



# ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



## Estudios de Coordinación de las Protecciones por Métodos Computarizados Aplicados a la Cogeneración del Ingenio ECUDOS

Luis Enrique Armijos Saldaña, Marlon Stalin Valverde Vásquez y Juan Saavedra  
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación  
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)  
Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 vía Perimetral  
Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador

[luenar2004@yahoo.com](mailto:luenar2004@yahoo.com), [marlon.valverde@hotmail.com](mailto:marlon.valverde@hotmail.com), [jsaavedra@hidronacion.org](mailto:jsaavedra@hidronacion.org)

### Resumen

*El presente proyecto tiene como objetivo realizar la coordinación de las protecciones eléctricas del sistema de cogeneración del Ingenio ECUDOS, se realizará la coordinación de dicho sistema basándonos en los principios de la coordinación de protecciones para un sistema eléctrico como lo son selectividad, respaldo, tiempo de operación y simplicidad, con la finalidad de obtener un buen resultado.*

*Nos ayudamos con el software PowerWorld para obtener el flujo de carga del sistema y de igual manera para obtener el análisis de cortocircuito, ya que ambos estudios son fundamentales para empezar a realizar la coordinación de las protecciones del sistema.*

*Además usaremos la página de cálculos Excel para realizar el análisis de los ajustes de los relés y la coordinación de todos ellos para una protección óptima del sistema de cogeneración. La información para realizar este estudio fue entregada por el Ingenio ECUDOS.*

*Como resultados mostraremos la coordinación de las protecciones del sistema de una manera gráfica, además de una manera tabulada estaremos mostrando los ajustes de cada relé y las corrientes de cortocircuito en cada barra.*

**Palabras Claves:** *coordinación, cogeneración, ajustes, protección.*

### Abstract

*This project aims to make the coordination of electrical protection system of the cogeneration ECUDOS Industry, there will be coordination of the system based on the principles of coordination of protections for a power system such as selectivity, backup, time operation and simplicity, with the aim of obtaining a good result.*

*We help with Power World software to get the system load flow and similarly for the analysis of short circuit, as both studies are essential to start making the coordination of system protections.*

*In addition we will use the Excel calculations page for analysis of relay settings and coordination of all for optimal protection of the cogeneration system. The information for this study was provided by ECUDOS Industry.*

*As results show the coordination of the protection system in a graphical manner, and a tabular manner will be showing the settings for each relay and short-circuit currents in each bar.*

**Key Words:** *coordination, cogeneration, settings, protection.*

### 1. Introducción

Un índice de la calidad y de la confiabilidad de un sistema eléctrico es referente de su sistema de protección y esta de su correcta coordinación.

El Ingenio ECUDOS cuenta con un sistema de generación a vapor mediante la quema del bagazo de la caña de azúcar, cada 6 meses en época de zafra, que es cuando se obtiene la materia prima “bagazo de la caña”, todo el Ingenio en general opera sus maquinarias y de igual manera su sistema de generación estará en funcionamiento continuo, y para este caso en particular basamos nuestro estudio.

El sistema de generación como auto-productores es de gran importancia su funcionamiento para el Ingenio ya que es todo un ciclo dependiente en el que de la producción del azúcar se utiliza el residuo “bagazo de la caña” para la producción de energía eléctrica y de esta producción de energía eléctrica parte es entregada al sistema nacional interconectado en el punto de interconexión con Milagro y otra parte es consumida por el propio Ingenio para sus cargas auxiliares y para energizar el proceso mismo de la producción de azúcar. Debido a esto la correcta coordinación de los dispositivos de protección es pertinente.

Para el análisis de la coordinación de los diversos dispositivos de protección eléctrica del Ingenio ECUDOS es necesario realizar los estudios de flujo de carga y cortocircuito, ya que en estos estudios podremos analizar el comportamiento del sistema eléctrico en si del Ingenio tanto para casos de operación normal como para casos en falla.

Los ajustes de los dispositivos de protección dependerán de los estudios para corrientes a plena carga y de cortocircuito, ya que de estos estudios conoceremos la máxima corriente admisible a la cual el dispositivo de protección empezara a operar con el propósito de que no sufra ningún daño el elemento que se está protegiendo.

Todo el sistema eléctrico del Ingenio ECUDOS básicamente está conformado por 4 niveles de voltaje que son: 69 [Kv], 13.8 [Kv], 4.16 [Kv] y 5.5 [Kv].

### 2. Descripción de las Instalaciones

#### 2.1 Descripción Física o Geográfica de la Empresa

ECUDOS está situada en La Troncal, ciudad ubicada en la región costanera del Ecuador. Es una de las empresas azucareras más importantes del Ecuador, y además es un aporte para el sistema eléctrico del país con su contribución de energía eléctrica generada en sus instalaciones de mediante el uso del bagazo obtenido de la caña de azúcar.

#### 2.2 Descripción General del Sistema Eléctrico



Figura 2.1: Subestación del Ingenio ECUDOS

ECUDOS en sus instalaciones posee su propia subestación en la cual existen dos transformadores de potencia, uno con una capacidad de 31.6 MVA (TPE) y otro con una capacidad de 17.25 MVA (TPR), alimentados ambos en su lado primario por la empresa eléctrica de Milagro a un nivel de tensión de 69000 voltios.

En su secundario una vez hecha la transformación de voltaje, el transformador TPE entrega un nivel de tensión de 13800 voltios y el transformador TPR el cual es un transformador de tres devanados entrega niveles de voltaje de 5500 voltios y 4160 voltios. Estos son los niveles de voltaje que usa el ingenio ECUDOS agregándole los niveles de voltaje que usan ciertas cargas, de servicios auxiliares, como lo son 480 voltios y 120/240 voltios.



