Dispositivo térmico**, es el que funciona cuando la temperatura del campo en shunt, o el bobinado amortiguador de una máquina, o el de una resistencia de limitación de carga o de cambio de carga, o de un líquido u otro medio, excede de un valor determinado con anterioridad.
- (27) **Relé de mínimo voltaje**, es el que funciona al descender el voltaje de un valor predeterminado.
- (28) **Detector de llama**, su función es detectar la existencia de llama en el piloto o quemador principal, por ejemplo de una caldera o una turbina de gas.
- (29) **Contactador de aislamiento**, es el que se utiliza con el propósito especial de desconectar un circuito de otro, por razones de maniobra de emergencia, conservación o prueba.
- (30) **Relé anunciador**, es un dispositivo de reposición no automática que da un número de indicaciones visuales independientes al accionar el dispositivo de protección y además también puede estar dispuesto para efectuar la función de bloqueo.
- (31) **Dispositivo de excitación separada**, es el que conecta un circuito, tal como el campo shunt de una conmutatriz, a la fuente de excitación separada durante el proceso de arranque, o bien se utiliza para energizar la excitación y el circuito de encendido de un rectificador.
- (32) **Relé direccional de potencia**, es el que funciona sobre un valor deseado de potencia en una dirección dada o sobre la inversión de potencia como por ejemplo, la resultante del retroceso del arco en los circuitos de ánodo o cátodo de un rectificador de potencia.
- (33) **Conmutador de posición**, es el que hace o abre contacto cuando el dispositivo principal o parte del aparato, que no tiene un número funcional de dispositivo, alcanza una posición dada.
- (34) **Conmutador de secuencia movido a motor**, es un conmutador de contactos múltiples el cual fija la secuencia de operación de los dispositivos principales

durante el arranque y la parada, o durante otras operaciones que requieran una secuencia.

- (35) **Dispositivo de cortocircuito de las escobillas o anillos rozantes**, es para elevar, bajar o desviar las escobillas de una máquina, o para cortocircuitar los anillos rozantes.
- (36) **Dispositivo de polaridad**, es el que acciona o permite accionar a otros dispositivos con una polaridad solamente,
- (37) **Relé de baja intensidad o baja potencia**, es el que funciona cuando la intensidad o la potencia caen por debajo de un valor predeterminado.
- (38) **Dispositivo térmico de cojinetes**, es el que funciona con temperatura excesiva de los cojinetes.
- (39) **Detector de condiciones mecánicas**, es el que tiene por cometido funcionar en situaciones mecánicas anormales (excepto las que suceden a los cojinetes de una máquina, tal y como se escoge en la función 38), tales como vibración excesiva, excentricidad, etc.
- (40) **Relé de campo**, es el que funciona por un valor dado, anormalmente bajo, por fallo de la intensidad de campo de la máquina, o por un valor excesivo del valor de la componente reactiva de la corriente de armadura en una máquina de c.a., que indica excitación del campo anormalmente baja.
- (41) **Interruptor de campo**, es un dispositivo que funciona para aplicar o quitar la excitación de campo de una máquina.
- (42) **Interruptor de marcha**, es un dispositivo cuya función principal es la de conectar la máquina a su fuente de voltaje de funcionamiento en marcha, después de haber sido llevada hasta la velocidad deseada desde la conexión de arranque.
- (43) **Dispositivo de transferencia**, es un dispositivo accionado a mano, que efectúa la transferencia de los circuitos de control para modificar el proceso

de operación del equipo de conexión de los circuitos o de algunos de los dispositivos.

- (44) **Relé de secuencia de arranque del grupo**, es el que funciona para arrancar la unidad próxima disponible en un equipo de unidades múltiples cuando falta o no ésta disponible la unidad que normalmente precede.
- (45) **Detector de condiciones atmosféricas**. Funciona ante condiciones atmosféricas anormales, como humos peligrosos, gases explosivos, fuego, etc.
- (46) **Relé de intensidad para equilibrio o inversión de fases**, es un relé que funciona cuando las intensidades polifásicas están en secuencia inversa o desequilibrada o contienen componentes de secuencia negativa.
- (47) **Relé de voltaje para secuencia de fases**, es el que funciona con un valor dado de voltaje polifásica de la secuencia de fase deseada.
- (48) **Relé de secuencia incompleta**, es el que vuelve al equipo a la posición normal o “desconectado” y lo enclava si la secuencia normal de arranque, funcionamiento o parada no se completa debidamente dentro de un intervalo predeterminado.
- (49) **Relé térmico para máquina, aparato o transformador**, es el que funciona cuando la temperatura de la máquina, aparato o transformador excede de un valor fijado.
- (50) **Relé instantáneo de sobre intensidad o de velocidad de aumento de intensidad**, es el que funciona instantáneamente con un valor excesivo de velocidad de aumento de intensidad.
- (51) **Relé de sobrecorriente temporizado**, es un relé con una característica de tiempo inverso o de tiempo fijo que funciona cuando la intensidad de un circuito de c.a. sobrepasa un valor dado.

- (52) **Interruptor de c.a.** es el que se usa para cerrar e interrumpir un circuito de potencia de c.a. bajo condiciones normales, o para interrumpir éste circuito bajo condiciones de falta de emergencia.
- (53) **Relé de la excitatriz o del generador de c.c.** es el que fuerza un campo de la máquina de c.c. durante el arranque o funciona cuando la voltaje de la máquina ha llegado a un valor dado.
- (54) **Reservado para aplicaciones futuras.**
- (55) **Relé de factor de potencia**, es el que funciona cuando el factor de potencia de un circuito de c.a. no llega o sobrepasa un valor dado.
- (56) **Relé de aplicación del campo**, es el que se utiliza para controlar automáticamente la aplicación de la excitación de campo de un motor de c.a. en un punto predeterminado en el ciclo de deslizamiento.
- (57) **Dispositivo de cortocircuito o de puesta a tierra**, es el que funciona debido al fallo de uno o más de los ánodos del rectificador de potencia, o por el fallo de un diodo por no conducir o bloquear adecuadamente.
- (58) **Relé de fallo de rectificador de potencia**, es el que funciona debido al fallo de uno o más de los ánodos del rectificador de potencia, o por el fallo de un diodo por no conducir o bloquear adecuadamente.
- (59) **Relé de sobrevoltaje**, es que funciona con un valor dado de sobrevoltaje.
- (60) **Relé de equilibrio de voltaje**, es el que opera con una diferencia de voltaje entre dos circuitos.
- (61) **Relé de parada o apertura temporizada**, es el que se utiliza en unión con el dispositivo que inicia la parada total o la indicación de parada o apertura en una secuencia automática.
- (62) **Reservado para aplicaciones futuras.**

**(63) Relé de presión de gas, líquido o vacío**, es el que funciona con un valor dado de presión del líquido o gas, para una determinada velocidad de variación de la presión.

**(64) Relé de protección de tierra**, es el que funciona con el fallo a tierra del aislamiento de una máquina, transformador u otros aparatos, o por contorneamiento de arco a tierra de una máquina de c.c.

Nota: Ésta función se aplica sólo a un relé que detecta el paso de corriente desde el armazón de una máquina, caja protectora o estructura de una pieza de aparatos, a tierra, o detecta una tierra en un bobinado o circuito normalmente no puesto a tierra. No se aplica a un dispositivo conectado en el circuito secundario o en el neutro secundario de un transformador o transformadores de intensidad, conectados en el circuito de potencia de un sistema puesto normalmente a tierra.

**(65) Regulador mecánico**, es el equipo que controla la apertura de la compuerta o válvula de la máquina motora, para arrancarla, mantener su velocidad o detenerla.

**(66) Relé de pasos**, es el que funciona para permitir un número especificado de operaciones de un dispositivo dado o equipo, o bien, un número especificado de operaciones sucesivas con un intervalo dado de tiempo entre cada una de ellas. También se utiliza para permitir el energizado periódico de un circuito, y la aceleración gradual de una máquina.

