



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



**“ESTUDIO DE COORDINACION DE PROTECCIONES
ELECTRICAS USANDO METODOS COMPUTARIZADOS
APLICADOS A CALIZAS HUAYCO S.A”**

Andrés Felipe Gutiérrez ⁽¹⁾, Francisco Coello Salguero ⁽²⁾, Daniel Chica García ⁽³⁾
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
fgutierr@fiec.espol.edu.ec ⁽¹⁾, ecoello@fiec.espol.edu.ec ⁽²⁾, dchica@fiec.espol.edu.ec ⁽³⁾

Resumen

“Estudios de coordinación de las protecciones eléctricas por métodos computarizados aplicados a Calizas Huayco S.A.” tiene como objetivo principal coordinar el sistema de protecciones de la industria mencionada implementando un modelo que incluya equipos de última generación satisfaciendo criterios operacionales, técnicos y económicos. Tras realizar el levantamiento en el que se recopilaron datos del todo el sistema eléctrico de la industria, se procedieron a realizar los estudios de flujo de carga, análisis de corto circuito y demás correspondientes para finalmente proponer un sistema adecuado de protecciones mediante el uso de herramientas modernas con la finalidad de aumentar la confiabilidad y eficiencia del sistema.

Abstract

This thesis project aims to provide “Calizas Huayco S.A” with a new proposal which would modify its current electrical protection system by using advanced technological relaying equipment in order to satisfy operative, technical and economical criteria. After having carried out the entire recognition of “Calizas Huayco S.A”’s current electrical power system elements (conductors, transformers, capacitors, etc), the authors proceeded to develop load flow analysis and short circuit analysis in order to determine the current status of the electrical system. The analysis mentioned above were provided valuable information which was used to determine the main features and characteristics of the proposal concerning the electrical protection system. The objective of this new proposal is to increase the system’s reliability and efficiency.

Keywords: *Calizas Huayco S.A, relaying, electrical protection systems, power flow analysis, short circuit analysis, protection system coordination.*

1. Introducción.

Los sistemas coordinados de protección representan no solo seguridad operacional, sino también económica. Un buen sistema de protecciones ayuda a justificar, a largo plazo, la inversión que realizan las empresas al adquirir equipos tales como transformadores de potencia y/o distribución, generadores, líneas de transmisión y demás.

Sin embargo, el estudio de coordinación requiere de etapas previas al mismo que garanticen una óptima calibración y ajuste de los dispositivos a usar en el sistema de protecciones siendo el análisis de flujo de carga y el de corto circuito las más necesarias. La primera permite establecer las condiciones actuales de los elementos del sistema eléctrico en cuestión, mientras que el análisis de corto circuito determina la magnitud de los esfuerzos eléctricos a los cuales podrían ser sometidos los equipos del sistema, en caso de producirse una falla de determinadas características.

Es por eso que “Estudios de coordinación de las protecciones eléctricas por métodos computarizados aplicados a Calizas Huayco S.A.” describe y analiza dichas etapas a fin de establecer los criterios bajo los cuales se propondrá un sistema de protecciones coordinado basado en el uso de dispositivos numéricos.

1.1 Descripción física generalizada de las instalaciones

El estudio a ser realizado será llevado a cabo en “Calizas Huayco S.A.”. Esta industria se encuentra ubicada en la ciudad de Guayaquil, en el Kilómetro 12 ½ vía a la Costa, a los pies del “Cerro Azul”, siendo la principal productora de materiales derivados de piedra tales como: Cementina, Cal Viva, piedra chispa, arena fina y gruesa, grava, etc.

1.2 Descripción general del sistema eléctrico

A nivel eléctrico, la planta está conformada por una subestación principal cuyo transformador posee una capacidad de 3750 KVA. De esta salen dos ramales (a 13800 V) separados que alimentan las sub-plantas y los servicios auxiliares a niveles de 480 V y 240/120 V respectivamente.

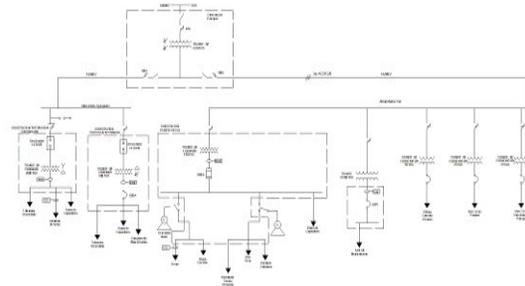


Figura #1. Diagrama unifilar Eléctrico de Calizas Huayco S.A.

1.3 Descripción de las subestaciones

La subestación principal está ubicada a la entrada de la industria y cuenta con un transformador trifásico de potencia cuya capacidad es de 3750 KVA. La acometida en el primario está hecha a nivel de 69000 voltios y su voltaje en el secundario es de 13800 voltios. es de 480 V y 240/120 V respectivamente.



Figura #2. Transformador 3750KVA subestación principal

La subestación de trituración primaria consta de un transformador trifásico de 500 KVA, cuyo voltaje primario y secundario es 13200 y 460 voltios, respectivamente.



Figura #3. Transformador 500KVA subestación primaria

La subestación de trituración secundaria consta de un transformador trifásico de 2000 KVA, cuyo voltaje primario y secundario es 13200 y 460 voltios, respectivamente.



Figura #4. Transformador 2000KVA subestación secundaria

La subestación “Planta de Cal” se encuentra en la parte central e izquierda de la **Figura#1** (punto “B”) y consta de un transformador trifásico de 750 KVA, cuyo voltaje primario y secundario es 13200 y 460 voltios, respectivamente. En esta planta se realiza el principal proceso de la industria, la producción de Cal.



Figura #5. Transformador 750KVA subestación Planta de Cal

1.4 Descripción del caso “Optimizado”

Dentro del estudio realizado se ha determinado proponer una alternativa que mejore la confiabilidad del sistema eléctrico dado que la disposición actual del mismo se presta para ello. Como se mencionó anteriormente, las dos alimentadoras principales de “Calizas Huayco S.A” (Alimentador “Cal” y “Agregados”) terminan en el mismo poste tal y como se muestra en la **Figura#16** lo que posibilita que exista una interconexión entre ambas alimentadoras.



Figura #6 Punto de transferencia

Se pretende entonces, establecer un sistema de control bajo falla que consiste en la implementación de switches automáticos (SA1, SA2, SB1, SB2, ST) que funcionarán coordinadamente cuando ocurra una falla con el fin de mantener alimentadas las cargas fundamentales (Ver **Figura #7**). Ante las

contingencias mencionadas a continuación, el sistema deberá responder de la siguiente manera:

Para una falla en el alimentador “Cal” ubicada entre los puntos A1 y A2:

Ambos interruptores automáticos (denominados SA1 y SA2) deberán abrir despejando la falla mientras que el interruptor ST conectará el alimentador “Agregados” al sistema del horno.

Para una falla en el alimentador “Agregados” ubicada entre los puntos B1 y B2:

Ambos interruptores automáticos (denominados SB1 y SB2) deberán abrir despejando la falla mientras que el interruptor ST conectará el alimentador “Cal” al sistema del horno.

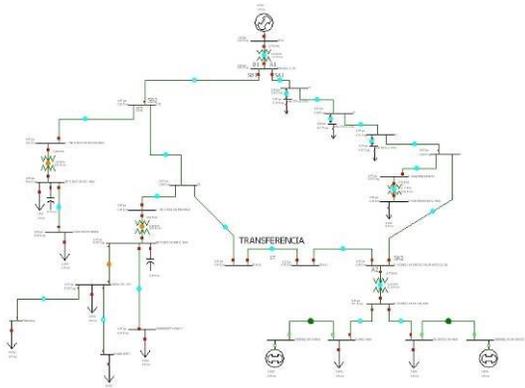


Figura #7. Disposición interruptores y switch de transferencia

2. Estudios de Flujo de Potencia

2.1 Criterios adoptados para el estudio

2.1.1 Flexibilidad Operacional

El sistema podrá funcionar alimentado por la Empresa Eléctrica o por medio de los generadores de emergencia sin ninguna restricción

2.1.2 Niveles de Confiabilidad

El sistema debe proveer la continuidad del servicio y la alimentación a las instalaciones de la industria en forma prioritaria, ante la existencia de falla de algún elemento del sistema.

2.1.3 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.

2.1.4 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.

2.2 Análisis de casos

2.2.1 Caso Base

Para el presente proyecto, el caso base se ha desarrollado bajo varias condiciones presentadas a continuación junto con la respectiva figura que se uso como modelo para correr el flujo de carga del sistema eléctrico de “Calizas Huayco S.A”.

2.2.1.1 Caso Base (Máxima carga)

Para el presente proyecto, el caso base para máxima carga considera todas las cargas instaladas (trituration primaria y secundaria, planta de cal y servicios generales) a su potencia nominal, considerando un factor de demanda de 0,75. Se presenta a continuación el diagrama que se utilizó para el estudio de flujo de carga.