Figura 2.2: Transformadores de Potencia de Subestación ECUDOS

Lucega empresa generadora que es parte de ECUDOS posee cuatro generadores de distintas capacidades; son dos generadores de 3 MW los cuales son llamados TGE-1 y TGE-2, un generador de 12.5 MW llamado TGE-3 y finalmente un generador de 16.8 MW llamado TGE-4. El TGE-1 y el TGE-2 operan a un nivel de voltaje de 5500 voltios, el TGE-3 entrega un nivel de voltaje de 4160 voltios y el TGE-4 opera a un nivel de voltaje de 13800 voltios.

Aquí se genera aproximadamente 27.6 MW de los cuales 13 MW son consumidos por ECUDOS y 14.6 MW son entregados mediante la venta de energía al sistema nacional interconectado en este caso mediante la conexión a Milagro.



Figura 2.3: Generadores Eléctricos del Ingenio ECUDOS

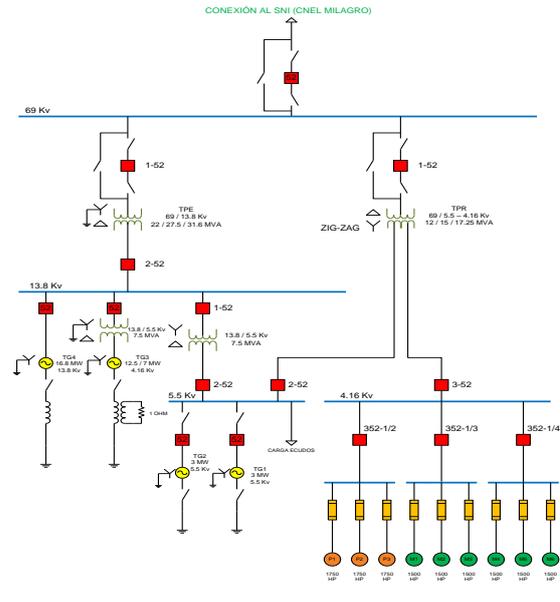


Figura 2.4: Diagrama Unifilar de Ingenio ECUDOS

### 2.3 Descripción Detallada del Sistema Eléctrico para la Obtención de la Energía Eléctrica

El proceso de producción de energía eléctrica mediante biomasa, en nuestro caso a estudiar mediante el bagazo de la caña de azúcar, comienza una vez que empieza la zafra. Una vez recolectada la caña de azúcar esta es llevada por grandes camiones los cuales depositan la caña de azúcar en tres picadoras las cuales son impulsadas por motores de 1750 Hp a 1800 RPM.

Luego que la caña de azúcar es triturada pasa por un proceso de lavado y es transportada hasta los molinos, estos son seis, los cuales están ubicados uno a continuación de otro, es decir, que la caña de azúcar ingresa al molino 1 y luego pasa al molino 2 y de esa manera va siendo transportada hasta el molino 6 que es el ultimo molino.

Estos molinos son impulsados por motores que tienen una capacidad de 1500 Hp a 1200 RPM, aquí se le extrae a la caña de azúcar su jugo el cual va a servir para la producción del azúcar y el residuo de ese jugo, lo concentrado es vendido para la producción de alcohol industrial.

La caña de azúcar es pasada dos veces por los molinos, el bagazo que es el residuo de la caña de azúcar, es llevado a cuatro calderos en donde va a ser quemado con un cierto nivel de humedad. Gracias al potencial calorífico de la caña de azúcar se va a

producir una cantidad de vapor, el cual se usará para impulsar las turbinas de los cuatro generadores que tiene Lucega. Es aquí en donde se va a producir la energía eléctrica.

Lucega produce aproximadamente 27.6 MW de los cuales 13 MW son consumidos por el ingenio ECUDOS y 14.6 MW son vendidos al sistema nacional interconectado.

### 3. Estudios de Flujo de Carga

#### 3.1 Criterios adoptados para el estudio

##### 3.1.1 Flexibilidad Operacional

El sistema podrá funcionar alimentado por la Empresa Eléctrica o por medio de los Generadores de Emergencia sin ninguna restricción.

##### 3.1.2 Niveles de confiabilidad

El sistema debe proveer la continuidad del servicio y la alimentación a las instalaciones del ingenio ECUDOS en forma prioritaria, ante la existencia de falla de un elemento en el del sistema.

##### 3.1.3 Niveles de Sobrecarga

No se aceptan sobrecarga en los cables del Sistema mayores a la cargabilidad establecida en las especificaciones técnicas.

Para el caso de los Transformadores Convencionales de Fuerza, la carga no debe exceder su capacidad OA.

##### 3.1.3 Regulación de Voltaje

Los voltajes a nivel de barras del Sistema no deben exceder del 2.5% hacia arriba y 2.5% hacia abajo, ante cualquier contingencia operativa.

### 3.2 Análisis de Casos

#### 3.2.1 Caso Base “Carga Máxima”

En nuestro proyecto a desarrollar vamos a considerar a todas las cargas instaladas en el Ingenio ECUDOS, como las picadoras, los molinos, lo cual suma un aproximado de 13 MW.