**(67) Relé direccional de sobrecorriente de c.a.** es el que funciona con un valor deseado de circulación de sobrecorriente de c.a. en una dirección dada.

**(68) Relé de bloqueo**, es el que inicia una señal piloto para bloquear o disparar en faltas externas en una línea de transmisión o en otros aparatos bajo condiciones dadas, coopera con otros dispositivos a bloquear el disparo o a bloquear el reenganche con una condición de pérdida de sincronismo o en oscilaciones de potencia.

- (69) Dispositivo de supervisión y control**, es generalmente un interruptor auxiliar de dos posiciones accionado a mano, el cual permite una posición de cierre de un interruptor o la puesta en servicio de un equipo y en la otra posición impide el accionamiento del interruptor o del equipo.
- (70) Reóstato**, es el que se utiliza para variar la resistencia de un circuito en respuesta a algún método de control eléctrico, que, o bien es accionado eléctricamente, o tiene otros accesorios eléctricos como contactos auxiliares de posición o limitación.
- (71) Relé de nivel líquido o gaseoso**. Éste relé funciona para valores dados de nivel de líquidos o gases, o para determinadas velocidades de variación de estos parámetros.
- (72) Interruptor de c.c.** es el que se utiliza para cerrar o interrumpir el circuito de alimentación de c.c. bajo condiciones normales o para interrumpir éste circuito bajo condiciones de emergencia.
- (73) Contactor de resistencia de carga**, es el que se utiliza para puentear o meter en circuito un punto de la resistencia limitadora, de cambio o indicadora, o bien para activar un calentador, una luz, o una resistencia de carga de un rectificador de potencia u otra máquina.
- (74) Relé de alarma**, es cualquier otro relé diferente al anunciador comprendido bajo el dispositivo 30 que se utiliza para accionar u operar en unión de una alarma visible o audible.
- (75) Mecanismo de cambio de posición**, se utiliza para cambiar un interruptor desconectable en unidad entre las posiciones de conectado, desconectado y prueba.
- (76) Relé de sobrecorriente de c.c.** es el que funciona cuando la intensidad en un circuito de c.c. sobrepasa un valor dado.

- (77) **Transmisor de impulsos**, es el que se utiliza para generar o transmitir impulsos, a través de un circuito de Telemida o hilos pilotos, a un dispositivo de indicación o recepción de distancia.
- (78) **Relé de protección de ángulo de fase o salida de paralelo**, es el que funciona con un valor determinado de ángulo de desfase entre dos voltajes o dos intensidades, o entre voltaje e intensidad.
- (79) **Relé de reenganche de c.a.** es el que controla el reenganche enclavamiento de un interruptor de c.a.
- (80) **Relé de flujo líquido o gaseoso**, actúa para valores dados de la magnitud del flujo o para determinadas velocidades de variación de éste
- (81) **Relé de frecuencia**, es el que funciona con un valor dado de la frecuencia o por la velocidad de variación de la frecuencia.
- (82) **Relé de reenganche de c.c.** es el que controla el cierre y reenganche de un interruptor de c.c. generalmente respondiendo a las condiciones de la carga del circuito.
- (83) **Relé de selección o transferencia del control automático**, es el que funciona para elegir automáticamente entre ciertas fuentes de alimentación o condiciones en un equipo, o efectúa automáticamente una operación de transferencia.
- (84) **Mecanismo de accionamiento**, es el mecanismo eléctrico completo, o servomecanismo, incluyendo el motor de operación, solenoides, auxiliares de posición, etc., para un cambiador de tomás, regulador de inducción o cualquier pieza de un aparato que no tenga número de función.
- (85) **Relé receptor de ondas portadoras o hilo piloto**, es el que es accionado o frenado por una señal y se usa en combinación con una protección direccional que funciona con equipos de transmisión de onda portadora o hilos piloto de c.c.

- (86) **Relé de enclavamiento**, es un relé accionado eléctricamente con reposición a mando o eléctrica, que funciona para parar y mantener un equipo fuera de servicio cuando concurren condiciones anormales.
- (87) **Relé de protección diferencial**, es el que funciona sobre un porcentaje o ángulo de fase u otra diferencia cuantitativa de dos intensidades o algunas otras cantidades eléctricas.
- (88) **Motor o grupo motor generador auxiliar**, es el que se utiliza para accionar equipos auxiliares, tales como bombas, ventiladores, excitatrices, etc.
- (89) **Desconectador de línea**, es el que se utiliza como un desconectador de desconexión o aislamiento en un circuito de potencia de c.a. o c.c. cuando éste dispositivo se acciona eléctricamente o bien tiene accesorios eléctricos, tales como interruptores auxiliares, enclavamiento electromagnético, etc.
- (90) **Dispositivo de regulación**, es el que funciona para regular una cantidad, tal como la voltaje, intensidad, potencia, velocidad, frecuencia, temperatura y carga a un valor dado, o bien ciertos límites para las máquinas, líneas de unión u otros aparatos.
- (91) **Relé direccional de voltaje**, es el que funciona cuando la voltaje entre los extremos de un interruptor o contactor abierto sobrepasa de un valor dado en una dirección dada.
- (92) **Relé direccional de voltaje y potencia**, es un relé que permite y ocasiona la conexión de dos circuitos cuando la diferencia de voltaje entre ellos excede de un valor dado en una dirección predeterminada y da lugar a que estos dos circuitos sean desconectados uno del otro cuando la potencia circulante entre ellos excede de un valor dado en la dirección opuesta.
- (93) **Contador de cambio de campo**, es el que funciona para cambiar el valor de la excitación de la máquina.
- (94) **Relé de disparo o disparo libre**, es el que funciona para disparar o permitir disparar un interruptor, contactor o equipo, o evitar un reenganche inmediato



de un interruptor en el caso que abra por sobrecarga, aunque el circuito inicial de mando de cierre sea mantenido.

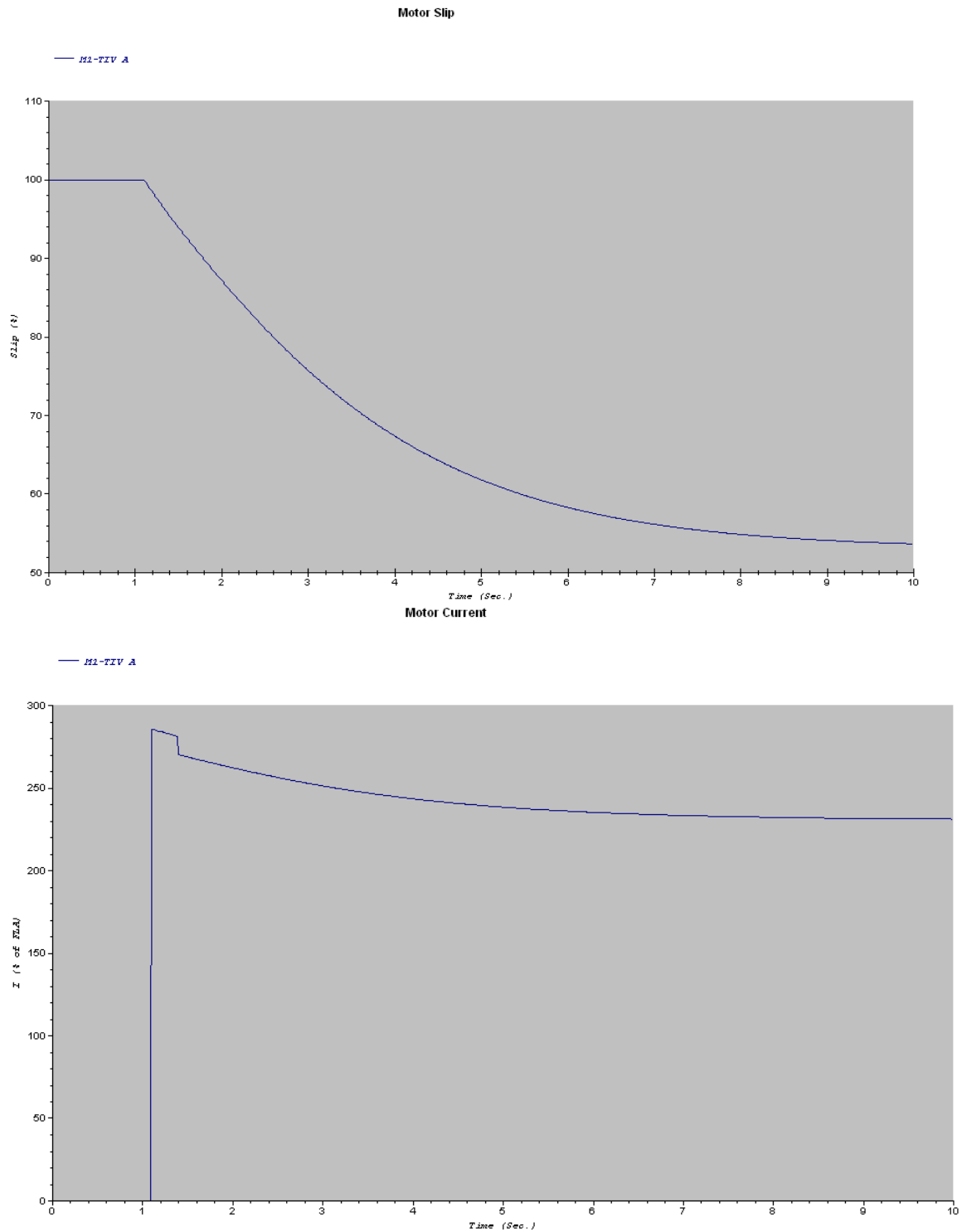
**(95) , (96), (97), (98) y (99) Están reservadas para aplicaciones especiales.**