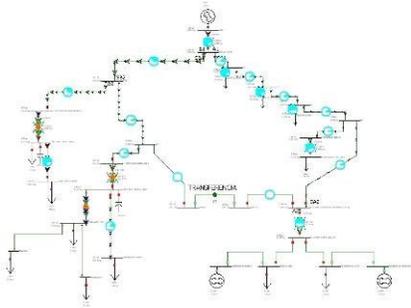


Figura #8. Caso base para el estudio de flujo de carga (máxima carga)

2.2.1.2 Caso Base (Mínima carga)

Para el presente proyecto, el caso base para mínima carga considera que solo las cargas del horno e hidratación (considerando un factor de demanda de 0,75) están energizadas debido a que estas operan casi las 24 horas del día. Se presenta a continuación el diagrama que se utilizó para el estudio de flujo de carga.

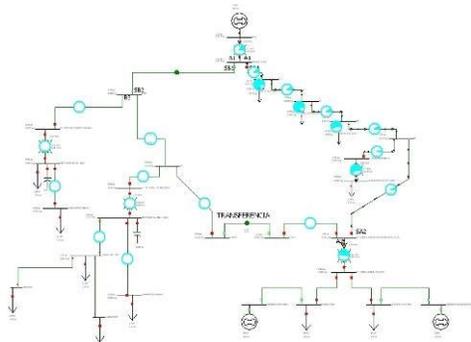


Figura #9. Caso base para el estudio de flujo de carga (mínima carga)

2.2.3 Caso Optimizado

El caso optimizado, descrito en el capítulo anterior, será representado con los siguientes diagramas unifilares, los mismos que se utilizarán para correr el flujo de carga.

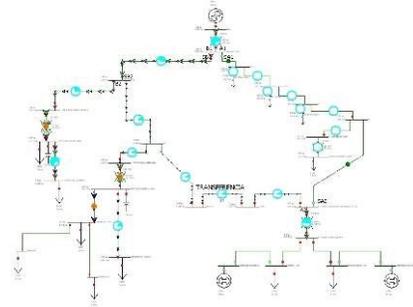


Figura #10 a. Caso optimizado para el estudio de flujo de carga cuando falla en el alimentador “Cal”

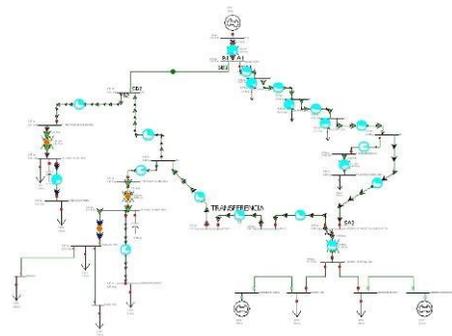


Figura #20 b. Caso optimizado para el estudio de flujo de carga cuando falla en el alimentador “agregados”

2.3 Datos del Sistema

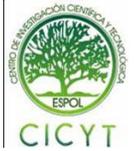
2.3.1 Datos de barras de carga

2.3.1.1 Datos de las cargas de la Subestación “Trituración Primaria”

A continuación se describen las cargas alimentadas por la Subestación “Trituración primaria”



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



Nº	MOTOR EQUIPO	MOTOR				
		HP	AMP.	P(KW)	Q(KVAR)	
1	Motor de la Banda Transportadora # 2	90KW	156	90	124.28832	55.71806396
2	Motor de la Banda Transportadora # 1	40	50	29.84	39.836	26.39093208
3	Motor de Trituradora EP-38	345	440	287.37	350.5565	238.0141668
4	Bomba de Lubricación de Trituradora EP-38	0.18KW	0.64	0.18	0.5099008	0.477073187
5	Motor de Martillo Hidráulico Kent	30	37	22.38	29.47864	19.1660513
6	Motor de la Banda Transportadora # 32	25	32	18.65	25.49504	17.383169
7	Motor de la Banda Transportadora # 31	25	32	18.65	25.49504	17.383169
8	Motor de la Zaranda Tyler	30	36	22.38	28.65192	17.93845408
9	Motor de la Banda Transportadora # 30	20	24.8	14.92	19.788656	12.95369009
10	cargas VARIAS*	100kw	150	100	119.508	65.43823091

Tabla#1 "Cargas conectadas a la subestación "Trituración Primaria"

Nº	EQUIPO/secuencia	KVAR
1	banco de capacitores BC-E	25
2	banco de capacitores BC-D	60
3	banco de capacitores BC-C	90
4	banco de capacitores BC-B	90
5	banco de capacitores BC-A	90
6	banco de capacitores	355

Tabla#2 Compensación de Hechivos de la subestación "Trituración Primaria"

CARGAS DE LA SECCION PRIMARIA		
P(KW)	S(KVA)	Q(KVAR)
574.37	763.6083168	500.8835742

Tabla#3 Carga total de la sección "Trituración Primaria"

2.3.1.2 Datos de las cargas de la Subestación "Trituración Secundaria"

Como se estipuló en el capítulo 1, la subestación "Trituración Secundaria" alimenta a cuatro tableros. A continuación se presentan las cargas conectadas a cada uno de los tableros antes mencionados.

Cargas conectadas al Tablero "A"

Tablero	Nº	MOTOR EQUIPO	MOTOR				
			HP	AMP.	P(KW)	S(KVA)	Q(KVAR)
A	1	Bomba Lubricadora Trituradora Giradiscos	10	15	7.46	11.951	9.336
	2	Plato Reparador Trituradora Giradiscos	3	5.2	2.238	4.143	3.486
	4	Trituradora Giradiscos	160KW	250	160	223.062	155.452
	5	Banda Transportadora 18	7.5	10.5	5.595	8.366	6.219
	6	Bomba Lubricadora Trituradora Symons S 1/2	8	7	3.73	5.577	4.146
	8	Banda Transportadora 20B	15	17.2	11.19	13.704	7.910
	9	Banda Transportadora 20*	15	17.2	11.19	13.704	7.910
	10	Ventilador de Enfriamiento Trituradora Symons S 1/2	10	14.5	7.46	11.552	8.821
	11	Alimentador Banda Transportadora 24A	0.8	1.08	0.5968	0.860	0.620
	12	Banda Transportadora 24*	7.5	20	5.595	18.934	14.920
	13	Bomba de Enfriamiento de Acetate Trituradora Symons 4 1/4	3	5.2	2.238	4.143	3.486
	14	Banda Transportadora 17	10	13.5	7.46	10.758	7.748
	15	Banda Transportadora 16	7.5	11.7	5.595	9.322	7.456
	16	Banda Transportadora 14	7.5	10.5	5.595	8.366	6.219
	17	Trituradora Symons 4 1/4	132KW	228	132	179.262	121.288
	18	Bomba de Lubricación Trituradora Symons 4 1/4	3	5.2	2.238	4.143	3.486
	20	Banda Transportadora 21	40	49	29.84	39.039	28.172
	21	Banda Transportadora 7	90KW	156	90	124.288	85.718
	22	Banda Transportadora 22	7.5	10.5	5.595	8.366	6.219
	23	Banda Transportadora 23	7.5	10.5	5.595	8.366	6.219
	24	Banda Transportadora 24	20	26	14.92	20.715	14.370
	25	Banda Transportadora 20	40	48	29.84	38.243	23.918
	26	Banda Transportadora 15	17	21.9	12.682	17.448	11.984
	27	Banda Transportadora 13	47CV	57	34.8	45.413	29.531
	28	Banda Transportadora 11	15	28	11.19	22.308	19.299

Tabla #4 "Cargas conectadas al tablero "A" de la subestación "Trituración secundaria"

Total Tablero A		
P(KW)	S(KVA)	Q(KVAR)
604.363	849.045	590.5359

Tabla #5 "Carga total conectada al tablero "A"

Cargas conectadas al Tablero "B"

