

[ANEXO 3]

CÁLCULOS ELÉCTRICOS

Para la estimación de la demanda del circuito Choroní se tomó como base la información de la carga diaria suministrada por los operadores de la subestación Delicias a través de libros, se analizó un registro histórico de 6 meses.

A continuación se presenta las curvas correspondientes a los 6 meses de registro (octubre 2007 – marzo 2008)

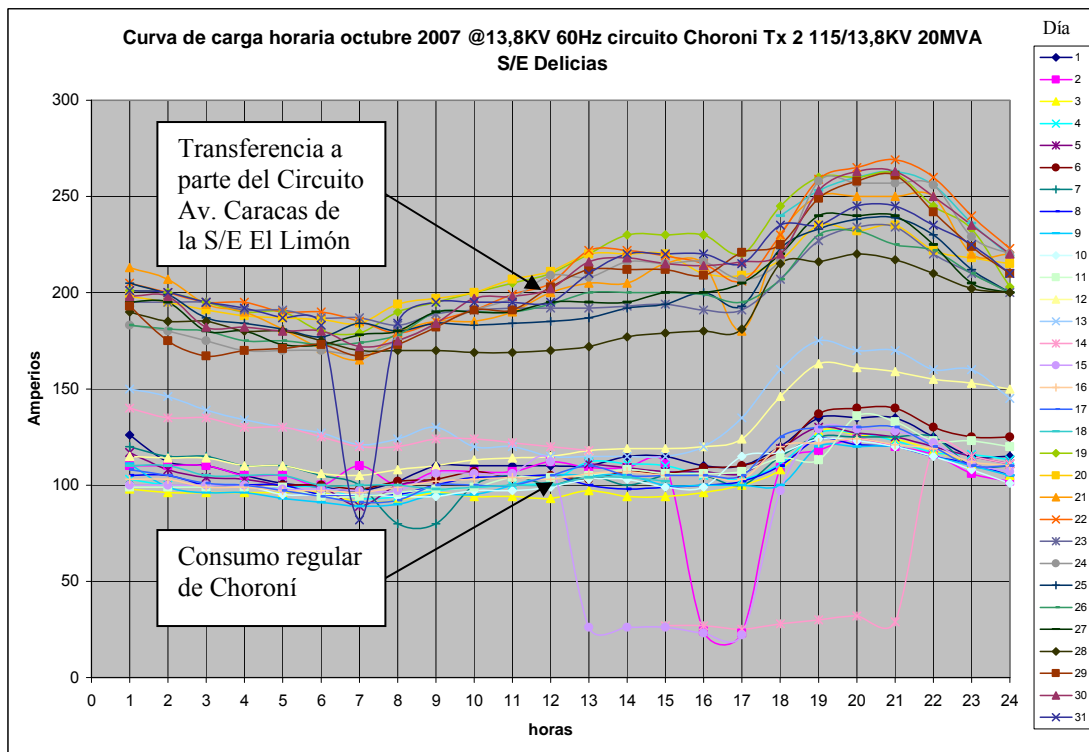


Figura 60 Gráfico de carga horaria mes de octubre 2007

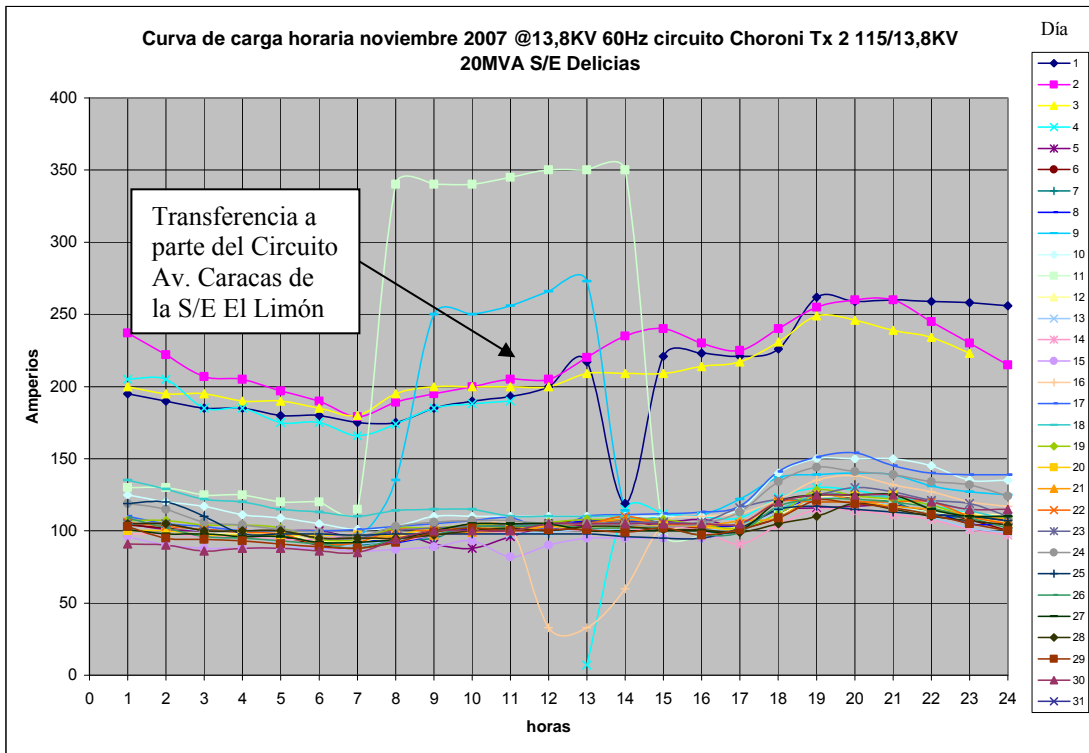


Figura 61 Gráfico de carga horaria mes de noviembre 2007

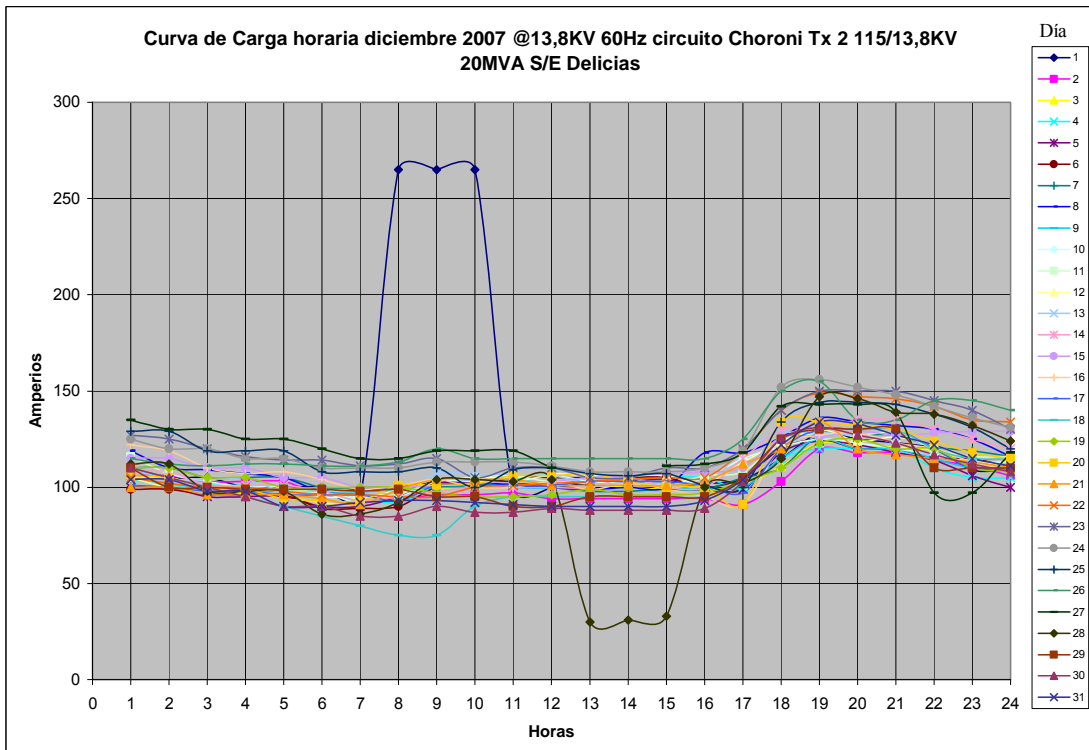