# **ANEXO C**

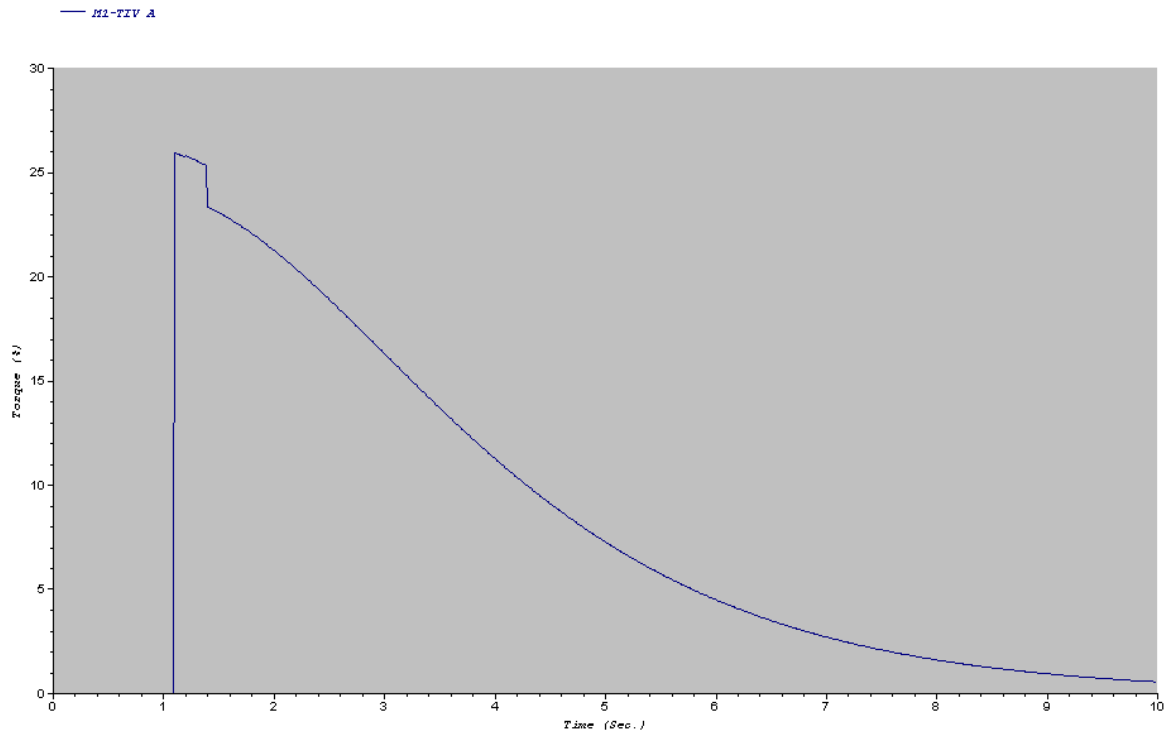
## **CURVAS DE ARRANQUE DE MOTORES**

## C.1 CURVAS DEL ARRANQUE DE MOTORORES

### C.1.1 Curvas del arranque del motor: M1-TIV A (600HP; 2.4kV).

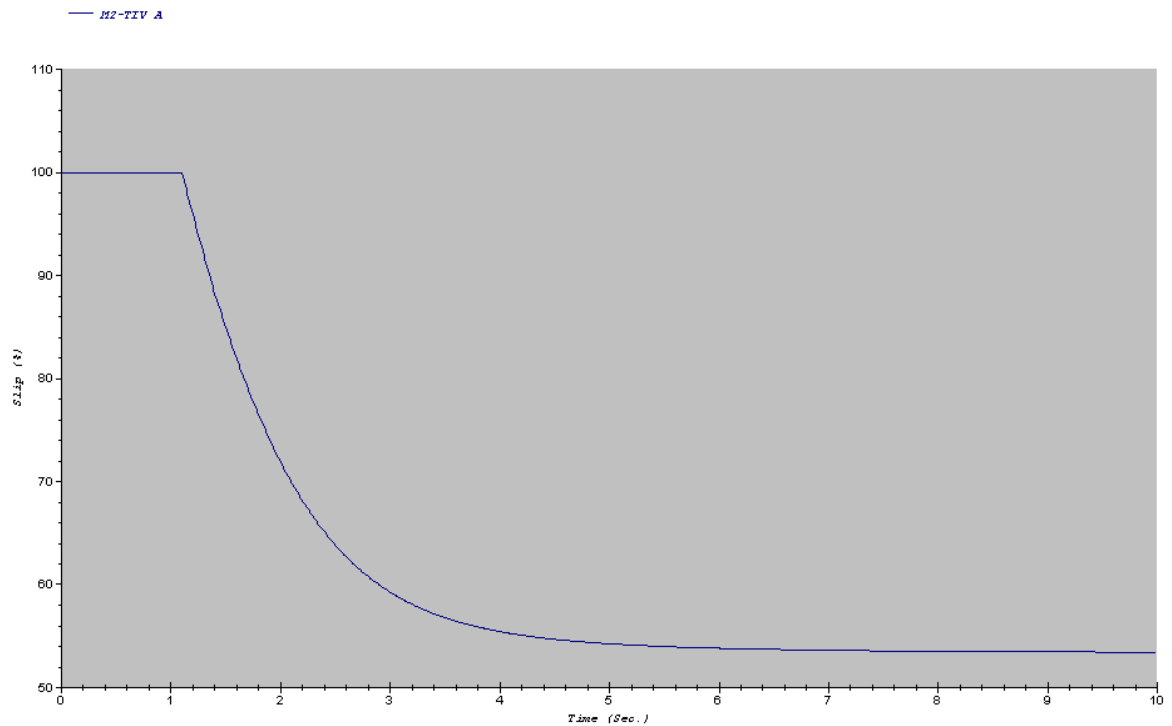


Acceleration Torque

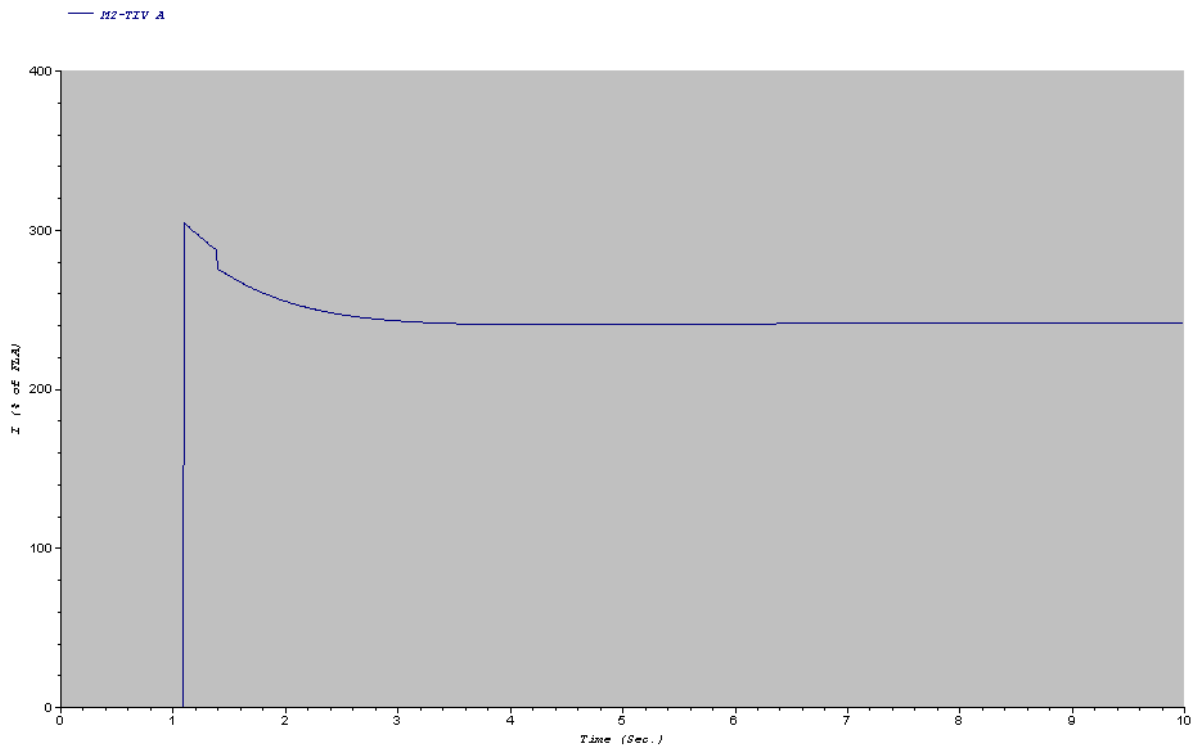


### C.1.2 Curvas del arranque del motor: M2-TIV A (300HP; 2.4kV).

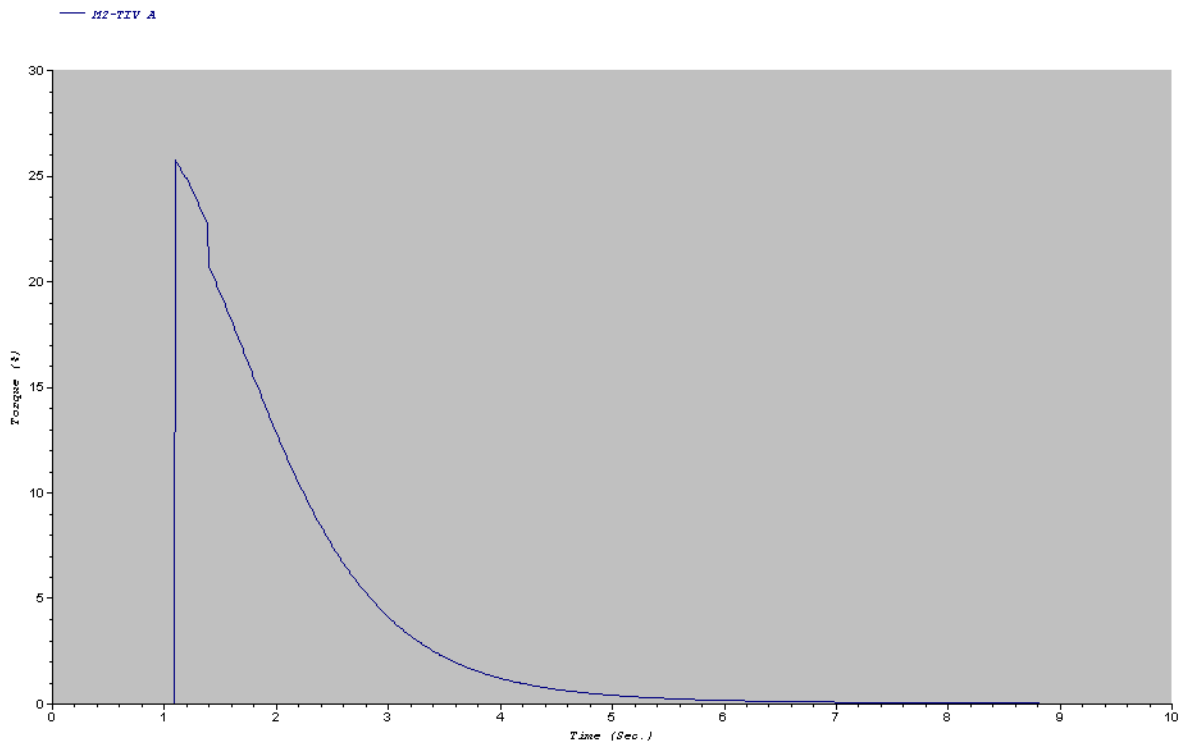
Motor Slip



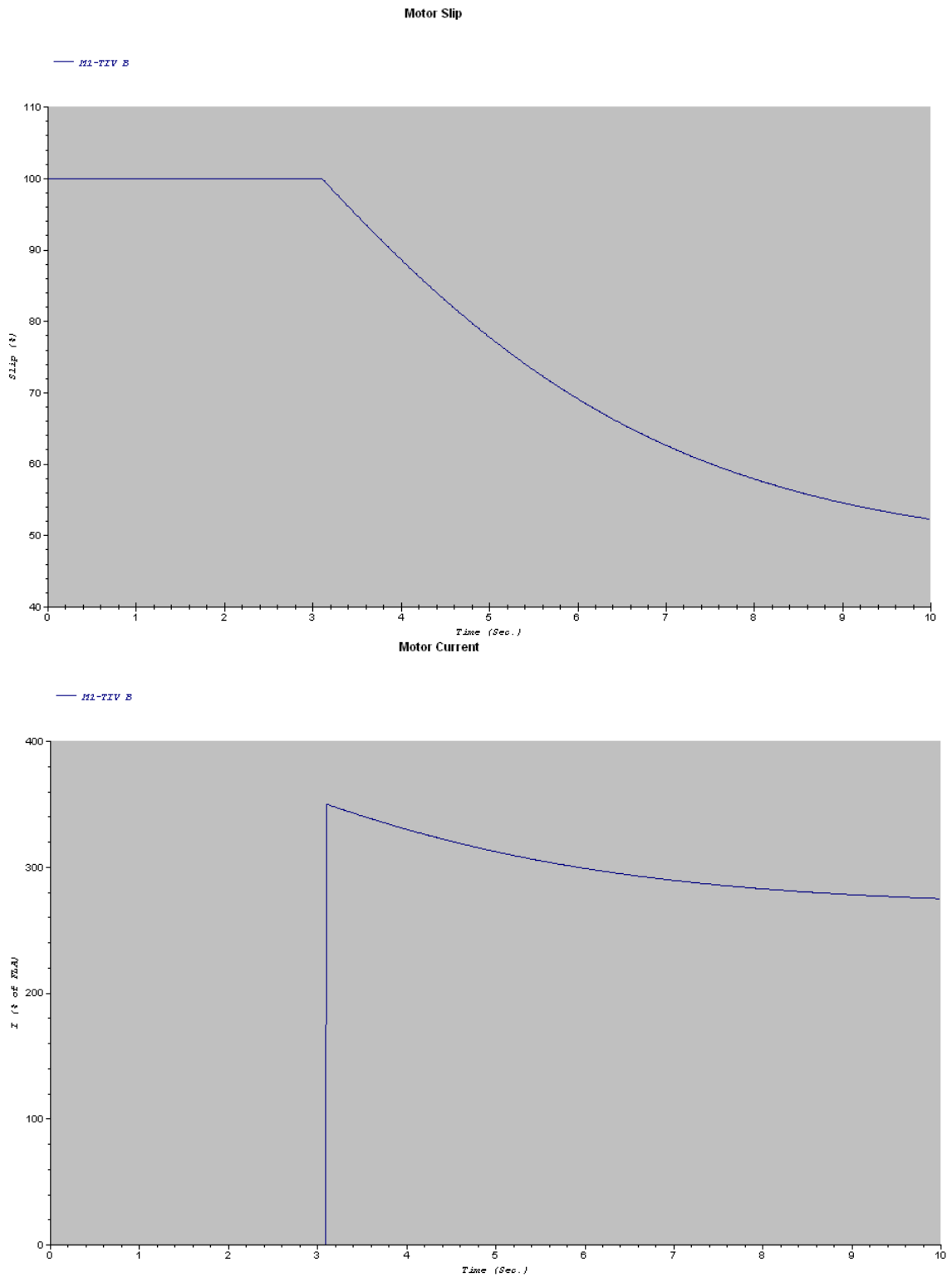
Motor Current



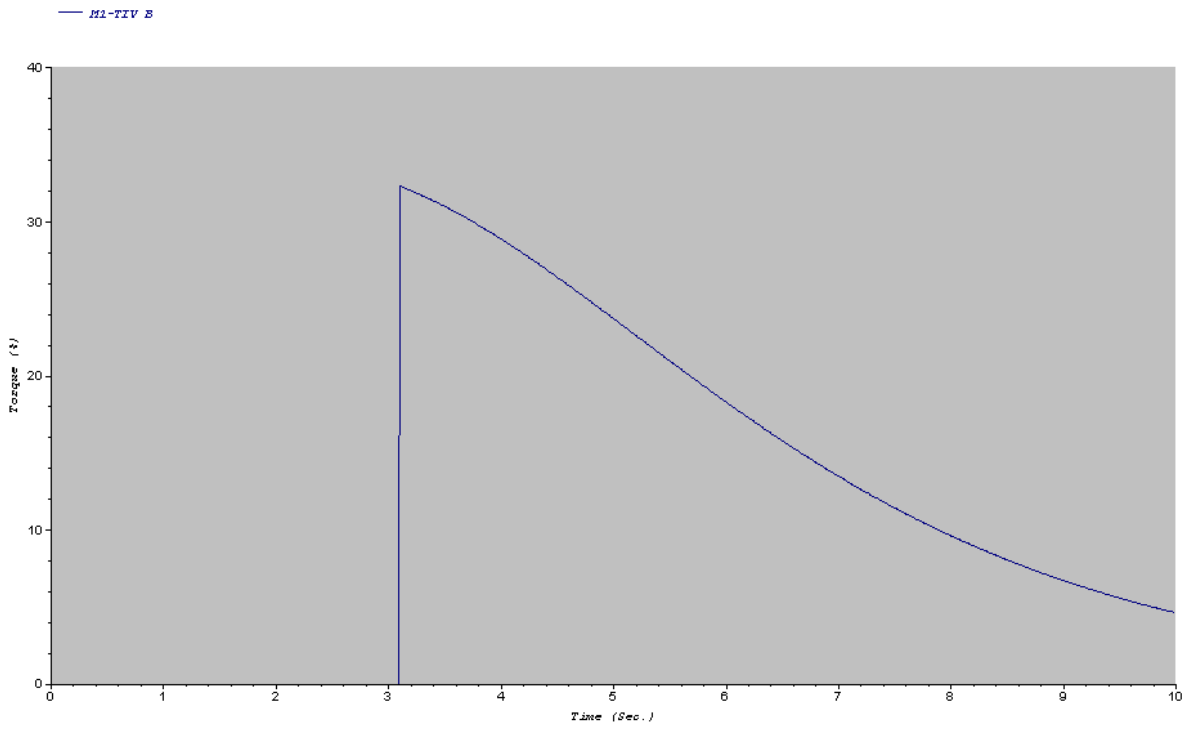
Acceleration Torque



### C.1.3 Curvas del arranque del motor: M1-TIV B (300HP; 2.4kV).

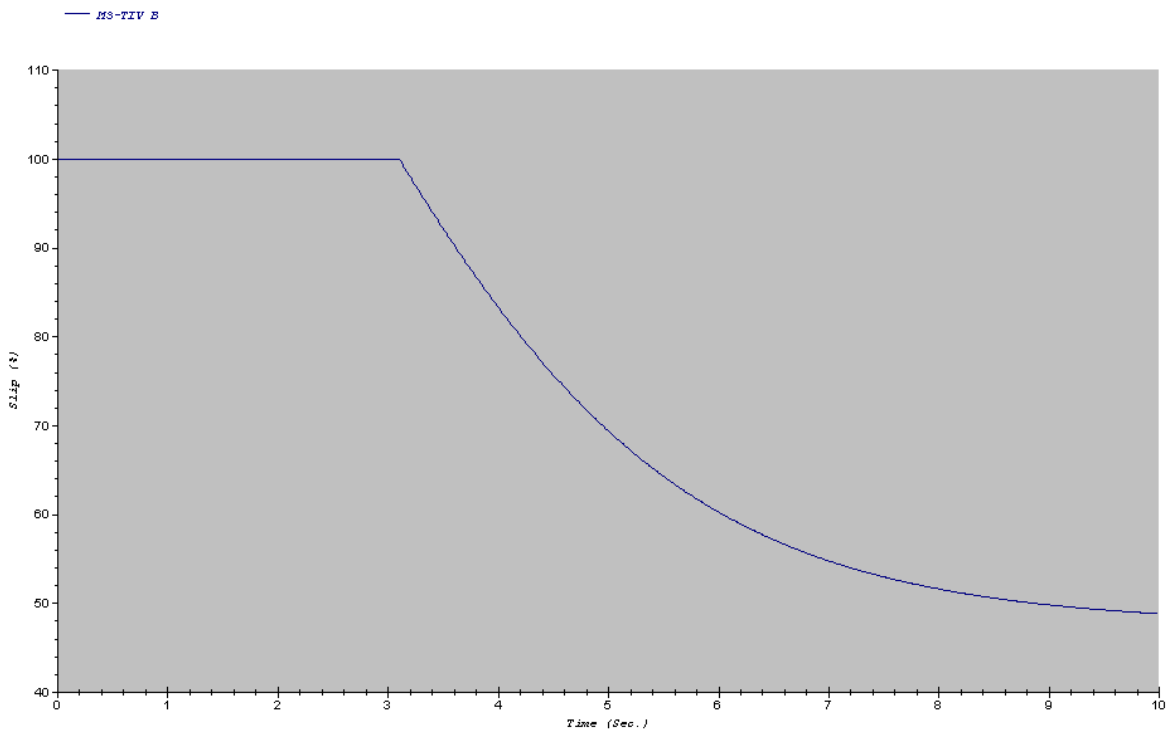


Acceleration Torque

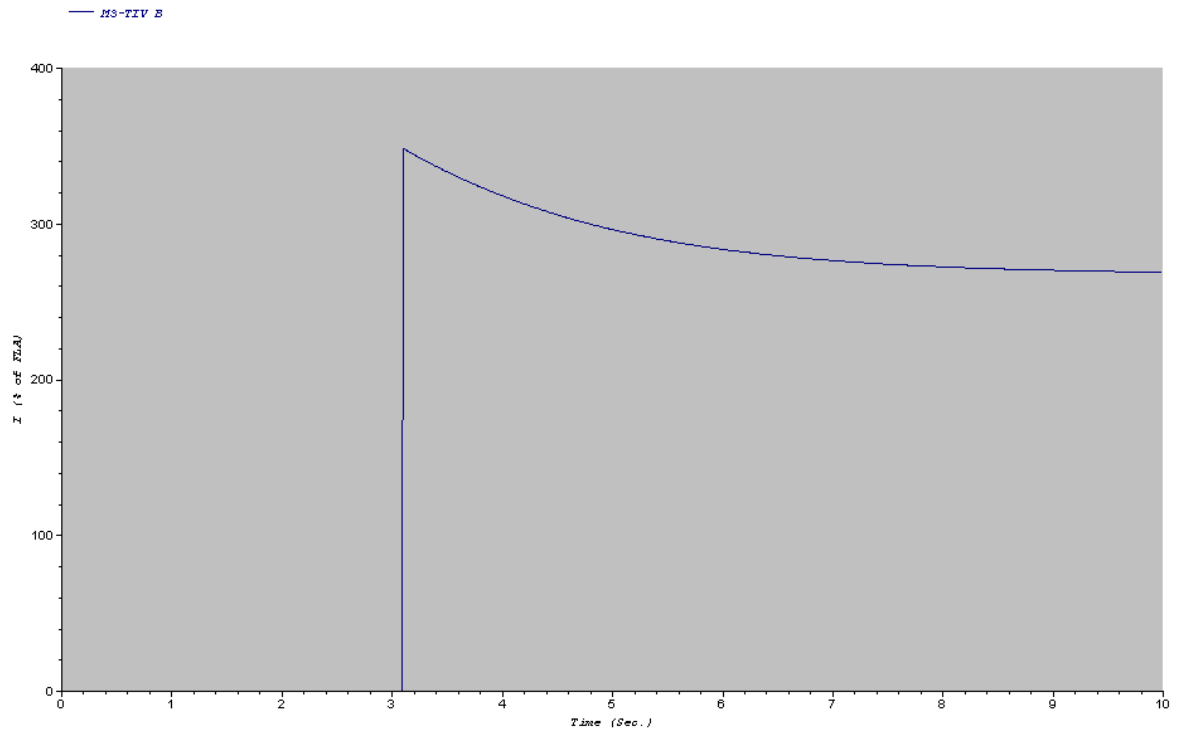