### 3.3 Datos del Sistema

#### 3.3.1 Datos de Voltaje de Barra

#	Barra	Voltaje
1	CNEL-MILAGRO	69000 VOLTIOS
2	S/E ECUDOS	69000 VOLTIOS
3	Bajada del Trafo 1	13800 VOLTIOS
4	Barra de 13.8 KV	13800 VOLTIOS
5	Salida de TGE-3	4160 VOLTIOS
6	Barra de 5.5 KV	5500 VOLTIOS
7	Bajada del Trafo 4	4160 VOLTIOS
8	Barra de 4.16 KV	4160 VOLTIOS
9	CCM Picadoras 1, 2 y 3	4160 VOLTIOS
10	CCM Molinos 1, 2 y 3	4160 VOLTIOS
11	CCM Molinos 4, 5 y 6	4160 VOLTIOS

Tabla 3.1: Valores de Voltajes en las Barras

#### 3.3.2 Datos de Barras de Carga

Carga	# barra	Barra	MW	MVAR	fp
ECUDOS	6	Barra 5.5	6,37	2,92	0,9090423
Picadora 1	9	CCM picadoras 1, 2 y 3	1,17495	0,4862	0,924013
Picadora 2	9	CCM picadoras 1, 2 y 3	1,17495	0,4862	0,924013
Picadora 3	9	CCM picadoras 1, 2 y 3	1,17495	0,4862	0,924013
Molino 1	10	CCM molinos 1, 2 y 3	0,8952	0,5782	0,840017995
Molino 2	10	CCM molinos 1, 2 y 3	0,6714	0,4336	0,840046505
Molino 3	10	CCM molinos 1, 2 y 3	0,6714	0,4336	0,840046505
Molino 4	11	CCM molinos 4, 5 y 6	0,6714	0,4336	0,840046505
Molino 5	11	CCM molinos 4, 5 y 6	0,6714	0,4336	0,840046505
Molino 6	11	CCM molinos 4, 5 y 6	0,5595	0,3614	0,84000888

Tabla 3.2: Valores de Cargas en las Barras

#### 3.3.3 Datos de Líneas y Conductores

Barra	Barra	Línea	Tipo de Conductor
1	2	Subtransmisión	ACSR HAWK 477.0 MCM
3	4	Conexión de TPE a la barra de 13.8	AWG 350 MCM
7	8	Conexión de TPR a la barra de 4.16	AWG 350 MCM
8	9	Alimentación a CCM PICADORAS 1,2 y 3	AWG 350 MCM
8	10	Alimentación a CCM MOLINOS 1,2 y 3	AWG 350 MCM
8	11	Alimentación a CCM MOLINOS 4,5 y 6	AWG 350 MCM

Conductores por Fase	Distancia (Km)	Reactancia (Ω/Km)	Zbase (Ω)	Capacidad del Conductor (MVA)	X(Ω)	X p.u.	Capacidad Total (MVA)
1	3.2	0.2672467	47.61	50	0.855189	0.017962	50
4	0.15	0.1332	1.9044	8.34	0.00666	0.003497	33.36
4	0.256	0.1332	0.173056	3.63	0.008525	0.04926	14.52
3	0.014	0.1332	0.173056	3.63	0.000622	0.003592	10.89
2	0.0013	0.1332	0.173056	3.63	8.66E-05	0.0005	7.26
2	0.0016	0.1332	0.173056	3.63	0.000107	0.000616	7.26

Tabla 3.3: Valores de Impedancias de los Conductores Eléctricos

### 3.3.4 Datos de Transformadores de Fuerza

Transformador	Voltaje Primario	Voltaje Secundario	Capacidad	Conexión	Ubicación	Impedancia
TPE	69 KV	13.8 KV	31.6 MVA	Estrella Aterrizado-Delta	Subestación	9.02 %
TPR	69 KV	5.5/4.16 KV	17.25 MVA	Delta-Estrella	Subestación	8.73% / 8.8%
TRAFO 13.8/4.16 KV	13.8 KV	4.16 KV	7.5 MVA	Estrella Aterrizado-Delta	Salida del TGE-3	6.09 %
TRAFO 13.8/5.5 KV	13.8 KV	5.5 KV	7.5 MVA	Delta-Estrella	Salida del TGE-1 y TGE-2	6.10 %

Tabla 3.4: Valores de Capacidades de Transformadores y sus Impedancias

### 3.4.2 Consumo

GENERACIÓN TOTAL		CONSUMO TOTAL		EXCEDENTE TOTAL	
Mw	Mvar	Mw	Mvar	Mw	Mvar
29.04	12.2	14.01	7.05	15.02	2.78

Tabla 3.6: Valores de la Generación, Consumo y Excedentes Total del Ingenio ECUDOS

## 3.4 Resultados de los Estudios de Flujo de Carga

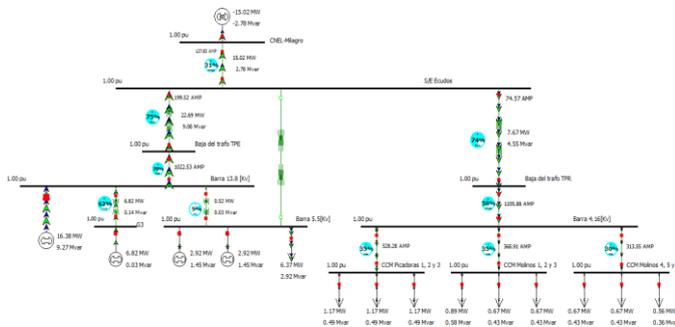


Figura 3.1: Flujo de Carga de Caso Base

### 3.4.1 Voltajes en Barras

# BARRA	BARRA	VOLTAJE DE BARRA (Kv)	VOLTAJE DE BARRA (p.u)
1	CNEL-MILAGRO	69	1
2	S/E ECUDOS	69.0345	1.0005
3	Baja del Trafo TPE	13.79862	0.9999
4	Barra de 13.8 KV	13.80276	1.0002
5	Salida de TGE-3	4.16	1
6	Barra de 5.5 KV	5.5	1
7	Baja del Trafo TPR	4.177472	1.0042
8	Barra de 4.16 KV	4.169152	1.0022
9	CCM Picadoras 1, 2 y 3	4.169152	1.0022
10	CCM Molinos 1, 2 y 3	4.169152	1.0022
11	CCM Molinos 4, 5 y 6	4.169152	1.0022