Tablero	Nº	MOTOR EQUIPO	MOTOR				
			HP	AMP.	P(KW)	S(KVA)	Q(KVAR)
B	29	Gusano de Polvo	5.5	8	4.103	6.37	4.88
	30	Banda Transportadora 28	7.5	10.5	5.595	8.37	6.22
	31	Banda Transportadora 27	25	32	18.65	25.50	17.38
	32	Banda Transportadora 5	34.5KW	57	34.5	45.41	29.53
	33	Zaranda Simplicity Carga	40	47.4	29.84	37.76	23.15
	34	Banda Transportadora 26	5.5	9	4.103	7.17	5.88
	35	Banda Transportadora 25	20	26	14.92	20.71	14.37
	36	Separador de Polvo	100	132	74.6	105.17	74.13
	37	Zaranda Simplicity Descarga	40	47.4	29.84	37.76	23.15
	38	Zaranda B2-1	30	40	22.38	31.87	22.69
	39	Zaranda B2-2	30	40	22.38	31.87	22.69
	40	Zaranda B4-1	30	40	22.38	31.87	22.69
	41	Zaranda B4-2	30	40	22.38	31.87	22.69
	42	Alimentador 1 (A 3,1)	5	7	3.73	5.58	4.18
	44	Zaranda B13	30	40	22.38	31.87	22.69
	45	Zaranda B18-1	30	40	22.38	31.87	22.69
	46	Zaranda B18-2	30	40	22.38	31.87	22.69
	47	Zaranda Ccdarajida (23)	50	61	37.3	48.60	31.16
	48	Banda Transportadora 10	21.3KW	37.5	21.3	29.88	20.95
	49	Banda Transportadora 9	20	26	14.92	20.71	14.37
	50	Banda Transportadora 4	57KW	82	57	65.33	31.92
	51	Banda Transportadora 3	40	47.5	29.84	37.84	23.28
	53	Banda Autolimp. Magn.3*	2	2.9	1.492	2.31	1.76
	54	Banda Transportadora 12	40	50	29.84	39.64	26.39
	55	Banda Transportadora 21*	3	4.6	2.238	3.66	2.90
	56	Banda Transportadora 26*	5.5KW	11.2	5.5	8.92	7.03
	57	Banda Transportadora 8	90KW	156	90	124.29	85.72

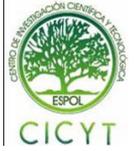
Tabla #6 "Cargas conectadas al tablero "B" de la subestación "Trituración secundaria"

Total Tablero B		
P(KW)	S(KVA)	Q(KVAR)
607.12	904.28	607.123

Tabla #7 "Carga total conectada al tablero "B"



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



Cargas conectadas al Tablero "C"

Tablero	Nº	MOTOR EQUIPO	MOTOR		
			HP	AMP	P(KW) S(KVA) Q(KVAR)
C	58	Alimentador A3.3 Bomba de Enfriamiento de Aceite S0486555	0.82KW	1.08	0.82 0.86 0.26
	59	Banda Transportadora 5*	3	5.2	2.238 4.14 3.49
	62	Ventilador de Enfriamiento de Aceite S0486555	5	6.2	3.73 4.94 3.24

Tabla #8 "Cargas conectadas al tablero "C" de la subestación "Trituración secundaria"

Total Tablero "C"		
P(KW)	S(KVA)	Q(KVAR)
14.288	18.3086	10.69136678

Tabla #9 "Carga total conectada al tablero "C"

Cargas conectadas al Tablero "D"

Tablero	Nº	MOTOR EQUIPO	MOTOR		
			HP	AMP	P(KW) S(KVA) Q(KVAR)
D	63	Ventilador de Enfriamiento 1 Cono G (MS)	0.78KW	2.4	0.75 1.91 1.76
	64	Ventilador de Enfriamiento 2 Cono G (MS)	0.78KW	2.4	0.75 1.91 1.76
	65	Bomba de Aceite (M7)	4KW	9	4 7.17 3.95
	66	Bomba de Aceite (M7)	4KW	9	4 7.17 3.95
	67	Banda Transportadora 19*	8.6KW	15.6	8.6 12.43 9.97
	68	Banda Transportadora 7D	17	21.9	12.68 17.45 11.98
	69	Banda Transportadora 7*	8.6KW	15.6	8.6 12.43 9.97
	70	Banda Transportadora 7C	30	38	22.38 30.28 20.39
	72	Alimentador Cono G	10	12	7.46 9.56 5.85
	73	Soplador	0.5KW	1.5	0.5 1.20 1.09
	74	Banda Transportadora 5C	17	21	12.68 16.73 10.91
	75	Banda Transportadora 5B	20	26	14.92 20.71 14.37
	76	Banda Transportadora 19B	30	39.6	22.38 31.55 22.24
	77	Medial Banda Transportadora 19B	3	4.2	2.238 3.35 2.49
	78	Winche Banda Transportadora 19B	10	13.5	7.46 10.76 7.75
	79	Trituradora Symons S 1/2	210	380	156.7 286.82 240.26
	80	Trituradora Cono G	300	380	223.8 286.82 179.38
	81	lavadora de arena	50kw	100	50 79.67 62.03
	82	cargas varias	50kw	100	50 79.67 62.03

Tabla #10 "Cargas conectadas al tablero "D" de la subestación "Trituración secundaria"

Total Tablero "D"		
P(KW)	S(KVA)	Q(KVAR)
606.612	912.04822	669.7601496

Tabla #11 "Carga total conectada al tablero "D"

Nº	EQUIPO/secuencia	KVA
1	banco de capacitores BC-A	45
2	banco de capacitores BC-B	40
3	banco de capacitores BC-C	60
4	banco de capacitores BC-D	85
5	banco de capacitores BC-E	90
6	banco de capacitores BC-F	90
7	banco de capacitores BC-G	85
8	banco de capacitores BC-H	84
9	banco de capacitores BC-I	90
10	banco de capacitores BC-J	60
11	banco de capacitores BC-K	81.5
	banco de capacitores total	729

Tabla #12 Compensación de reactivos de la subestación "Trituración secundaria"

CARGAS DE LA SECCION SECUNDARIA		
P(KW)	S(KVA)	Q(KVAR)
1891,2138	2683,67962	1878,51073

Tabla #13 "Carga total de la seccion de Trituración Secundaria"

2.3.1.3 Datos de las cargas de la Subestación "Planta de Cal"

Conectado a la subestación "Planta de Cal" encontramos el horno, el cual es una carga crítica del sistema de producción. En él operan varios motores cuyas especificaciones de potencia son mostradas a continuación.

Cargas del Horno

N	MOTOR EQUIPO	MOTOR			
		HP	AMP	P(KW) S(KVA) Q(KVAR)	
1	Alimentador Electromagnético N°-15	5kw	12	5 5.8064 2.25058472	
2	Alimentador Electromagnético N°-16	12KW	20.5	12 16.33276 11.07966828	
3	Motor del Transportador N°-10	11KW	19.5	11 15.29604 5.79128988	
4	Motor del Transportador N°-11	5.5	8.9	4.103 7.052608 3.58374923	
5	Motor de la Zerranda N°-12	5.5	8.9	4.103 5.497368 3.58374923	
6	Motor Quasano Horno N°-17	2.2KW	4.6	2.2 2.664912 2.921139705	
7	Motor del Sistema Hidráulico	20	28	14.92 22.30816 16.58485916	
8	Winche Mecánico 8kw	17KW	30	17 23.9016 16.80158328	
9	Freno Winche Mecánico 8kw	0.3KW	0.76	0.3 0.6039072 0.329264796	
10	Calentador de Bunkers N°-7		60	45 47.8032 16.12903997	
11	Calentador de Bunkers N°-8		60	45 47.8032 16.12903997	
12	Bomba de alimentación de Bunkers N°-26	5	6	3.73 4.78032 2.889742347	
13	Bomba de alimentación de Bunkers N°-27	5	6	3.73 4.78032 2.889742347	
14	Bomba de Bunkers de Alta N°-24	7	6	3.73 4.78032 2.889742347	
15	Bomba de Bunkers de Alta N°-25	5	7.8	3.73 6.214416 4.970319713	
16	Bomba de Bunkers de Baja N°-26	5	8.2	3.73 6.533104 5.363631967	
17	Bomba de Bunkers de Baja N°-27	5	7.8	3.73 6.214416 4.970319713	
18	Agitador Tanque de Aceite N°-1	6.5	8.8	4.849 7.011136 5.063914199	
19	Bomba de Aceite N°-24A	5.5	8.7	4.103 6.931464 5.88643374	
20	Bomba de Aceite N°-25A	2	2.4	1.492 1.912128 1.195896939	
21	Bomba de alimentación de Aceite N°-26A	5	6.8	3.73 5.417696 3.929189477	
22	Bomba de alimentación de Aceite N°-27A	4.2	2.8	3.346204 1.822070465	
23	Motor de la Turbina del Eductor N°-1	125	158	83.28 125.88176 84.56154864	
24	Motor Compuestas del Eductor N°-29	0.25	0.62	0.1865 0.4939664 0.487406334	
25	Motor de la Turbina de Aire Primario N°-4	20	28.5	14.92 22.70682 17.11664834	
26	Motor Turbina de Aire Secundario N°-5	20	28.2	14.92 22.467504 16.79828372	
27	Moto soplador Espectroica Descarga N°-18	0.5	0.65	0.373 0.517868 0.389246803	
28	Moto soplador Espectroica Descarga N°-19	0.5	0.65	0.373 0.517868 0.389246803	
29	Moto soplador Espectroica Descarga N°-20	0.5	0.65	0.373 0.517868 0.389246803	
30	Moto soplador Espectroica Descarga N°-21	0.5	0.65	0.373 0.517868 0.389246803	
31	Moto soplador Espectroica Descarga N°-30	0.65KW	1.85	0.65 1.473932 1.322866411	
32	Moto soplador Espectroica Descarga N°-30A	0.65KW	1.85	0.65 1.473932 1.322866411	
33	Motor del Transportador Metálico N°-25	7.5	13.1	5.896 10.437032 8.810653522	
34	Motor del Molino de Muebles N°-3	30	36	22.38 28.88192 17.53845408	
35	Motor Elevador Cal N°-22	5	7.9	3.73 6.294088 5.069777488	
36	Motor del Quasano N°-13	2.2KW	5.2	2.2 4.142944 3.510533373	
37	Motor del Quasano N°-24	2	3.7	1.492 2.947864 2.540407946	