**C.1.4 Curvas del arranque del motor: M3-TIV B (600HP; 2.4kV).**

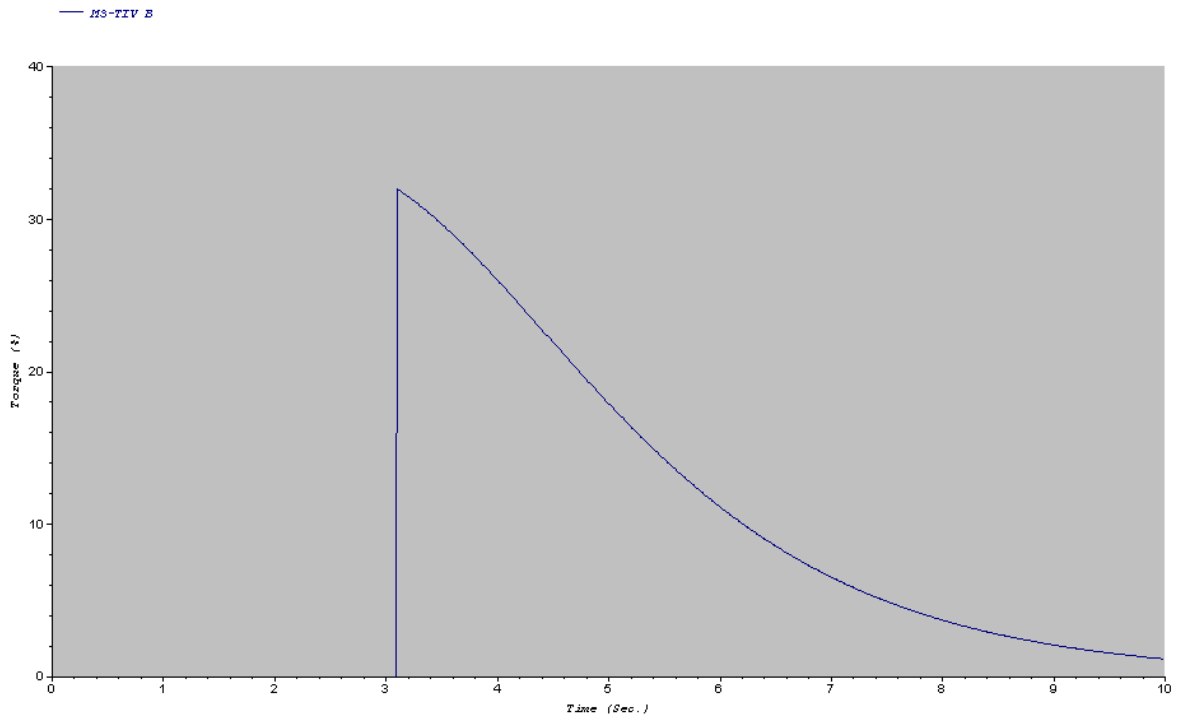
Motor Slip



Motor Current



Acceleration Torque





## C.2 REPORTE DE DATOS OBTENIDOS PARA LOS MOTORES QUE SE ENCUENTRAN CONECTADOS AL MCC XI-TIV A.

<b><u>TABLA 4.1</u> ACELERACIÓN DEL MOTOR DE INDUCCIÓN: M3-TIV A</b>							<b>In (A) = 64.2</b>	
<b>Tiempo (Seg.)</b>	<b>Deslizamt. (%)</b>	<b>% Corriente a plena carga (A)</b>	<b>Corriente de Arranque (A)</b>	<b>% Voltaje Terminal</b>		<b>% Voltaje Barra MCC</b>	<b>Torque a plena carga (%)</b>	
				<b>Carga</b>	<b>Barra</b>		<b>Motor</b>	<b>Nominal</b>
0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	115.7	0.0	0.0
1.1	100.0	201.4	129.3	54.7	54.7	94.8	30.2	0.0
1.2	78.9	401.1	257.5	72.9	72.9	72.9	44.5	4.5