Tabla 3.5: Valores de Voltajes en las Barras Obtenidos del Flujo de Carga

### 3.4.3 Carga de Conductores

BARRA	BARRA	EQUIPO	CARGABILIDAD (%)
CNEL-MILAGRO	S/E ECUDOS	Línea 1	31
Baja del Trafo 1	Barra de 13.8	Línea 2	70
Baja del Trafo 4	Barra de 4.16	Línea 3	58
Barra de 4.16 KV	CCM Picadoras 1, 2 y 3	Línea 4	35
Barra de 4.16 KV	CCM Molinos 1, 2 y 3	Línea 5	35
Barra de 4.16 KV	CCM Molinos 4, 5 y 6	Línea 6	30

Tabla 3.7: Valores de la Cargabilidad de los Conductores Obtenidos del Flujo de Carga

### 3.4.4 Carga de los Transformadores

BARRA	BARRA	EQUIPO	CARGABILIDAD (%)
S/E ECUDOS	Baja del Trafo 1	Transformador 1	75
Barra de 13.8 KV	Salida de TGE-3	Transformador 2	62
Barra de 13.8 KV	Barra de 5.5 KV	Transformador 3	9
S/E ECUDOS	Barra de 5.5 KV	Transformador 4	0
S/E ECUDOS	Baja del Trafo 4	Transformador 4	74

Tabla 3.8: Valores de la Cargabilidad de los Transformadores

### 3.4.5 Ajustes de los Taps

Transformador	Tap	Relación
TPE	3	70725/13800
TPR(Y)	5	67275/4160
Trafo 13.8 / 4.16 Kv	3	13800/4160
Trafo 13.8 / 5.5 Kv	3	13800/5500

Tabla 3.9: Valores de los Ajustes de los Taps en los Transformadores

## 4. Estudios de Corto Circuito

### 4.1 Alcance de los Estudios de Corto Circuito

Considerando que el Sistema del Ingenio ECUDOS se caracteriza por ser un sistema típicamente aterrizado el estudio de corto circuito considera los siguientes tipos de falla:

- Falla Trifásica a tierra
- Falla de línea a tierra.

La falla trifásica a tierra es a menudo, para este tipo de sistema, la más severa de todas, por ello es costumbre de simular solamente la falla trifásica cuando se busca las magnitudes máximas de corriente de falla; sin embargo se verificara que la corriente de falla a tierra no exceda la corriente trifásica.

### 4.2 Impedancias Equivalentes en el Punto de Entrega de CNEL Milagro

La Empresa Eléctrica nos ha entregado los MVA de Corto Circuito y las Impedancias de Thevenin en la Barra de Interconexión de la Industria con la Empresa. La información ha sido trasladada a la base de 100MVA y 69KV y se indica en la siguiente tabla:

#### 4.2.1 Impedancias Equivalentes

	X1	X2	X0
<b>Reactancia equivalente vista desde la S/E La Troncal</b>	0.07921	0.07921	0.0522
<b>Base: 100 MVA; 69 KV</b>			

Tabla 4.1: Impedancias Equivalentes

Estas impedancias se aplicarán para los cálculos de la Corriente Momentánea y la corriente a interrumpir debido a que la Empresa Eléctrica es considerada siempre como una barra infinita que se caracteriza por no tener decremento AC.

#### 4.2.2 Datos de los Conductores

Los conductores son elementos pasivos en el análisis de corto circuito, sus características técnicas son similares a las aplicadas en los estudios de flujo de carga.

### 4.3 Datos de los Transformadores de Fuerza

Igual que en el caso de los conductores los Transformadores son elementos pasivos en el análisis

de corto circuito, sus características técnicas son similares a las aplicadas en los estudios de flujo de carga.

## 4.4 Resultados de los Estudios de Corto Circuito

### 4.4.1 Corriente de Falla en Cada Barra

Barra en Falla	Falla 3f (A)	Falla 1f (A)
CNEL-MILAGRO	11842.8	13451.4
S/E ECUDOS	9931.18	10422.3
Baja del Trafo TPE	23447.6	17464.1
Barra de 13.8 Kv	23482.5	17695.2
Salida de TGE-3	35083.2	24.018
Barra de 5.5 Kv	14939.6	11175.6
Baja del Trafo TPR	23861.5	0.004
Barra de 4.16 Kv	22048.8	0.004
CCM Picadoras 1, 2 y 3	21925.2	0.004
CCM Molinos 1, 2 y 3	22031.5	0.004
CCM Molinos 4, 5 y 6	22027.5	0.004

Tabla 4.2: Impedancias Equivalentes

## 5. Coordinación de las Protecciones

### 5.1. Esquemas de Protecciones

#### 5.1.1 Esquemas de Protección de Generadores

La protección del TGE-4 con capacidad de 16.8 MW, del TGE-3 con capacidad de 7 MW y de los TGE-1 y TGE-2 con capacidad de un 3 MW se la realiza mediante Relés General Electric 489 los cuales son diseñados específicamente para los generadores. Estos relés son multifuncionales y brindan monitoreo, medida, protección, control e interfaz con el usuario. A continuación en la siguiente figura se muestra el esquema de protección del generador.