Tabla #14 "Cargas del horno"

CARGAS DE LA SECCION HORNO		
PT(KW)	ST(KVA)	QT(KVAR)
392,09972	526,384937	336,240269

Tabla #15 "Carga total del horno"

2.3.2 Datos de líneas y conductores

Los cálculos para la obtención de datos correspondientes a los conductores a nivel de 13.8

Kv para el presente proyecto han sido llevados a cabo bajo las siguientes condiciones:

I base	260	Amp
V base	13,8	KV
Sb = 1,73Vbase*Ibase	6207,24	KVA
Zb=Vb²/Sb=(kv²/Mva)	30,6803	ohm
1000ft	304,8	mts

Tabla #16 “Condiciones para los cálculos de conductores”

Los datos correspondientes a los conductores de las alimentadoras principales (Alimentadora “Agregados” y “Cal”) se presentan a continuación.

Alimentadoras Principales							
Metros	Tipo	Barra		R (Ω/mt)	X (Ω/mt)	R (pu)	X (Ω/pu)
		De	Hasta				
9.75	ACSR 2/0	Principal	S/E	0.000507218	0.00051378	0.0049472	0.0050112
335.28	ACSR 2/0	S/E	Trituradom	0.000507218	0.00051378	0.17006	0.17226
155.14	ACSR 2/0	Trituradom	Trit. Prim.	0.000507218	0.00051378	0.07865014	0.0797094
39.93	ACSR 2/0	Trit. Prim.	Trafó	0.000507218	0.00051378	0.0202526	0.0205146
66.75	ACSR 2/0	Trituradom	Trit. Sec.	0.000507218	0.00051378	0.0338574	0.0342954

Tabla # 17 Características de los conductores de las alimentadoras principales

Se procede entonces a realizar los cálculos respectivos con la finalidad de obtener datos para el flujo de carga tomando en cuenta la distancia que recorre el conductor en cada tramo señalado.

2.3.3 Datos de Transformadores de Fuerza

Dentro del sistema eléctrico de “Calizas Huayco S.A” existen cuatro transformadores de potencia los cuales abastecen las cuatro principales subestaciones del mismo como se observa en la **Figura #2**. Los datos de dichos equipos que se usaron para correr el flujo de carga del presente proyecto se muestran a continuación.

Transformador de Potencia de la subestación Principal	
Marca	Westinghouse
Potencia	3750 KVA
Numero de fases	3
Frecuencia	60 Hz
Característica de Temperatura	Base 55°C
% de Impedancia	7,21
Voltaje en el Primario	67000 V
Voltaje en el Secundario	13800 V
Tipo de Conexión	Y aterrizado-Y aterrizado
TAP	3

Tabla #21 Características del transformador principal



Figura #11 Transformador de Potencia de la subestación Principal

Transformador de Potencia de la subestación "Trit."	
Primaria*	
Marca	Jemini
Potencia	500 KVA
Numero de fases	3
Frecuencia	60 Hz
Característica de Temperatura	55°C Base
% de Impedancia	5.27
Voltaje en el Primario	13800 V
Voltaje en el Secundario	480 V
Tipo de Conexión	DELTA no aterrizado-Y aterrizado
TAP	3

Tabla #22 Características del transformador de la subestación primaria



Figura #12 Transformador de Potencia de la subestación “Trituración primaria”

Transformador de Potencia de la subestación "Planta de Cal"	
Marca	Standard
Potencia	750 KVA
Numero de fases	3
Frecuencia	60Hz
Característica de Temperatura	55°C 60°C
% de Impedancia	4,7
Voltaje en el Primario	13800 V
Voltaje en el Secundario	480 V
Tipo de Conexión	DELTA no aterriado -DELTA no aterriado

Tabla #24 Características del transformador de la subestación "Planta de Cal"

Transformador de Potencia de la subestación "Trit. Secundaria"	
Marca	Standard
Potencia	2000 KVA
Numero de fases	3
Frecuencia	60Hz
Característica de Temperatura	55°C 60°C
% de Impedancia	7
Voltaje en el Primario	13800 V
Voltaje en el Secundario	480 V
Tipo de Conexión	Y -DELTA no aterriado
TAP	3

Tabla #23 Características del transformador de la subestación secundaria



Figura #24 Transformador de Potencia de la subestación “Planta de Cal”



Figura #13 Transformador de Potencia de la subestación “Trit. Secundaria”

2. 4 Resultados de los Estudios de Flujo de Carga

Los resultados de Flujo de carga serán presentados en forma gráfica por ser el método más conciso y usualmente más informativo. El flujo del sistema puede ser rápidamente analizado con la presentación grafica y relacionar la configuración del sistema, condiciones operativas y resultados.

El análisis del flujo de carga muestra lo siguiente:

- Voltaje en barras.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



- Factor de Potencia. Requerimientos de potencia Reactiva.
- Carga sobre todos los conductores y transformadores, verificar que la carga este dentro de la capacidad de transmisión para condiciones normales y contingencias operativas.
- Ajustes de TAPS de los Transformadores.

Numero	Barra	kV Nominal	PU Voltaje	Voltaje (kV)	Angulo (Deg)	Carga MW	Carga Mvar
1	Principal 69, Kv	69	1	69	0		
2	Principal 13, KV	13.8	0.97699	13.482	-2.55		
3	T1	13.8	0.97699	13.482	-2.55		
4	T2	13.8	0.97677	13.479	-2.86		
5	T3	13.8	0.97663	13.478	-2.86		
6	EB	13.8	0.97653	13.476	-2.87		
7	E - MANTENIMIENTO	13.8	0.97653	13.476	-2.87		
8	E-PLANTA DE CAL, H ₂ H	13.8	0.9764	13.474	-2.87		
9	FIN A1	13.8	0.9764	13.474	-2.87		
10	DCB	13.8	0.97458	13.449	-2.92		
11	D - TRITURACION SEC	13.8	0.97407	13.442	-2.93		
12	CB	13.8	0.97442	13.447	-2.93		
13	C - TRITURACION PRIMARIA	13.8	0.97438	13.446	-2.93		
14	FIN A2	13.8	0.97442	13.447	-2.93		
15	TRITURACION SEC. 440V	0.44	0.95111	0.418	-5.34	1.42	1.41
16	TRITURACION PRIM. 440V	0.44	0.97518	0.429	-5.17		
17	B - HORNO, HIDR. CAL 440V	0.44	0.96951	0.427	-4.12		
18	E- MANTENIMIENTO 440V	0.44	0.95667	0.421	-6.3	0.17	0.05
19	LAVADORA DE ARENA	0.44	0.95111	0.418	-5.34	0.1	0.09
20	HORNO 440V	0.44	0.96951	0.427	-4.12	0.14	0.05
21	GENERADOR HORNO	0.44	0	0	0		
22	HIDRATACION 440V	0.44	0.96951	0.427	-4.12	0.19	0.06
23	GENERADOR HIDRATACION	0.44	0	0	0		
24	CAMPAMENTO MAMUT	0.44	0.97518	0.429	-5.17	0.02	0.01
25	Tablero CM1 CM2	0.44	0.97518	0.429	-5.17	0.2	0.17
26	Trituradora	0.44	0.97518	0.429	-5.17	0.21	0.19
27	Martillo KENT	0.44	0.97518	0.429	-5.17	0.02	0.02
28	Trafo 25 Kva(220 V)	0.22	0.96677	0.213	-4.16	0.02	0.01
29	Trafo 25 Kva(220 V)	0.22	0.96658	0.213	-4.17	0.02	0.01
30	Trafo 50 Kva(220 V)	0.22	0.97033	0.213	-3.77	0.05	0.01

Tabla #25 Datos de las barras obtenidos del flujo de carga del caso base para máxima carga

2.4.1 Caso base (Máxima Carga)

En el caso de “Calizas Huayco S.A”, se entiende que el estudio del caso base para máxima carga es aquel en el cual todas las cargas de la industria están siendo alimentadas “normalmente”. Esto es, a través del transformador principal (3750 KVA) y por medio de las alimentadoras “Cal” y “Agregados”. En el anexo 5 se adjunta los resultados gráficos del flujo de carga del caso base a máxima carga, que se resume a continuación:

2.4.1.2 Cargas y Factor de Potencia respectivo

Number of Bus	Name of Bus	MW	Mvar	MVA	FP
15	TRITURACION SEC. 440V	1.418	1.408	2.00	0.71
18	E- MANTENIMIENTO 440V	0.168	0.052	0.18	0.96
19	LAVADORA DE ARENA	0.102	0.087	0.13	0.76
20	HORNO 440V	0.144	0.048	0.15	0.95
22	HIDRATACION 440V	0.185	0.06	0.19	0.95
24	CAMPAMENTO MAMUT	0.02	0.01	0.02	0.89
25	Tablero CM1 CM2	0.203	0.166	0.26	0.77
26	Trituradora	0.206	0.191	0.28	0.73
27	Martillo KENT	0.0208	0.01783	0.03	0.76
28	Trafo 25 Kva(220v)	0.018	0.008	0.02	0.91
29	Trafo 25 Kva(220v)	0.018	0.008	0.02	0.91
30	Trafo 50 Kva(220v)	0.025	0.01	0.03	0.93

2	principal 13,8 Kv	2.5278	2.07	3.31	0.76
---	-------------------	--------	------	------	------

Tabla #26 Datos de las cargas obtenidos del flujo de carga del caso base para máxima carga

Se puede observar en la gráfica la parada del motor de la bandeja giratoria cuando el sensor de luz detecta la posición de la botella previamente seleccionada. Los espacios en blanco de la gráfica muestran las 3 detenciones del motor A en una combinación que toma la 3ra, 5ta y 6ma botella.