Figura 62 Gráfico de carga horaria mes de diciembre 2007

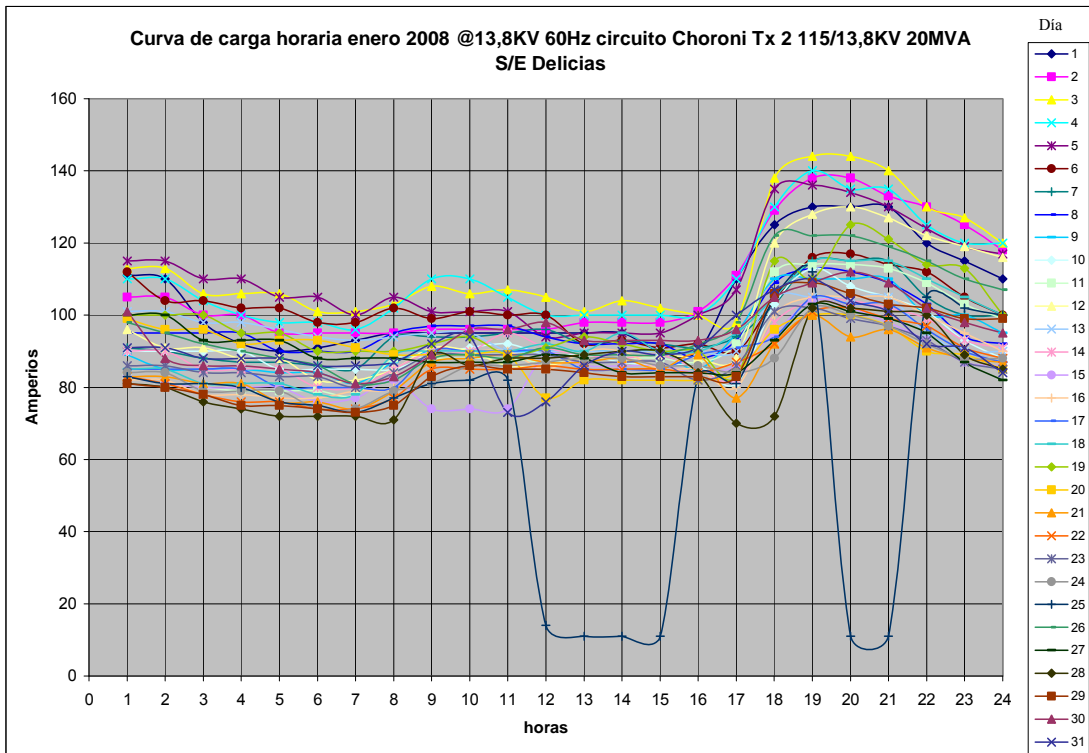


Figura 63 Gráfico de carga horaria mes de enero 2008

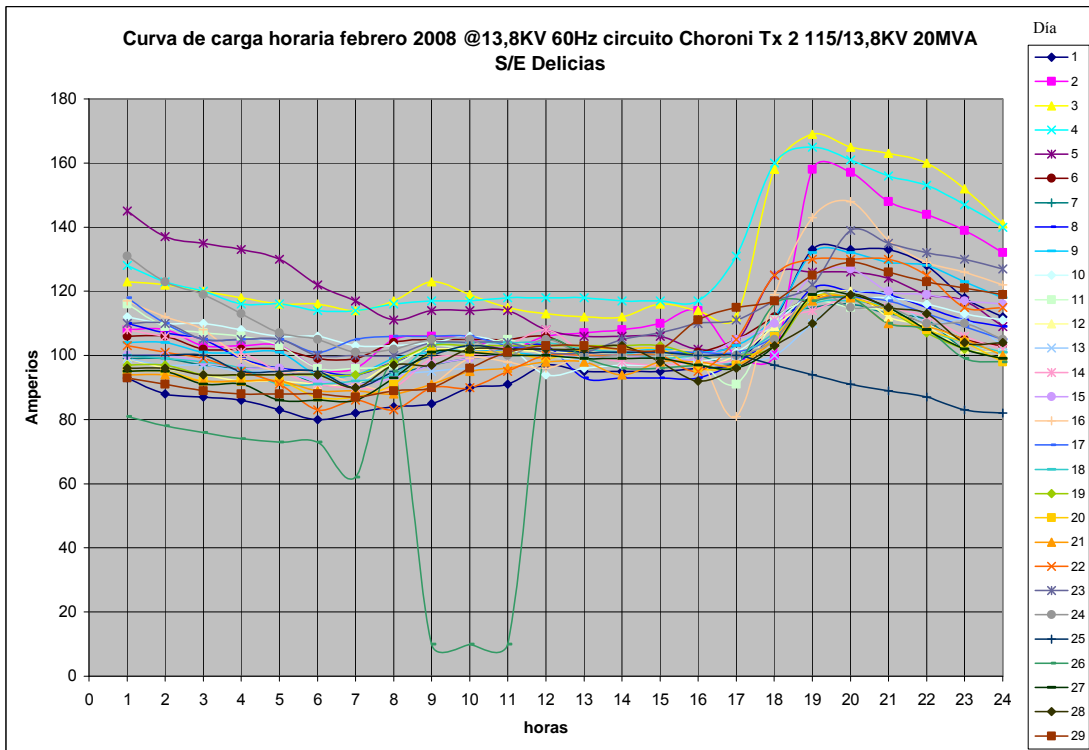


Figura 64 Gráfico de carga horaria mes de febrero 2008

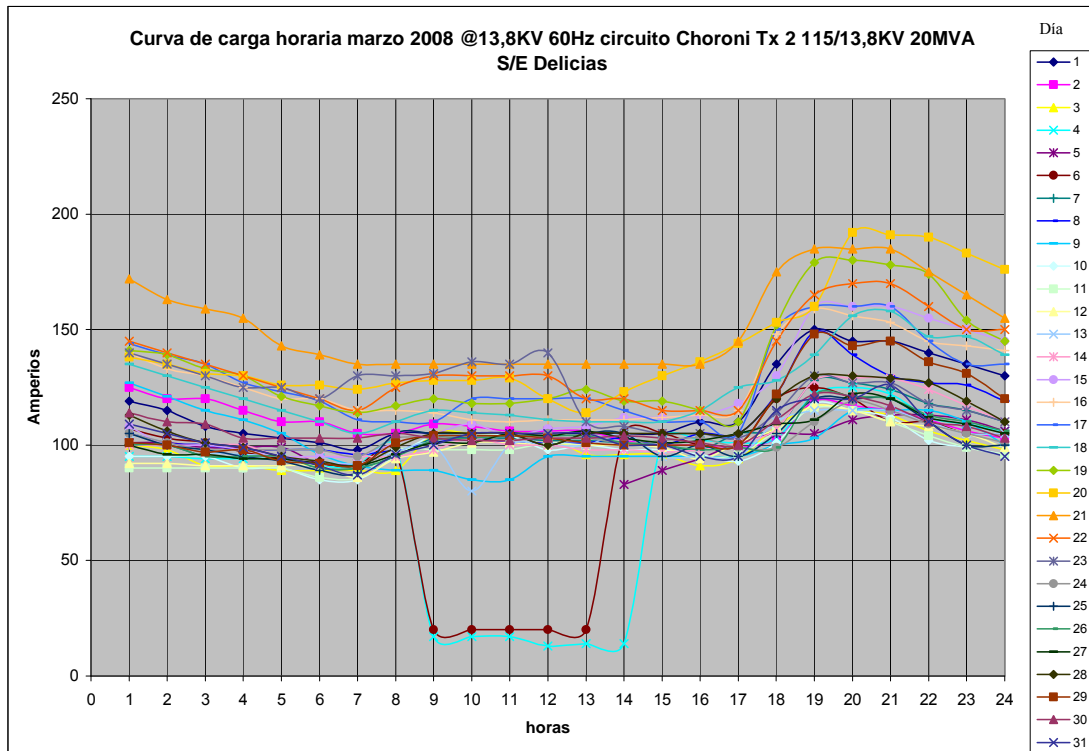


Figura 65 Gráfico de carga horaria mes de marzo 2008

A3.1 INTERCONEXIÓN, MEDIDA Y TRANSFORMACIÓN EN MEDIA TENSIÓN

El siguiente apartado tiene como finalidad realizar los cálculos necesarios para la conexión en paralelo con la red de distribución eléctrica de 13,8kV de la empresa CADAFE.

Debido a que se trata de una PCH con una potencia superior a 100 kW, la interconexión con la red de distribución se debe realizar a 13,8 kV