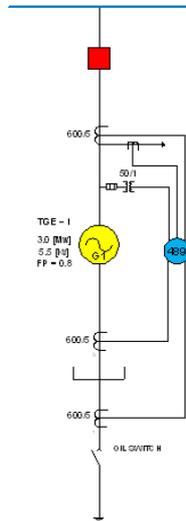


Figura 5.1: Esquema de protección del TGE-1 y TGE-2

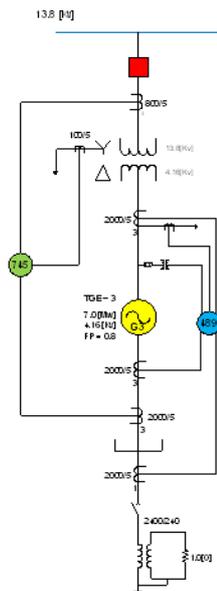


Figura 5.2: Esquema de protección del TGE3

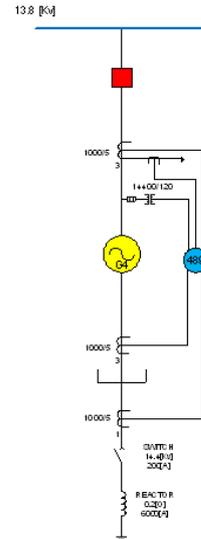


Figura 5.3: Esquema de protección del TGE4

#### 5.1.2 Esquemas de Protección de Transformadores

El TGE-4 se conecta a un transformador (TPE) que eleva el nivel de voltaje de 13800 voltios a 69000 voltios, el transformador TGE-3 está conectado a un transformador que eleva el nivel de voltaje de 4160 voltios a 13800 voltios y este a su vez se conecta al mismo transformador TPE el cual eleva el nivel de voltaje a 69000 voltios, el TGE-1 y el TGE-2 se conecta a un transformador que eleva el voltaje de 5500 voltios a 13800 voltios y este a su vez se conecta al mismo transformador TPE que eleva el nivel de voltaje a 69000 voltios.

Las cargas de las picadoras y los molinos están conectados a un transformador (TPR) con conexión especial el cual en su secundario consta con dos devanados, este está conectado al devanado de 4160 voltios el cual eleva su voltaje a 69000 voltios. Estos transformadores son protegidos mediante relés General Electric 745. Estos relés son multifuncionales y brindan monitoreo, medida, protección y control además estos relés combinan elementos de protección diferencial porcentual, sobrecorriente, frecuencia y sobreexcitación. A continuación en la siguiente figura se muestra el esquema de protección de los transformadores.

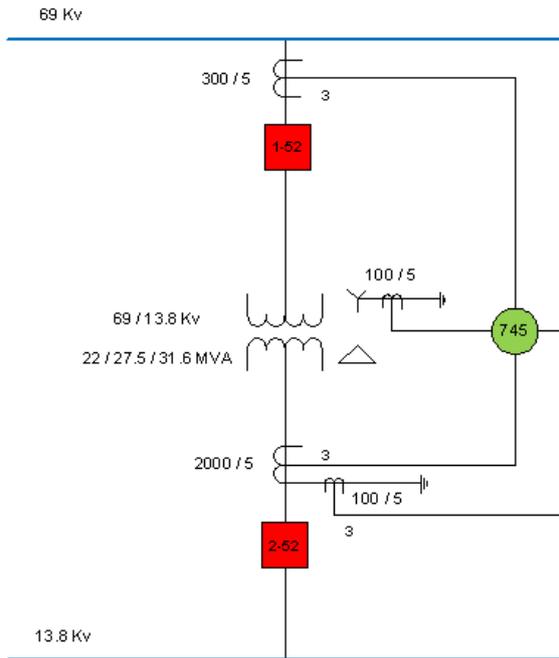


Figura 5.4: Esquema de protección del Transformador TPE

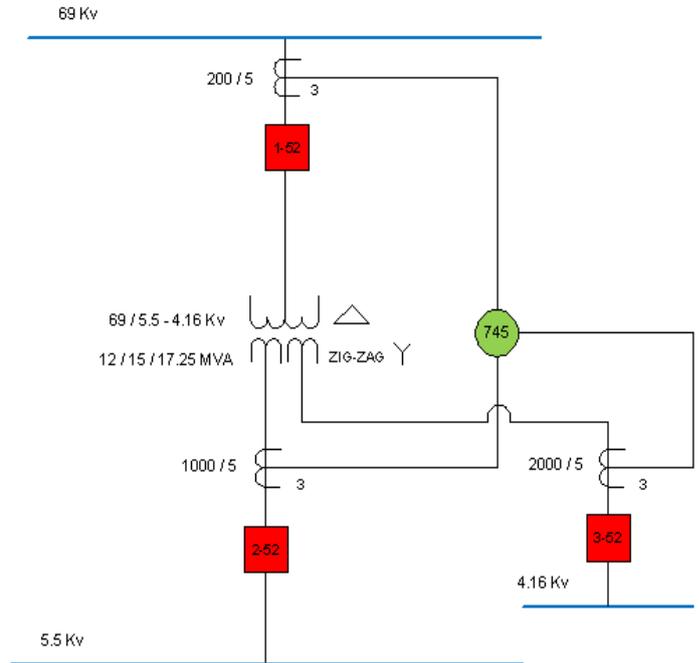


Figura 5.6: Esquema de protección del Transformador TPR

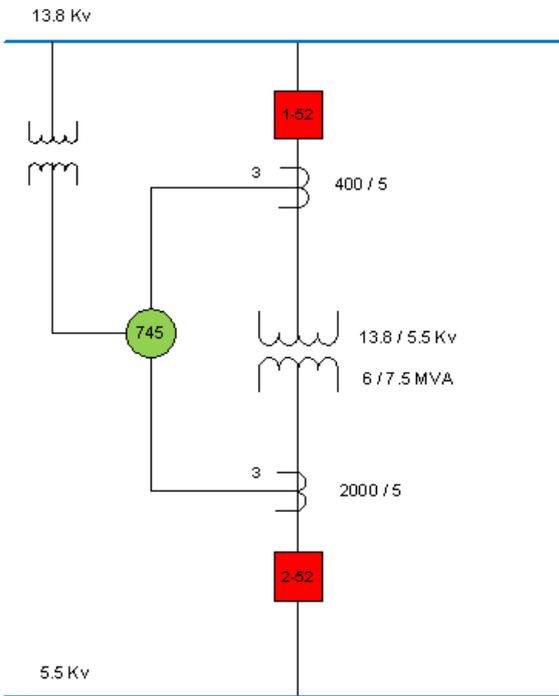


Figura 5.5: Esquema de protección del Transformador 13.8 a 5.5 Kv

### 5.1.3 Esquemas de Protección de Líneas

En nuestro estudio se realizó la protección de la línea de 69000 voltios en donde se interconecta el Ingenio ECUDOS con el Sistema Nacional Interconectado en este caso con CNEL Milagro.