2.4.1.3 Carga de Conductores y Transformadores

From Number	To Number	To Name	Carga MW	Carga Mvar	Carga MVA	Límite MVA	% of MVA Limit	MW Loss	Mvar Loss
2	Principal 13, KV	EB	0.56	0.21	0.60	0.21	9.25	0.0000128260971	0.0000100584671
6	EB	B - HORNO, HIDRATACION, PLANTA DE CAL	0.33	0.12	0.35	0.21	5.62	0.0000362496329	0.000042706039
6	EB	E - MANTENIMIENTO	0.17	0.09	0.18	0.21	2.89	0.000007818420	0.0000009169890

Tabla #27 Datos de los conductores obtenidos del flujo de carga del caso base para máxima carga

From Number	To Number	To Name	Carga MW	Carga Mvar	Carga MVA	Límite MVA	% of MVA Limit	MW Loss	Mvar Loss
2	Principal 13, KV	DCB	1.98	0.93	2.18	0.21	55.19	0.0038674318864	0.00045310058500
10	DCB	CB	0.45	0.02	0.45	0.21	7.25	0.0000765234497	0.0000896657761
12	CB	C - TRITURACION PRIMARIA	0.45	0.02	0.45	0.21	7.25	0.0000197410556	0.00000231417378
10	DCB	D - TRITURACION SECUNDARIA	1.52	0.90	1.77	0.21	28.48	0.0006468203679	0.00007579275380

Tabla #28 Datos de los conductores obtenidos del flujo de carga del caso base para máxima carga

Barra	Transformador	Carga MW	Carga Mvar	Carga MVA	Límite MVA	% of MVA Limit	MW Loss	Mvar Loss
1	Dobvitec 3750KVA (69,13.8) Kv	2.53	1.29	2.84	3.75	75.84	0.000000000088300	0.185506336082900
13	Trituración Primaria 300KVA (13.8,0.44) Kv	0.45	0.02	0.45	0.5	90.07	0.000000000013880	0.017666412044200
11	Trituración Secundaria 2000KVA (13.8,0.44) Kv	1.52	0.90	1.77	2	88.37	0.0000000000296770	0.084891815032000
8	Horno, Hidratación, Planta CM 750KVA (13.8,0.44) Kv	0.33	0.12	0.35	0.75	46.49	0.0000000000127800	0.006000249080000

Tabla #29 Datos de los transformadores obtenidos del flujo de carga del caso base para máxima carga

2.4.1.1 Voltajes en las barras del Sistema



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



2.5 Conclusiones del estudio de Flujo.

- De acuerdo a los resultados obtenidos en el estudio de flujo de carga, se ha determinado que las alimentadoras “Cal” y “Agregados” tienen una alta ampacidad y margen de reserva por lo que se ha concluido que no existen caídas significativas de voltaje que afecten a la calidad de servicio.
- Los bancos de capacitores dispuestos en cada estación de carga de “Calizas Huayco S.A” suplen efectivamente el nivel de reactivos requeridos manteniendo tanto el factor de potencia como los voltajes dentro de rangos aceptables atenuando la carga en los transformadores.
- Se ha determinado que los alimentadores “Cal” y “Agregados” trabajan a menos de la mitad de su capacidad nominal. Aprovechando esta condición junto con la disposición de los finales de las alimentadoras, los cuales se encuentran en el mismo punto, se ha decidido proponer un sistema de transferencia bajo condiciones de falla para mejorar la confiabilidad y la continuidad de producción.
- Debido a la baja caída de tensión en las líneas, se mantiene a los transformadores en su respectivo tap central (3).
- El estudio de flujo de carga determinó que los transformadores, tanto de trituración secundaria como el de primaria, se encuentran trabajando en sus límites de capacidad nominal (entre el 85% y el 98%).
- Se determinó que para el caso denominado “contingencia 1” (descrito en el apartado 1.4) el alimentador “Agregados” puede servir a la carga de la “Planta de Cal” sin poner en riesgo los niveles de voltaje ni la estabilidad del sistema debido a la capacidad de la línea.
- Se determinó que para el caso denominado “contingencia 2” (descrito en el apartado 1.4) el alimentador “Cal” puede servir a la carga de las secciones de trituración sin poner en riesgo los niveles de voltaje ni la estabilidad del sistema debido a la capacidad de la línea.
- Se comprobó por medio del estudio de flujo de carga que el factor de demanda, tanto de trituración primaria como de secundaria, así como el de la planta de cal es aproximadamente de 0.75, determinándose esto al hacer un balance entre la energía registrada por los medidores y la potencia nominal de las cargas conectadas a dichos sistemas en específicos periodos de tiempo.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



3. Estudio de Corto Circuito

En el análisis de corto circuito, las fallas del sistema se manifiestan como condiciones anormales de operación que nos podrían conducir a uno de los siguientes fenómenos:

- Indeseables flujos de Corrientes.
- Presencia de Corrientes de magnitudes exageradas que podrían dañar los equipos.
- Caída de Voltaje en la vecindad de la falla que puede afectar adversamente la operación de las maquinas rotatorias.
- Creación de condiciones peligrosas para la seguridad del personal.

“Calizas Huayco S.A” requiere realizar estudios de Corto Circuito para resolver las situaciones críticas señaladas, y obtener la información básica para la coordinación de las protecciones. Los estudios se realizaran con los siguientes objetivos:

- Determinar el efecto de las corrientes de falla en los componentes del sistema tales como cables, barras y transformadores durante el tiempo que persista la falla.
- Los estudios determinaran las zonas del sistema en donde la falla puede resultar en depresión inaceptable de voltajes.
- Determinar del ajuste de los equipos de protección, los cuales son establecidos considerando el sistema bajo condiciones de falla.

3.1 Alcance de los estudios de Corto Circuito

Considerando que el Sistema de “Calizas Huayco S.A” 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.

3.2 Datos del Sistema

La información básica es aplicable a todos los casos del Sistema, su aplicación depende del tipo de corriente de falla a determinar.

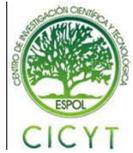
3.2.1 Impedancias Equivalentes en el Punto de Entrega de la UDELEG

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

3.2.2 MVA de Corto Circuito.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



ESTUDIO EN MAXIMA GENERACION:	Calizas Huayco S.A.
Hora:	Thu Aug 20 09h18m51s 2009
Potencia de Base:	100,00 [MVA]
Frecuencia fundamental:	60,0 Hz
Impedancias del generador:	Subtransitoria
Nombre del estudio:	Calizas Huayco S.A.
BARRA CON DEFECTOS	HUAYCO69

Barra de falla	Kv prefaulta	Tipo falla	Potencia de Falla (MVA)	Ia (kA)	Ie (seg)	Ib (kA)	Ib (seg)	Ic (kA)	Ic (seg)	Im (kA)	Im (seg)
SCHUAYCO69	69	LLL	1331	11.14	-66.44	11.14	173.56	11.14	53.56	0	0
SCHUAYCOT0	69	LLO	700	5.86	-75.24	0	0	0	0	5.86	-75.24
SCHUAYCOT1	69	LL	1183	0	0	9.64	156.44	9.64	23.56	0	0
SCHUAYCOT2	69	LLO	1223	0	187.86	9.44	168.27	10.24	34.48	3.95	101.65

Tabla #30 Potencia de Cortocircuito MAXIMA GENERACION

3.2.3 Impedancias Equivalentes.

IMPEDANCIAS EQUIVALENTES PARA MAXIMA GENERACION

$Z_{eq(+)} =$	1,4299+J3,2793 (Ohms)	69 Kv base	100 MVA base
$Z_{eq(+)} =$	0,0300332+J0,0688777 (p.u.)	X/R=	2.2934
$Z_{eq(0)} =$	2,3372+J13,1604 (Ohms)	69 Kv base	100 MVA base
$Z_{eq(0)} =$	0,0490897+J0,2764212 (p.u.)	X/R=	5.63094091

3.2.4 Datos de 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.

3.2.5 Datos de 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.

3.3 Resultados de los Estudios de Corto Circuito

Las corrientes de cortocircuito han sido calculadas considerando los criterios técnicos indicados en la sección 2.3. La falla Trifásica a tierra y línea a tierra se aplica a cada barra del sistema.