1.3	50.9	358.0	229.8	77.0	77.0	77.0	45.2	24.1
1.4	36.2	330.2	212.0	77.1	77.1	77.1	48.0	40.7
1.5	31.1	310.5	199.3	74.6	74.6	74.6	47.2	47.5
1.6	31.3	314.8	202.1	75.5	75.5	75.5	48.3	47.2
1.7	30.5	315.8	202.8	76.1	76.1	76.1	49.6	48.3
1.8	29.6	315.8	202.7	76.5	76.5	76.5	50.6	49.5
1.9	28.9	315.6	202.6	76.8	76.8	76.8	51.5	50.6
2.0	28.2	315.6	202.6	77.0	77.0	77.1	52.4	51.5
2.1	27.6	315.6	202.6	77.3	77.3	77.4	53.3	52.4
10.0	12.9	248.2	159.3	81.7	81.7	81.7	123.6	88.5

<b><u>TABLA 4.2</u> ACELERACIÓN DEL MOTOR DE INDUCCIÓN: M4-TIV A</b>							<b>In (A) = 125.2</b>	
<b>Tiempo (Seg.)</b>	<b>Deslizamt. (%)</b>	<b>% Corriente a plena carga (A)</b>	<b>Corriente de Arranque (A)</b>	<b>% Voltaje Terminal</b>		<b>% Voltaje Barra MCC</b>	<b>Torque a plena carga (%)</b>	
				<b>Carga</b>	<b>Barra</b>		<b>Motor</b>	<b>Nominal</b>
0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	115.7	0.0	0.0
1.1	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	94.8	0.0	0.0
1.2	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	72.9	0.0	0.0
1.3	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	77.0	0.0	0.0
1.4	100.0	160.6	201.1	44.5	44.5	77.1	20.4	0.0
1.5	87.0	428.8	536.9	74.5	74.5	74.6	51.4	1.7
1.6	55.5	362.9	454.4	75.5	75.5	75.5	46.1	19.8
1.7	38.8	335.0	419.4	76.1	76.1	76.1	49.0	37.5
1.8	31.4	323.7	405.3	76.5	76.5	76.5	52.9	47.0
1.9	27.7	318.2	398.4	76.8	76.8	76.8	56.0	52.2
2.0	25.4	314.9	394.3	77.0	77.0	77.1	58.6	55.7
2.1	23.5	312.6	391.3	77.3	77.3	77.4	61.1	58.5
10.0	16.0	280.2	350.8	81.7	81.7	81.7	110.9	82.9