Esta protección se la realizó con el Relé de Distancia Sel-311C, en el cual se usó la función de protección de distancia y la función de protección de sobrecorriente direccional. A continuación en la siguiente figura se muestra el esquema de protección del generador.

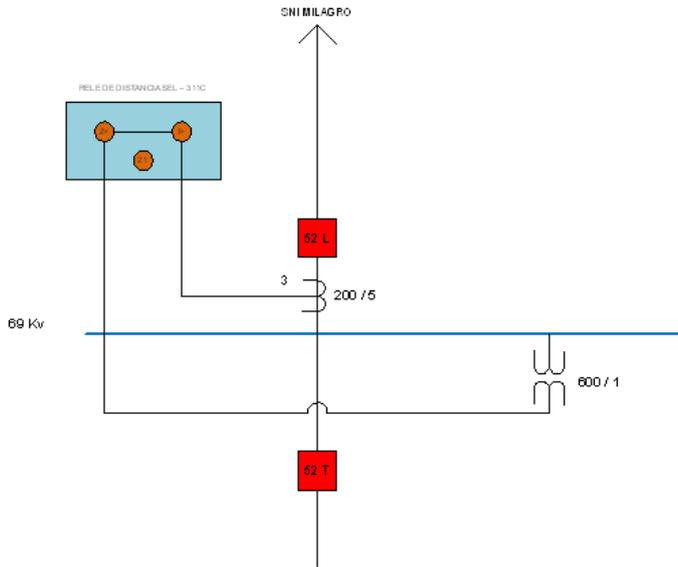


Figura 5.7: Esquema de protección de la Línea CNEL Milagro

### 5.1.4 Esquemas de Protección de los Motores

Los motores de las tres picadoras y de los seis molinos están protegidos mediante un relé multifuncional General Electric 469 el cual cumple la función de sobrecarga, instantáneo y diferencial, cada motor posee su relé 469 y un fusible de 300 amperios, y cada tres motores posee un relé 750 de alimentadora el cual está coordinado y brinda respaldo a el relé 469.

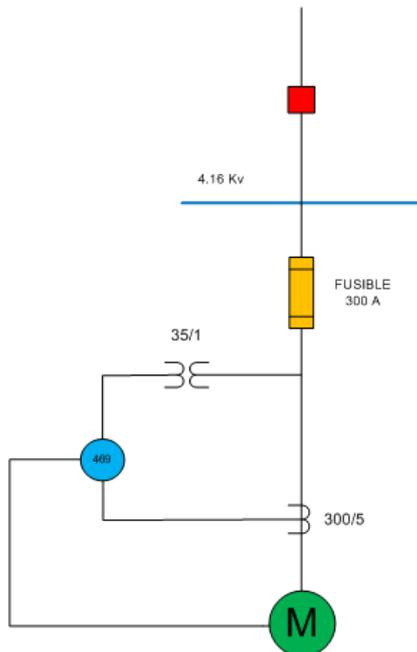


Figura 5.8: Esquema de protección de los Motores

### 5.1.5 Esquemas de Protección del Sistema de Alimentación a los Motores

La alimentación de los motores es protegida por un relé multifuncional General Electric 750 el cual está cumpliendo la función de sobrecorriente y además brinda respaldo en caso de fallo del relé 469.

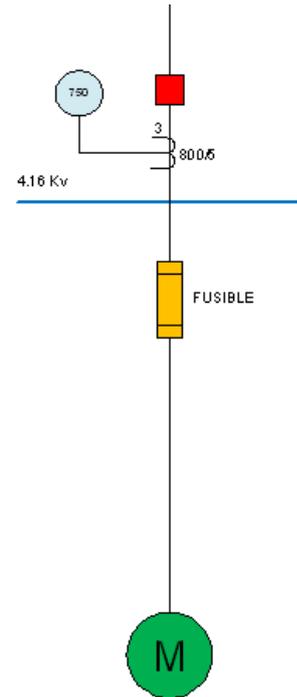


Figura 5.9: Esquema de protección de la Alimentación de los Motores

## 5.2 Ajuste y Coordinación de las Protecciones

La información básica para el ajuste y coordinación de las protecciones provienen de los estudios de flujo de carga, corto circuito y los esquemas de protección indicados en la sección anterior.

### 5.2.1 Coordinación de las Protecciones

La coordinación de las protecciones se las ha realizado con un retardo de tiempo entre relés de 0,2 segundos a 0,3 segundos, de esta manera nos aseguramos que exista selectividad y velocidad en la coordinación.

En los generadores se utilizó la unidad de sobrecorriente con restricción de voltaje; el voltaje se lo reguló a un 40%. Se seleccionaron distintas curvas

de acuerdo a las normas IAC e IEC para realizar la coordinación, para cada relé se uso la curva característica que detalla el manual del fabricante.

En los esquemas de protección presentados a inicios de este capítulo se detallan la ubicación de cada una de las unidades de sobrecorriente del sistema.

La unidad instantánea en el relé de protección de motores 469 se la ha ajustado a partir de que la curva de este relé se vuelve constante y su ajuste es a 8 veces la corriente nominal del motor.

La figura 5.10 muestra las curvas de operación y coordinación de las protecciones desde el punto de conexión con CNEL-Milagro hasta el TGE-4.