Con el fin de entregar la energía producida en dicha PCH, sobre la red de distribución, será necesario la creación de un centro de transformación para elevar

la tensión de salida de los generadores, de los 2400 V hasta 13,8 kV, instalando los sistemas de medición y protección de la interconexión necesarios.

A3.1.1 Corriente en Alta Tensión

La Corriente primaria en un transformador trifásico viene dada por la expresión:

$$I_p = S / (1,73 \times V_p) \quad (59)$$

S- Potencia aparente del transformador en kVA

V_p - Tensión primaria en kv

I_p - Intensidad primaria en A

En éste caso, la tensión primaria es de 13,8 kV. Y la potencia del transformador es de 750 kVA

$$I_p = 31,414 \text{ A}$$

A3.1.2 Corriente en Baja Tensión

La corriente secundaria en baja tensión en un transformador trifásico viene dada por la expresión:

$$I_s = S / (1,73 \times V_s) \quad (60)$$

S- Potencia aparente del transformador en kVA

V_s - Tensión secundaria en kV

I_s - Intensidad secundaria en A

La potencia del transformador es de 750 kVA y la tensión en el secundario es de 2400 V.

Así pues, sustituyendo los valores anteriores se obtiene la corriente en los bornes de baja tensión del transformador, cuyo valor es:

$$I_s = 180,63 \text{ A} \quad \text{se le asocia un conductor de 250 kcmil.}$$

Cálculo de la corriente de cortocircuito

Para el cálculo de la corriente de cortocircuito se tendrá en cuenta la potencia de cortocircuito de la red, la cual, fue especificada por la empresa CADAFE.

Para el cálculo de la corriente de cortocircuito en la instalación, se utilizará la expresión:

$$I_{ccp} = S_{cc} / (1,73 \times V_p) \quad (61)$$

De donde

S_{cc} - Potencia de cortocircuito de la red en kVA

V_p - Tensión de la red en kV

I_{ccp} - Corriente de cortocircuito en kA

La potencia de cortocircuito es de 154,3 MVA, la tensión de la red es de 13,8kV.