<b><u>TABLA 4.3</u> ACELERACIÓN DEL MOTOR DE INDUCCIÓN: M5-TIV A</b>							<b>In (A) = 83.7</b>	
<b>Tiempo (Seg.)</b>	<b>Deslizam. (%)</b>	<b>% Corriente a plena carga (A)</b>	<b>Corriente de Arranque (A)</b>	<b>% Voltaje Terminal</b>		<b>% Voltaje Barra MCC</b>	<b>Torque a plena carga (%)</b>	
				<b>Carga</b>	<b>Barra</b>		<b>Motor</b>	<b>Nomina l</b>
0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	115.7	0.0	0.0
1.1	100.0	197.6	165.4	54.7	54.7	94.8	30.9	0.0
1.2	80.4	402.9	337.3	72.9	72.9	72.9	47.0	3.8
1.3	53.0	365.3	305.8	77.0	77.0	77.0	48.0	22.1
1.4	36.6	335.5	280.8	77.1	77.1	77.1	51.1	40.2
1.5	29.7	312.5	261.6	74.5	74.5	74.6	51.3	49.4
1.6	28.5	314.4	263.2	75.5	75.5	75.5	53.6	51.2
1.7	27.0	314.1	262.9	76.1	76.1	76.1	55.7	53.4
1.8	25.5	312.9	261.9	76.5	76.5	76.5	57.6	55.5
1.9	24.2	311.6	260.8	76.8	76.8	76.8	59.4	57.5
2.0	22.9	310.2	259.6	77.0	77.0	77.1	61.4	59.4
2.1	21.7	308.8	258.5	77.3	77.3	77.4	63.5	61.3
10.0	16.3	281.7	235.8	81.7	81.7	81.7	109.7	82.6
<b><u>TABLA 4.4</u> ACELERACIÓN DEL MOTOR DE INDUCCIÓN: M6-TIV A</b>							<b>In (A) = 64.2</b>	
<b>Tiempo (Seg.)</b>	<b>Deslizam. (%)</b>	<b>% Corriente a plena carga (A)</b>	<b>Corriente de Arranque (A)</b>	<b>% Voltaje Terminal</b>		<b>% Voltaje Barra MCC</b>	<b>Torque a plena carga (%)</b>	
				<b>Carga</b>	<b>Barra</b>		<b>Motor</b>	<b>Nomina l</b>
0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	115.7	0.0	0.0
1.1	100.0	197.7	126.9	54.7	54.7	94.8	30.9	0.0
1.2	78.7	399.0	256.2	72.9	72.9	72.9	46.5	4.5
1.3	49.8	359.2	230.6	77.0	77.0	77.0	48.1	25.2
1.4	34.0	330.9	212.5	77.1	77.1	77.1	52.3	43.5
1.5	28.0	309.6	198.8	74.6	74.6	74.6	52.6	51.8
1.6	27.5	312.7	200.7	75.5	75.5	75.5	54.4	52.6
1.7	26.3	312.8	200.8	76.1	76.1	76.1	56.3	54.4
1.8	24.9	311.9	200.2	76.5	76.5	76.5	58.2	56.3
1.9	23.7	310.6	199.4	76.8	76.8	76.8	60.0	58.2
2.0	22.5	309.3	198.5	77.1	77.1	77.1	62.0	60.1
2.1	21.2	307.7	197.6	77.4	77.4	77.4	64.3	62.1
10.0	15.1	256.0	164.4	81.7	81.7	81.7	125.0	87.6
<b><u>TABLA 4.5</u> ACELERACIÓN DEL MOTOR DE INDUCCIÓN: M7-TIV A</b>							<b>In (A) = 104.5</b>	
<b>Tiempo (Seg.)</b>	<b>Deslizam. (%)</b>	<b>% Corriente a plena carga (A)</b>	<b>Corriente de Arranque (A)</b>	<b>% Voltaje Terminal</b>		<b>% Voltaje Barra MCC</b>	<b>Torque a plena carga (%)</b>	
				<b>Carga</b>	<b>Barra</b>		<b>Motor</b>	<b>Nomina l</b>
0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	115.7	0.0	0.0

1.1	100.0	197.6	206.5	54.7	54.7	94.8	30.9	0.0
1.2	80.4	402.9	421.0	72.9	72.9	72.9	47.0	3.9
1.3	53.0	365.2	381.6	77.0	77.0	77.0	48.0	22.1
1.4	36.6	335.4	350.5	77.1	77.1	77.1	51.1	40.2
1.5	29.7	312.5	326.5	74.5	74.5	74.6	51.4	49.5
1.6	28.5	314.4	328.5	75.5	75.5	75.5	53.6	51.2
1.7	26.9	314.0	328.2	76.1	76.1	76.1	55.7	53.4
1.8	25.5	312.9	327.0	76.5	76.5	76.5	57.6	55.5
1.9	24.2	311.5	325.6	76.8	76.8	76.8	59.4	57.5
2.0	22.9	310.2	324.2	77.0	77.0	77.1	61.4	59.4
2.1	21.7	308.8	322.7	77.3	77.3	77.4	63.5	61.3
10.0	16.3	281.7	294.4	81.7	81.7	81.7	109.7	82.5
<b>TABLA 4.6 ACCELERACIÓN DEL MOTOR DE INDUCCIÓN: M8-TIV A</b>							<b>In (A) = 64.2</b>	
Tiempo (Seg.)	Deslizam. (%)	% Corriente a plena carga (A)	Corriente de Arranque (A)	% Voltaje Terminal		% Voltaje Barra MCC	Torque a plena carga (%)	
				Carga	Barra		Motor	Nomina I
0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	115.7	0.0	0.0
1.1	100.0	197.7	126.9	54.7	54.7	94.8	30.9	0.0
1.2	80.0	402.0	258.1	72.9	72.9	72.9	46.9	4.0
1.3	52.3	363.9	233.6	77.0	77.0	77.0	48.0	22.8
1.4	36.0	334.4	214.7	77.1	77.1	77.1	51.4	41.0
1.5	29.3	311.8	200.2	74.6	74.6	74.6	51.6	50.0
1.6	28.2	314.0	201.6	75.5	75.5	75.5	53.8	51.5
1.7	26.8	313.7	201.4	76.1	76.1	76.1	55.8	53.6
1.8	25.4	312.6	200.7	76.5	76.5	76.5	57.7	55.7
1.9	24.1	311.3	199.9	76.8	76.8	76.8	59.6	57.7
2.0	22.8	310.0	199.0	77.0	77.0	77.1	61.5	59.6
2.1	21.6	308.6	198.1	77.3	77.3	77.4	63.7	61.5
10.0	16.0	277.4	178.1	81.7	81.7	81.7	112.9	83.6
<b>TABLA 4.7 ACCELERACIÓN DEL MOTOR DE INDUCCIÓN: M9-TIV A</b>							<b>In (A) = 73.3</b>	
Tiempo (Seg.)	Deslizam. (%)	% Corriente a plena carga (A)	Corriente de Arranque (A)	% Voltaje Terminal		% Voltaje Barra MCC	Torque a plena carga (%)	
				Carga	Barra		Motor	Nomina I
0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	115.7	0.0	0.0
1.1	100.0	197.6	144.9	54.7	54.7	94.8	30.9	0.0
1.2	80.4	403.0	295.4	72.9	72.9	72.9	47.0	3.8
1.3	53.1	365.4	267.8	77.0	77.0	77.0	48.0	22.0
1.4	36.6	335.5	245.9	77.1	77.1	77.1	51.1	40.2
1.5	29.7	312.6	229.1	74.5	74.5	74.6	51.3	49.4
1.6	28.5	314.4	230.5	75.5	75.5	75.5	53.6	51.1