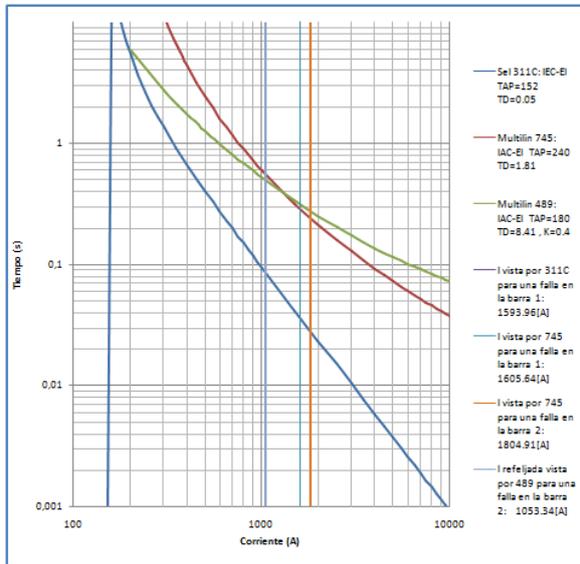


Figura # 5.10: Coordinación de las protecciones del Sel 311C – 745(TPE) – 489(TGE-4).

La figura 5.11 muestra las curvas de operación y coordinación de las protecciones desde el punto de conexión con CNEL-Milagro hasta el TGE-3.

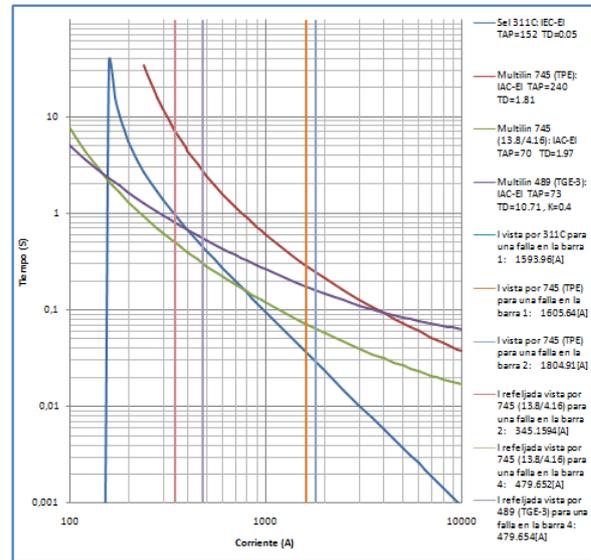


Figura # 5.11: Coordinación de las protecciones del Sel 311C – 745(TPE) – 745(13.8/4.16) - 489(TGE-3).

La figura 5.12 muestra las curvas de operación y coordinación de las protecciones desde el punto de conexión con CNEL-Milagro hasta el TGE-1 y TGE-2.

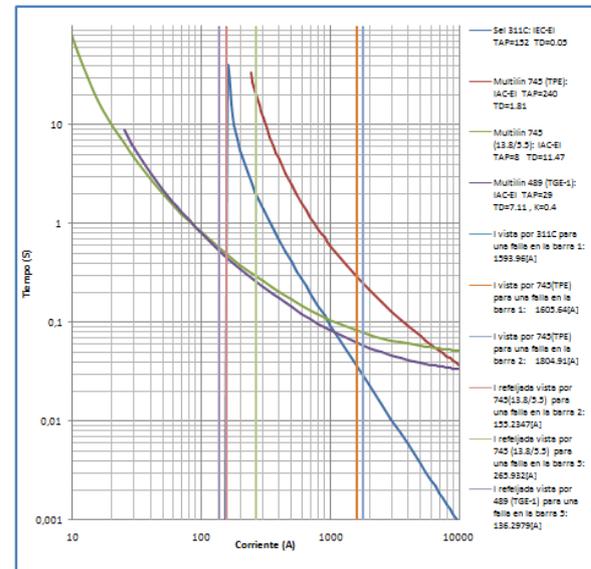


Figura # 5.12: Coordinación de las protecciones del Sel 311C – 745(TPE) – 745(13.8/5.5) - 489(TGE-1 y TGE-2).

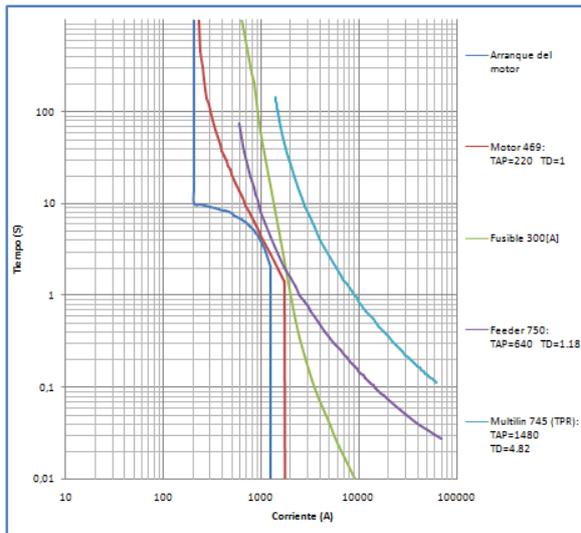


Figura # 5.13: Coordinación de las protecciones del Arranque del motor - 469 – Fusible – 750 – 745(TPR).