3.3.1 Casos base.

3.3.1.1 Corriente de Falla en cada barra para condiciones de máxima generación del sistema nacional.

Corrientes de falla en la Subestación Principal

Bus name	PreFault (V)	3P Fault(A)	LL Fault(A)	LO Fault(A)	LLO Fault(A)	Z'ijpu	Zoijpu	X/R
UDELCO	69000	11137	9645	7850	10642	0.08	0.172	2.2979
Transformador Principal: 69 KV	69000	11117	9627	7832	10622	0.08	0.172	2.2937
Transformador Principal: 13.8 Kv	13800	2095	1817	2039	2193	1.99	2.201	6.8665

Corrientes de falla en el Alimentador "Cal"

Bus name	PreFault (V)	3P Fault(A)	LL Fault(A)	LO Fault(A)	LLO Fault(A)	Z'ijpu	Zoijpu	X/R
F1	13800	2093	1813	2030	2185	2	2.218	6.7797
F2	13800	2082	1768	1974	2134	2.03	2.333	6.2483
F3	13800	2038	1763	1931	2095	2.03	2.424	5.8921
BE	13800	2020	1780	1900	2066	2.07	2.493	5.8547
B Horna, hidratación y planta C	13800	1984	1718	1839	2011	2.11	2.634	5.2344

E TALLER	13800	2017	1747	1894	2062	2.07	2.804	5.6184
FIN A1	13800	1960	1697	1799	1974	2.13	2.791	4.9783

Corrientes de falla en el Alimentador "Agregados"

Bus name	PreFault (V)	3P Fault(A)	LL Fault(A)	LO Fault(A)	LLO Fault(A)	Z'ijpu	Zoijpu	X/R
BCD	13800	1997	1729	1859	2030	2.1	2.585	5.5603
CB	13800	1982	1691	1786	1963	2.14	2.762	5.0866
D TRITURACION SECUNDARIA	13800	1977	1712	1827	2000	2.12	2.661	5.3469
C TRITURACION PRIMARIA	13800	1941	1661	1768	1947	2.16	2.808	4.9789
FIN A2	13800	1928	1670	1749	1929	2.17	2.855	4.8283

Corrientes de falla en el Sistema del Horno

Bus name	PreFault (V)	3P Fault(A)	LL Fault(A)	LO Fault(A)	LLO Fault(A)	Z'ijpu	Zoijpu	X/R
B Horna, hidratación y planta Cal 440V	440	14543	12295	0	15899	9.02	4714081072	0.3886
TRANSF HORNO	440	13920	12081	0	12051	9.41	4714081072	4.6307
HORNO	440	13594	11599	0	11599	9.8	4714081072	4.1008
HORNO 1	440	9514	8239	0	8239	13.79	4714081072	2.0634
LIMPIADOR PUELO	440	3001	2599	0	2599	43.72	4714081072	0.3818
BOMBAS MEDICINA	440	3596	3116	0	3116	36.47	4714081072	0.2903

Corrientes de falla en el sistema de Hidratación

Bus name	PreFault (V)	3P Fault(A)	LL Fault(A)	LO Fault(A)	LLO Fault(A)	Z'ijpu	Zoijpu	X/R
TRANSF HIDRATACION	440	13980	12081	0	12081	9.41	4714081072	4.6312
HIDRATACION	440	13594	11599	0	11599	9.8	4714081072	4.1036
HIDRATACION 1	440	11281	9744	0	9744	11.66	4714081072	3.2097

Corrientes de falla en la Planta de Cal

Bus name	PreFault (V)	3P Fault(A)	LL Fault(A)	LO Fault(A)	LLO Fault(A)	Z'ijpu	Zoijpu	X/R
PLANTA DE CAL	440	13470	11665	0	11665	9.74	4714081072	4.3888
PLANTA CAL 1	440	10788	9314	0	9314	12.2	4714081072	2.1687



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



Corrientes de falla en "Trituración Primaria"

Bus name	PreFault(V)	SP Fault(A)	LG Fault(A)	LL Fault(A)	LLG Fault(A)	Z'pu(a)	Z'pu(r)	X/R
TRITURACION PRIMARIA 440 V	440	12599	10911	13483	10914	10.42	33627.871	4.1423
Mamut	440	12819	10841	13349	10844	10.48	33628.012	4.042
Complemento Mamut	440	1105	967	831	939	18.93	33742.121	2.0244
Tablero CCMI CCMI	440	12415	10751	13191	10754	10.52	33628.186	4.0785
TRITURADORA	440	11203	9702	11282	9705	11.71	33630.617	3.0992
KENT	440	3815	3304	3193	3305	34.4	33667.137	0.8076
Capacitores	440	12525	10847	13365	10849	10.45	33627.996	4.0761

Trituración Secundaria

Bus name	PreFault(V)	SP Fault(A)	LG Fault(A)	LL Fault(A)	LLG Fault(A)	Z'pu(a)	Z'pu(r)	X/R
TRITURACION SECUNDARIA 440	440	27949	24205	0	24205	4.69	235703892	4.5801
V	440	26056	22848	0	22848	5.04	235703892	4.0829
TABLERO A	440	2288	1993	0	1993	68.19	235703892	0.2137
Reg.Pulvo	440	3178	3168	0	3168	38.87	235703892	0.4661
Cinta G	440	15922	13788	0	13788	8.24	235703892	1.7302
TABLERO B	440	26855	23237	0	23237	4.69	235703892	4.2472

BT 7	440	7155	6196	0	6196	18.34	235703892	0.7413
0411	440	17798	18413	0	18413	7.37	235703892	2.3413
BTMORIS	440	16952	16952	0	16952	6.72	235703892	1.8784
Bus Bases	440	16362	14770	0	14770	8.05	235703892	2.1995
Servicio Generales	440	24473	21194	0	21194	8.38	235703892	1.7872
Soldadura	440	12031	10419	0	10419	10.91	235703892	0.8682
TRAFIO 45kva B-G	220	3028	2622	2297	2764	66.68	169.397	0.9586
Servicio Genl.	220	2337	2024	1768	2177	112.3	220.901	0.8038
LAVADORA ARENA	440	2878	2233	0	2233	80.89	235703892	0.7427
BT 5	440	2159	2216	0	2216	61.27	235703892	0.7424
CCPACTORES B	440	395	719	13	719	148.66	33991.832	0.8585
CCP. G.	440	25948	22472	0	22472	5.06	235703892	2.8121

Corrientes de falla en "Taller de Mantenimiento"

Bus name	PreFault(V)	SP Fault(A)	LG Fault(A)	LL Fault(A)	LLG Fault(A)	Z'pu(a)	Z'pu(r)	X/R
T.MANTENIMIENTO 440V	440	8242	7137	8166	8264	16.92	16.366	3.6671

Tabla #43 corrientes de Corto Circuito para el caso base (Max Generación)

3.4 Conclusiones y recomendaciones

El presente estudio de corto circuito preparado para "Calizas Huayco S.A." ha permitido cumplir los siguientes objetivos:

- Determinar el efecto de las corrientes de falla en los componentes del sistema tales como cables, barras y transformadores durante el tiempo que persista la falla.
- Determinar las zonas del sistema en donde la falla puede resultar en depresiones inaceptables de voltajes como se muestra en el anexo 14.

El estudio de corto circuito considera los siguientes tipos de falla:

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

Las corrientes de cortocircuito han sido calculadas considerando los estándares de la IEEE aplicables para el cálculo de falla para voltajes medio y alto. Standard IEEE Std C37.010-1979, IEEE Std C37.5-1979, IEEE Std 141-1993, IEEE Std 241-1990, and IEEE Std 242-1986.

Las fallas trifásicas a tierra, línea a tierra, dos líneas y dos líneas a tierra fueron aplicadas a cada barra del sistema, los resultados se muestran en la sección anterior.

El ajuste de los equipos de protección, los cuales son determinados considerando el sistema bajo condiciones de falla, será estudiado en la cuarta parte de este trabajo relacionada con la coordinación de las protecciones.