Sustituyendo en la ecuación de arriba se obtiene un valor de la corriente de cortocircuito de: 6,46 kA eficaces @ 13,8 kV 60Hz en la subestación Delicias en el transformador asociado al circuito Choroní

Cálculo de la corriente de cortocircuito en el punto de interconexión a 13,8kV

Para este caso se utilizó el cálculo en por unidad seleccionándose para la base de potencia 750 kVA que corresponde a la capacidad del transformador de los grupos, de esta forma se obtienen las siguientes bases:

Para $V_{\text{Base L-L}}=13,8 \text{ kV}$ se tiene:

$$I_{\text{Base línea}}=31,4 \text{ A}$$

$$Z_{\text{Base L-N}}=253,9 \Omega$$

Para $V_{\text{Base L-L}}=2,4 \text{ kV}$ se tiene:

$$I_{\text{Base línea}}=180,4 \text{ A}$$

$$Z_{\text{Base L-N}}=7,68 \Omega$$

V_{nt} - Tensión nominal del transformador en baja tensión = 2,4 kV

V_n —Tensión nominal salida del generador = 3,0 kV

Z_G - Impedancia del generador

Z_{eq} - Impedancia equivalente

El primer paso será obtener las impedancias de cortocircuito.

Impedancias de los medios de servicio y de la vía de la corriente de cortocircuito:

a) Impedancia de la red

$$Z_Q = (c \times V_N^2) / S_{cc} \quad (38)$$

(c) según IEEE Red book std. 141 1993 =1.25

Z_Q - Impedancia de la red

V_N - Tensión de la línea = 13,8kV

Scc- Potencia de cortocircuito de la red = 154,3 MVA

Se obtiene un valor de:

$$Z_Q = 1,543 \text{ Ohms}$$

Si se tiene que $R_Q = 0,1X_Q$

$$X_Q = \frac{Z_Q}{1,005} = 1,535 \text{ Ohms}$$

La forma compleja es:

$$Z_Q = (0,1535 + j1,535) \text{ Ohms}$$

En por unidad referida a la base actual (13,8kV 750 kVA) :

$$Z_{Q \text{ pu}} = \frac{1,543 \Omega}{253,9 \Omega}$$

$$Z_{Q \text{ pu}} = 0,0061$$

b) Impedancia de la línea ARV 3x4/0 @ 40°C

$$Z_L = L * (r + jx)$$

De donde

Z_L = impedancia de la línea

$r = 0,293 \text{ Ohms/km}$

$x = 0,117 \text{ Ohms/km}$

$L = 57,8 \text{ km}$

$$Z_L = (16,94 + j6.7626) \text{ Ohms}$$

$$|Z_L| = 18,23 \text{ Ohms}$$

En por unidad referida a la base actual (13,8kV 750 kVA) :

$$Z_{L \text{ pu}} = \frac{18,23\Omega}{253,9\Omega}$$

$$Z_{L \text{ pu}} = 0,0718$$

Impedancia vista desde la planta

$$Z_{eq \text{ pu}} = Z_{Q \text{ pu}} + Z_{L \text{ pu}}$$

$$Z_{eq \text{ pu}} = 0,0061 + 0,0718$$

$$Z_{eq \text{ pu}} = 0,0779$$

c) Impedancia del transformador del grupo.

$$Z'_{T \text{ pu}}^2 = R'_{T \text{ pu}}^2 + X'_{T \text{ pu}}^2$$

Según tamaño del transformador de grupo (750 kVA) deduce que tiene una caída porcentual de cortocircuito de $Z'_{T \text{ pu}}=6\%$ con una caída de tensión Ohmica de $R'_{T \text{ pu}}=1,35\%$. Por tanto la caída de tensión inductiva es $X'_{T \text{ pu}}=5,85\%$