### 5.3 Resumen de Ajustes

Sel 311C		Multilin 745 (TPE)		Multilin 489 (TGE-4)		Multilin 745 (Trafo 13.8/4.16)		Multilin 489 (TGE-3)	
TD:	0.05	TD:	1.81	K:	0.4	TD:	1.97	TD:	10.71
Tap:	152	Tap:	240	TD:	8.41	Tap:	70	Tap:	73
Curva:	IEC-EI	Curva:	IAC-EI	Curva:	IAC-EI	Curva:	IAC-EI	Curva:	IAC-EI

Multilin 745 (Trafo 13.8/5.5)		Multilin 489 (TGE-1)		Motor 469		Feeder 750		Multilin 745 (TPR)	
TD:	11.47	TD:	7.11	TD:	1	TD:	2.74	TD:	5.49
Tap:	8	Tap:	29	Tap:	220	Tap:	640	Tap:	1480
Curva:	IAC-EI	Curva:	IAC-EI	Curva:	IAC-EI	Curva:	IAC-EI	Curva:	IAC-EI

Tabla 5.1: Ajustes de los Relés

## 6. Conclusiones y Recomendaciones

- De acuerdo a los resultados obtenidos en el estudio de flujo de carga, se ha determinado que tanto las líneas como los transformadores están en un nivel de carga y margen de reserva aceptable, excepto el transformador (TPE) el cual se le tuvo que ajustar a su capacidad máxima con aire forzado 31.60[MVA].
- Los voltajes de las barras obtenidos del flujo de carga están dentro de los rangos de regulación establecidos los cuales son +/- 2.5%.
- Los ajustes de los taps en los transformadores permiten que se cumplan los rangos de regulación de voltaje establecidos.

- La carga de las líneas y de los transformadores no se excede de los límites establecidos es decir que no están sobrecargados, lo que significa que tiene la reserva suficiente para un posible incremento a futuro de la carga.
- La corriente de falla de línea a tierra fue limitada a la corriente de falla trifásica a tierra por medio de la instalación de una resistencia aterrizada, elevada mediante un transformador en el generador TGE-3.
- Corrientes de falla de línea a tierra aguas abajo del transformador (TPR) en el lado de 4.16 [Kv] no existen ya que no hay aporte a la corriente en secuencia cero debido a la conexión del transformador (Delta-Estrella)
- Las coordinaciones fueron realizadas tomando en cuenta la corriente de falla máxima en cada barra que para nuestro caso todas se dieron para la falla trifásica excepto en la barra de 69 [Kv] en la cual la falla máxima se dio para la de línea a tierra.
- La coordinación debe realizarse para un mismo nivel de voltaje, que en nuestro caso el aporte de los generadores a la corriente de falla, para fallas aguas arriba del transformador de envío (TPE), tuvieron que transformarse a un nivel de voltaje de 69 [Kv].
- El relé Sel 311C deberá ser ajustado el direccional (67) para que cense corrientes de falla externas a la barra de 69 [Kv].

- En la protección de los motores se observa que el relé 750 es redundante con la protección de sobrecorriente 745 (TPR) y los fusibles para la protección de motores.
- Se escogió dimensionar el fusible, para los motores, a un valor de 300 [A], ya que encaja en la coordinación con el 469 y el 750 para corrientes mayores a 7 veces la corriente nominal del motor.
- En el relé 469 se ajusto su instantáneo (50) para valores mayores a 8 veces el tap, ya que en la curva del relé para valores mayores de corriente el tiempo se vuelve constante, entonces para evitar cualquier descoordinación se decidió ajustarlo con instantáneo.



# ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



- 13) Se dedujo que la corriente de falla y las corrientes que aportan a la misma se hacen cada vez mayores cuando la falla está cercana a la barra de generación ya que con esto se reduce el valor de la impedancia desde la generación hasta el punto de falla.
- 14) Se deben tener en cuenta todos los parámetros necesarios de líneas, transformadores, generadores y de los distintos tipos de aterrizamiento del sistema para obtener un estudio lo más cercano posible a lo real, para con ello poder tomar decisiones sobre las protecciones del sistema y su coordinación.
- 15) Para los ajustes de cada uno de los relés se consideró las recomendaciones dadas por los fabricantes, tomadas de cada uno de sus respectivos manuales.

## 7. Agradecimientos

En primer lugar agradecemos con todo nuestro corazón a Dios, por siempre estar junto a nosotros guiándonos en cada paso que damos, ya que gracias a Él hoy en día somos hombres de bien gozando de una excelente instrucción académica un privilegio que no todo el mundo adquiere.

A nuestros padres, personas ejemplares que siempre han dado todo por nosotros, cultivando en nosotros buenos valores y de esa manera formarnos como hombres que aporten a la sociedad, nosotros somos el reflejo de su gran esfuerzo por sacarnos adelante y brindarnos una excelente educación, gracias a Dios por regalarnos la Bendición de tener unos padres maravillosos.

Al Ing. Juan Saavedra, quien con mucha sabiduría, paciencia y entrega supo guiarnos con nuestra tesis de graduación. A cada uno de los ingenieros que nos instruyeron a lo largo de nuestra carrera ya que ellos son las bases de nuestros conocimientos.

Al INGENIO ECUDOS, por confiar en nosotros y sin dudar nos brindaron toda la información necesaria, un agradecimiento especial a los ingenieros Luis Aguirre, Luis Guerrero y Álvaro Cueva por siempre estar con la mejor disposición del mundo para aclarar nuestras inquietudes o dudas sobre el desarrollo de los estudios realizados.

## 10. Referencias

- [1] SchweitzerEngineeringLaboratories inc., (Manual de Relé SEL 311C); Estados Unidos - 2010.
- [2] General Electric Industrial System, (Manual de Relé GE- SR489); Canada – 2004.
- [3] General Electric Industrial System, (Manual de Relé GE- SR745); Canada – 2004.
- [4] General Electric Industrial System, (Manual de Relé GE- SR750); Canada – 2004.
- [5] General Electric Industrial System, (Manual de Relé GE- SR469); Canada – 2004.
- [6] STEVENSON WILLIAM. GREIGNER, JOHN; “POWER SYSTEM ANALYSIS”; McGraw Hill; Estados Unidos - 1992.
- [7] Normas IEEE Std C37.010-1979, IEEE Std C37.5-1979, IEEE Std 141-1993, IEEE Std 241-1990, and IEEE Std 242-1986.