4. Coordinación de las Protecciones

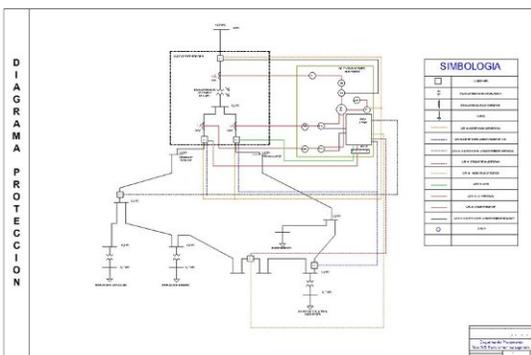
Los estudios de flujo de carga y corto circuito de “Calizas Huayco S.A” son la base para el ajuste y coordinación de las protecciones del Sistema. Los estudios se realizarán con los siguientes objetivos:

- Determinar los equipos a usar con el fin de dar una protección óptima
- Determinar el ajuste de los equipos de protección, los cuales son establecidos considerando el sistema bajo condiciones de falla.
- La aplicación del estudio permitirá el despeje oportuno y selectivo de las fallas del sistema.

4.1 Esquemas de Protecciones.

4.1.1 Esquema de protección del transformador de la subestación principal

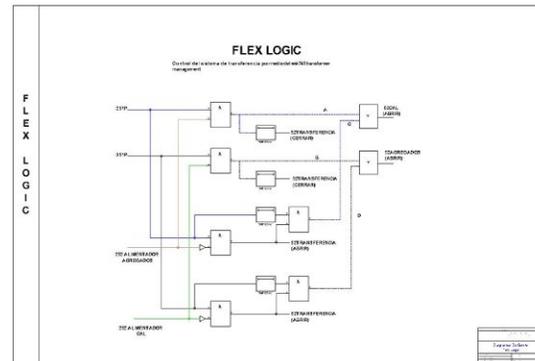
A continuación se muestra el esquema de protección (ampliado en el anexo 10) para el transformador de la subestación principal una vez implementado el relé “GE 745 Transformer Management Relay”.



4.1.1.1 Descripción del control del sistema de transferencia

Para este caso, el relé GE 745 TRANSFORMER MANAGEMENT RELAY hará las funciones tanto de protección como de control del sistema de transferencia descrito en el capítulo uno.

Dado que el equipo permite el manejo de hasta tres devanados, las configuraciones correspondientes a dos de ellos (secundario y terciario) serán usadas en los sistemas de protección del transformador principal y en el esquema de control del sistema de transferencia, el mismo que es presentado a continuación:



Se analizan a continuación, las posibles contingencias previstas para el sistema de control presentado.

Caso 1

Para una falla en el alimentador “Cal”, el elemento de sobrecorriente 2 del relé (251P = ASSERTED) procede a compararse en una compuerta lógica “Y” con una señal proveniente del interruptor “52-3” ubicado en el lado de baja tensión del transformador, que es el del alimentador “Agregados”. Si dicho proceso devuelve un “1” lógico (existe la falla y los interruptores “Agregados” está cerrado), se bifurca la señal y se envía una de las dos resultantes (Señal “A”) a compararse en una



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



compuerta lógica “O” junto con la señal “C” para la apertura de los interruptores “52-2”, que son los del alimentador “Cal”. La otra resultante sufre un retardo de tiempo (Temporizador 1) y luego es enviada al interruptor “52-T”, el cual efectúa la transferencia.

Caso 2

Para una falla en el alimentador “Agregados”, el elemento de sobrecorriente 3 del relé (351P = ASSERTED) procede a compararse en una compuerta lógica “Y” con una señal proveniente del interruptor “52-2” ubicado en el lado de baja tensión del transformador, que es el del alimentador “Cal”. Si dicho proceso devuelve un “1” lógico (existe la falla y el interruptor “Cal” está cerrado), se bifurca la señal y se envía una de las dos resultantes (Señal “B”) a compararse en una compuerta lógica “O” junto con la señal “D” para la apertura de los interruptores “52-3”, que son los del alimentador “Agregados”. La otra resultante sufre un retardo de tiempo (Temporizador 2) y luego es enviada al interruptor “52-T”, el cual efectúa la transferencia.

Caso 3

Si una vez presentadas las condiciones del **Caso 1** (los interruptores del alimentador “Cal” han operado y se ha producido la transferencia), el elemento de sobrecorriente 3 del relé opera (351P = ASSERTED, lo que implica que la falla persiste en algún punto del alimentador “Cal”), esta señal se compara en una compuerta lógica “Y” junto con la proveniente del interruptor “52-2” lo que deshabilita la operación del “52-3” y habilita la señal que abre la transferencia.

Caso 4

Si una vez presentadas las condiciones del **Caso 2** (los interruptores del alimentador “Agregados” han operado y se ha producido la transferencia), el elemento de sobrecorriente 3 del relé opera (351P = ASSERTED, lo que implica que la falla persiste en algún punto del alimentador “Agregados”), esta señal se compara en una compuerta lógica “Y” junto con la proveniente del interruptor “52-3” lo que

deshabilita la operación del “52-2” y habilita la señal que abre la transferencia.

Caso 5

Si se ha producido la apertura del interruptor de “Agregados”, sea por falla o manualmente, y el elemento de sobrecorriente 2 del relé opera (251P = ASSERTED, implica que existe una falla en algún punto del alimentador “Cal”), debido a la configuración FLEXLOGIC, no enviará la señal “A” directo al interruptor “Cal”. Consecuentemente, se habilita el envío de la señal “C” (que hará abrir al interruptor “Cal” luego de compararse en una compuerta “ó” con la señal “A”), si y solo sí, la falla persiste el tiempo ajustado en el temporizador 3.

Caso 6

Si se ha producido la apertura del interruptor de “Cal”, sea por falla o manualmente, y el elemento de sobrecorriente 3 del relé opera (351P = ASSERTED, implica que existe una falla en algún punto del alimentador “Agregados”), debido a la configuración FLEXLOGIC, no enviará la señal “B” directo al interruptor “Agregados”. Consecuentemente, se habilita el envío de la señal “D” (que hará abrir al interruptor “Agregados” luego de compararse en una compuerta “ó” con la señal “B”), si y solo sí, la falla persiste el tiempo ajustado en el temporizador 4.

Los parámetros de configuración para el sistema de control de transferencia serán mostrados en el apartado “Resumen de Ajustes”.

4.2 Ajuste y coordinación de las protecciones.

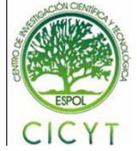
La información básica para el ajuste y coordinación de las protecciones provienen de los estudios de flujo de carga, cortocircuito y los esquemas de protección indicados en la sección anterior.

El esquema actual de “Calizas Huayco S.A” presenta un sistema de protección en base a fusibles para todos y cada uno de los transformadores pertenecientes a la industria.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



En el siguiente apartado se describen los criterios de protección adoptados para efectuar el proceso de protección y coordinación, las características del equipo utilizado para el mismo y, finalmente, los resultados obtenidos.

Para la protección de los transformadores de fuerza se han utilizados unidades de sobrecorriente que cumplen los siguientes criterios:

- Selectividad, Cada relé o elemento de protección opera en su zona protegida.
- Respaldo: Los relés dan protección primaria en la zona protegida y protección de respaldo a la zona adyacente
- Tiempo de operación: El tiempo de operación se ha ajustado para cumplir los criterios de selectividad y respaldo.
- Simplicidad: La protección cumple este criterio, evitando la redundancia de la protección en las zonas protegidas.

Considerando el estándar de IEEE para la coordinación de sobrecorriente de relés digitales, se ha considerado un Intervalo de coordinación entre 0.2 a 0.25 segundos en el punto de coordinación correspondiente a la contribución a la corriente de falla en la ubicación del Relé.

La unidad instantánea se la ha ajustado para la corriente máxima de falla en la barra más cercana al relé o para la mayor corriente de contribución en la localidad del relé.

La protección del Transformador se la realiza utilizando el Relé “745 Transformer Management Relay” el cual es un relé digital orientado para la administración y protección de transformadores. El relé supervisa la frecuencia

del sistema y se ajusta para mantener el nivel de precisión todo el tiempo.

Las funciones principales del relé para la protección son las siguientes:

- Sobrecorriente de tiempo inverso
- Sobrecorriente instantáneo
- Sobrecorriente diferencial
- Diferencial instantáneo

4.2.1 Coordinación de las protecciones del Transformador Principal y Trituración Secundaria (TABLEROS A y D)

Descripción del sistema actual de protecciones:

Conectado al tablero A se encuentra el B. Ambos tableros se encuentran protegidos por breaker marca AEG.