1.7	27.0	314.1	230.2	76.1	76.1	76.1	55.6	53.4
1.8	25.5	312.9	229.4	76.5	76.5	76.5	57.6	55.5
1.9	24.2	311.6	228.4	76.8	76.8	76.8	59.4	57.5
2.0	22.9	310.2	227.4	77.0	77.0	77.1	61.4	59.4
2.1	21.7	308.8	226.4	77.3	77.3	77.4	63.5	61.3
10.0	16.3	281.8	206.6	81.7	81.7	81.7	109.7	82.5
<b>TABLA 4.8 ACCELERACIÓN DEL MOTOR DE INDUCCIÓN: M10-TIV A</b>							<b>In (A) = 73.3</b>	
Tiempo (Seg.)	Deslizam. (%)	% Corriente a plena carga (A)	Corriente de Arranque (A)	% Voltaje Terminal		% Voltaje Barra MCC	Torque a plena carga (%)	
				Carga	Barra		Motor	Nominal
0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	115.7	0.0	0.0
1.1	100.0	197.6	144.9	54.7	54.7	94.8	30.9	0.0
1.2	81.3	405.2	297.0	72.9	72.9	72.9	47.3	3.5
1.3	54.9	368.9	270.4	77.0	77.0	77.0	48.0	20.4
1.4	38.2	338.3	248.0	77.1	77.1	77.1	50.5	38.2
1.5	30.8	314.4	230.5	74.5	74.5	74.6	50.6	47.9
1.6	29.1	315.6	231.3	75.5	75.5	75.5	53.1	50.2
1.7	27.4	314.9	230.8	76.1	76.1	76.1	55.3	52.7
1.8	25.9	313.6	229.8	76.5	76.5	76.5	57.2	55.0
1.9	24.5	312.2	228.8	76.8	76.8	76.8	59.1	57.0
2.0	23.2	310.8	227.8	77.0	77.0	77.1	61.0	58.9
2.1	22.0	309.5	226.8	77.3	77.3	77.4	63.1	60.9
10.0	16.9	289.6	212.3	81.7	81.7	81.7	103.3	80.3
<b>TABLA 4.9 ACCELERACIÓN DEL MOTOR DE INDUCCIÓN: M11-TIV A</b>							<b>In (A) = 83.7</b>	
Tiempo (Seg.)	Deslizam. (%)	% Corriente a plena carga	Corriente de Arranque (A)	% Voltaje Terminal		% Voltaje Barra MCC	Torque a plena carga (%)	
				Carga	Barra		Motor	Nominal
0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	115.7	0.0	0.0
1.1	100.0	197.6	165.4	54.7	54.7	94.8	30.9	0.0
1.2	78.0	397.2	332.4	72.9	72.9	72.9	46.3	4.9
1.3	48.4	356.5	298.4	77.0	77.0	77.0	48.2	26.6
1.4	33.0	329.1	275.4	77.1	77.1	77.1	52.8	44.9
1.5	27.4	308.4	258.1	74.5	74.5	74.6	53.1	52.8
1.6	27.1	312.0	261.1	75.5	75.5	75.5	54.6	53.1
1.7	26.0	312.4	261.4	76.1	76.1	76.1	56.5	54.7
1.8	24.8	311.5	260.7	76.5	76.5	76.5	58.3	56.6
1.9	23.5	310.3	259.7	76.8	76.8	76.8	60.2	58.5
2.0	22.3	308.9	258.6	77.0	77.0	77.1	62.2	60.4
2.1	21.0	307.4	257.3	77.3	77.3	77.4	64.5	62.4
10.0	14.7	239.0	200.0	81.7	81.7	81.7	130.3	89.7
Donde: $I_{arr} (A) = \frac{\%I_{plena\ carga}}{100\%} \times I_n(A)$								

### C.3 REPORTE DE DATOS OBTENIDOS PARA LOS MOTORES QUE SE ENCUENTRAN CONECTADOS AL MCC X2-TIV B.

<b>TABLA 4.10 ACCELERACIÓN DEL MOTOR DE INDUCCIÓN: M1-TIV B</b>							<b>In (A) = 64.2</b>	
<b>Tiempo (Seg.)</b>	<b>Deslizamt. (%)</b>	<b>% Corriente a plena carga</b>	<b>Corriente de Arranque (A)</b>	<b>% Voltaje Terminal</b>		<b>% Voltaje Barra MCC</b>	<b>Torque a plena carga (%)</b>	
				<b>Carga</b>	<b>Barra</b>		<b>Motor</b>	<b>Nominal</b>
0.0	100.0	0.00	0.0	0.00	0.00	114.87	0.00	0.00
1.1	100.0	208.00	133.5	57.61	57.61	99.80	34.23	0.00
1.2	79.35	442.01	283.8	80.48	80.48	80.50	56.87	4.26
1.3	47.62	390.74	250.9	84.74	84.74	84.76	58.52	27.44
1.4	28.87	362.71	232.9	86.92	86.92	86.94	70.58	50.60
1.5	16.82	342.12	219.6	88.96	88.96	88.97	95.67	69.19
10.0	0.84	324.83	208.5	91.23	91.23	91.25	127.57	79.86
<b>TABLA 4.11 ACCELERACIÓN DEL MOTOR DE INDUCCIÓN: M4-TIV B</b>							<b>In (A) = 104.5</b>	
<b>Tiempo (Seg.)</b>	<b>Deslizamt. (%)</b>	<b>% Corriente a plena carga</b>	<b>Corriente de Arranque (A)</b>	<b>% Voltaje Terminal</b>		<b>% Voltaje Barra MCC</b>	<b>Torque a plena carga (%)</b>	
				<b>Carga</b>	<b>Barra</b>		<b>Motor</b>	<b>Nominal</b>
0.0	100.00	0.00	0.0	0.00	0.00	114.87	0.00	0.00
1.1	100.00	208.00	217.4	57.61	57.61	99.80	34.23	0.00
1.2	79.35	442.01	461.9	80.48	80.48	80.50	56.87	4.26
1.3	47.61	390.74	408.3	84.74	84.74	84.76	58.52	27.44
1.4	28.87	362.71	379.0	86.92	86.92	86.94	70.58	50.60
1.5	16.81	342.12	357.5	88.96	88.96	88.97	95.68	69.20
10.0	0.84	326.00	340.7	91.23	91.23	91.25	126.42	79.51
<b>TABLA 4.1 ACCELERACIÓN DEL MOTOR DE INDUCCIÓN: M5-TIV B</b>							<b>In (A) = 104.5</b>	
<b>Tiempo (Seg.)</b>	<b>Deslizamt. (%)</b>	<b>% Corriente a plena carga</b>	<b>Corriente de Arranque (A)</b>	<b>% Voltaje terminal</b>		<b>% Voltaje Barra MCC</b>	<b>Torque a plena carga (%)</b>	
				<b>Carga</b>	<b>Barra</b>		<b>Motor</b>	<b>Nominal</b>
0.0	100.00	0.00	0.0	0.00	0.00	114.87	0.00	0.00
1.1	100.00	207.99	217.4	57.60	57.60	99.80	34.23	0.00
1.2	78.26	439.17	458.9	80.48	80.48	80.50	56.51	4.72
1.3	45.38	386.19	403.6	84.74	84.74	84.76	58.89	29.83
1.4	26.93	358.67	374.8	86.92	86.92	86.94	72.63	53.39
1.5	26.93	335.17	350.3	88.96	88.96	88.97	102.66	72.74
10.0	26.93	343.73	359.2	91.23	91.23	91.25	107.97	72.74

# **ANEXO D**

**PLANOS ELECTRICOS**