Por corregir:

- Protección del transformador
- Fusibles KEARNEY K-100

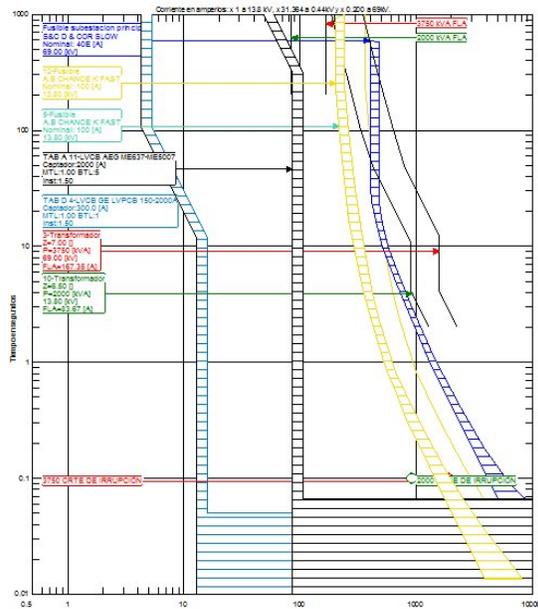
Se recomienda:

- Sustituir los fusibles KEARNEY K-100 por KEARNEY K-80.
- Se sugiere entonces, sustituir los fusibles que protegen actualmente el transformador por un relé GE 745 Transformer Management relay y dejar al KEARNEY K-80 a manera de respaldo.
- Conservar la configuración actual de los breakers.
- La curva inversa del relé para el secundario debe tener una sección instantánea para proporcionar un margen de operación a los breakers.

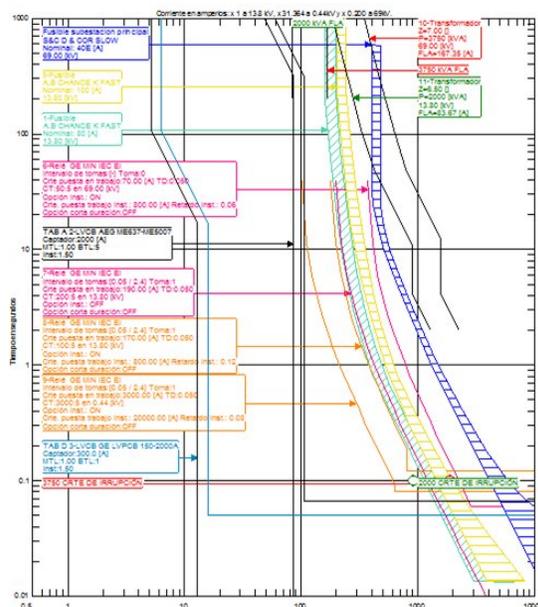
5. Conclusiones y Recomendaciones

Para detalles de la optimización del sistema de protecciones ver figuras siguientes:

actual



Mejorado



1) De acuerdo a las visitas realizadas en “Calizas Huayco S.A.” se pudo constatar que el ambiente de trabajo al que se encuentran sometidos los elementos del sistema eléctrico está saturado de partículas de material calcáreo, Lo que es perjudicial para la vida nominal de la maquinaria (transformadores, motores) y de los elementos de control (contactores, relés, breakers, PLC’s, arrancadores y demás).

1) El estudio de flujo de carga determinó que las líneas se encuentran cargadas a menos del 40% de su capacidad nominal (Alimentador “Cal” a 9.58%, “Agregados” a 35.56% para el caso base máxima carga). Esta condición permite el traspaso de toda la carga a un solo alimentador, cualquiera que este fuera, sin presentar problemas de voltaje o sobrecarga.

2) El transformador de la subestación principal (3750 KVA) se encuentra cargado al 75.74% de su capacidad nominal lo que indica que esta en un buen punto de operación, y mantiene un margen de reserva razonable dependiendo de las proyecciones que se tengan para “Calizas huayco S.A.”

3) El transformador de la subestación secundaria (2000 KVA) se encuentra cargado al 88.37% de su capacidad nominal lo que indica que esta dentro del margen de operación nominal, sin embargo la capacidad de reserva limita un eventual crecimiento de la carga en sección trituración secundaria.

4) El transformador de la subestación Primaria (500 KVA) se encuentra cargado al 90.07% de su capacidad nominal lo que indica un margen alto de operación; si se toma en consideración que el factor de demanda utilizado es de 0.75, prácticamente no existe reserva y el



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



transformador podría sobrecargarse en algún momento.

5) El transformador de la subestación Planta de Cal (750 KVA) se encuentra cargado al 46.49% de su capacidad nominal lo que indica un buen punto de operación. Y muestra un alto margen de reserva ante un eventual aumento de carga.

6) Como se pudo constatar en los reportes las caídas de tensión que existen al final de alimentadora “Agregados” y la alimentadora “Cal” son menores al 4%, lo que está dentro de los márgenes aceptados para una buena calidad de energía.

7) El estudio de Corto circuito determinó que a nivel de 69 KV en la subestación principal la corriente referencia para la coordinación es la de línea – tierra.

8) A nivel de 13.8 KV en la subestación principal la corriente referencia para la coordinación es la trifásica.

9) A nivel de 13.8 KV en la alimentadora Cal la corriente referencia para la coordinación es la trifásica.

10) A nivel de 13.8 KV en la alimentadora Agregados la corriente referencia para la coordinación es la trifásica.

11) A nivel de 0.44 KV en Planta de Cal (horno e Hidratación) la corriente referencia para la coordinación es la de línea – línea, esto por ser la menor y por tener mayores posibilidades de ocurrir. Corrientes línea – tierra no existen ya que no hay aporte de secuencia 0 debido a la conexión

del transformador ($\Delta \Delta$) como se muestra en los reportes del capítulo 3.

12) A nivel de 0.44 KV en Trituración Secundaria la corriente referencia para la coordinación es la de línea – línea, esto por ser la menor y por tener mayores posibilidades de ocurrir. Corrientes línea – tierra no existen ya que no hay aporte de secuencia 0 debido a la conexión del transformador ($Y \Delta$) como se muestra en los reportes del capítulo 3.

13) A nivel de 0.44 KV en Trituración primaria la corriente referencia para la coordinación es la trifásica. Existen problemas de aterrizamiento del lado de baja tensión, como se muestra en el reporte de medición de las tomas de puesta a tierra en el anexo 13.

14) Para el caso de los transformadores monofásicos, se consideró la corriente de falla línea – neutro.

15) Se hizo un estudio preliminar con las protecciones actuales que se han aplicado al sistema eléctrico de la industria Huayco S.A. determinado falencias como falta de selectividad. Dichas falencias se describe extensivamente en el capítulo 4.

16) La práctica de protección por medio de fusibles es común en sistemas europeos sin embargo tiene sus limitaciones como es el permitir la operación monofásica o bifásica de un sistema, produciendo calentamiento en motores y transformadores atentando contra la integridad de los mismos.

17) Al ser la capacidad del transformador principal de considerable magnitud (3,75 MVA) y al ser este el único transmisor de energía a la



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



planta, se considera de vital importancia dar una correcta protección al mismo con el fin de precautelar su buen estado, y la continuidad de servicio a la industria de “Calizas Huayco S.A”.

18) El relé **GE 745 Transformer Management**, tiene las características idóneas para dar protección al transformador en la subestación principal.

19) Se usaron los elementos 50P, 151P, 250P, 251P, 350P, 351P, 81, 87, 50/87 y la facilidad de la programación FLEXLOGICc del relé para un control de transferencia automática.

20) El diseño del relé ofrece protección en el lado de media tensión a dos devanados. Característica que fue usada para dar protección a las dos alimentadoras que existen en “Calizas huayco S.A”, ofreciendo con esto **selectividad** ante eventuales fallas.

21) La transferencia automática que se realiza con el relé ofrece una **continuidad en la producción de la planta**.

22) Se plantearon esquemas de protección de las 3 subestaciones de menor capacidad usando relés **GE 745 Transformer Management**, mediante las características de protección de sobrecorriente, instantáneas y diferenciales 87.

Referencias

1) Institute of Electrical & Electronics Engineers, (Instituto de Ingenieros eléctricos y electrónicos; IEEE); “IEEE Recommended Practice for Industrial and Commercial Power Systems Analysis”; Estados Unidos – 1998.

2) GE Industrial Systems; “745 TRANSFORMER MANAGEMENT RELAY. INSTRUCTION MANUAL.”; Canada – 2004.

3) STEVENSON WILLIAM. GREIGNER, JOHN; “POWER SYSTEM ANALYSIS”; McGraw Hill; Estados Unidos - 1992.

4) KASIKCI ISMAIL; “Short Circuits in Power Systems”; Willey – VCH Verlag-GmbH; Weinheim, Alemania – 2002.

5) GENERAL ELECTRIC; “Distribution Data Book”.

6) Institute of Electrical & Electronics Engineers IEEE; ANSI/IEEE Standard C37.91; “Guide to Protective Relaying Applications to Power Transformers, IEEE Service Center.

7) LAYANA JOSE. “Problemas de Disturbios en los Sistemas Eléctricos de Potencia. ESPOL – 2007.

8) GREENWOOD ALLAN. “Electrical Transients in Power Systems”. Wiley-Interscience; 2 edition (April 18, 1991).

9) RUSSEL MASON, C. “El arte y la ciencia de la protección pro relevadores”. México, D.F. : Continental, 1990.

10) AREVA. “Network protection and automation gruide”. First Edition. Francia, 2002.