En por unidad referida a la base actual (750 kVA) :

$$Z'_{T \text{ pu}} = 0,060$$

d) Impedancia del cable del transformador de grupo al generador 250kcmil en ducto no magnético @ 50 °C

$$Z'_c = L * (r' + jx')$$

De donde

Z'_c = impedancia del cable

$$r' = 0,000162 \text{ Ohms/m}$$

$$x' = 0,000117 \text{ Ohms/m}$$

$$L = 100\text{m}$$

$$Z'_c = (0,0162 + j0,0117) \text{ Ohms}$$

$$|Z'_c| = 0,02 \text{ Ohms}$$

En por unidad referida a la base actual (2,4kV 750 kVA) :

$$Z'_{c\ pu} = \frac{0,02\Omega}{7,68}$$

$$Z'_{c\ pu} = 0,0026$$

f) Impedancia del Generador

Según IEEE std. 141 1993 Red Book para un generador sincrónico de polos salientes y 3 pares de polos se tiene que x''_d es aproximadamente 15%

$$x''_d = 15\%$$

$$U_{NG} = 3,0\text{kV}$$

$$S_{NG} = 700\text{kVA}$$

$$X / R = 25$$

$$Z''_G = 15,01\%$$

En por unidad referida a la base actual (2,4kV 750 kVA):

$$Z''_{G pu} = 0,1501 pu * \frac{750kVA}{700kVA}$$

$$Z''_{G pu} = 0,1608$$

Con las impedancias calculadas, ya se puede obtener las corrientes de cortocircuito:

La condición más severa es que los tres grupos se encuentren conectados a la red cuando ocurre la falla en el punto interconexión que es el lado de alta de los transformadores de grupo, de esta forma se tiene:

Impedancia equivalente a un solo grupo conectado:

$$Z_{Grupo pu} = Z'_{T pu} + Z'_C + Z''_G$$

$$Z_{Grupo pu} = 0,060 + 0,0026 + 0,1608$$

$$Z_{Grupo pu} = 0,2234$$

Impedancia de 3 grupos conectados:

$$Z_{3Grupos pu} = 0,0744$$

Impedancia de Cortocircuito:

$$Z_{Cortocircuito} = Z_{eq} // Z_{3Grupos}$$

$$Z_{cortocircuito pu} = 0,0381$$

$$I_{Cortocircuito Simétrica pu} = 1,0 / 0,0381 = 26,28$$

$$I_{Cortocircuito Simétrica} = I_{Cortocircuito Simétrica pu} * I_{base linea} = 26,28 * 31,4 A$$

$$I_{Cortocircuito Simétrica} = 825,12 A$$

Se tiene un factor multiplicativo de 1,6 acordado por IEEE Std C37.010-1979 and IEEE Std C37.5-1979 para la corriente asimétrica de primer ciclo total rms de:

$$I_{asimétrica} = 1,6 * 825,12 A = 1320 A$$

**Especificaciones técnicas de un puente grúa [22] de características similares
al de la PCH Choróni:**

- Capacidad máxima de carga: 10 Tm
- Luz entre ejes de carriles: 13'60 m aprox.
- Recorrido útil de gancho: 6.50m
- Velocidad de elevación 10t: 5 / 0,83 m/min (2 velocidades)
- Velocidad de traslación del carro: 20 m/min (continua)
- Velocidad de traslación del puente: 32 m/min (continua)
- Potencia motor elevación 10t: 9/1,4 kW - 60% ed
- Potencia motor traslación carro: 2 x 0,3 kW - 40% ed
- Potencia motores traslación de puente: 2 x 0,65 kW - 40% ed
- Tensión de servicio: 208 V., 60 Hz, 3 fases.
- Tensión de mando: 48 V
- Peso aproximado: 5,1 Tn
- Polipasto marca Hidrat tipo VST10 H8, 5V1 4/1 T3 o técnicamente equivalente
- Estructura puente: birrail (viga cajón)
- Clasificación de la estructura: FEM A5
- Clasificación del polipasto de 10T: FEM M5
- Clasificación de traslación carro: FEM M5
- Clasificación de traslación puente: FEM M5
- Flecha máxima: 1:1000 de la luz.
- Reacciones:
 - Rv: 6,2 T (reacción vertical máxima por rueda)
 - Fl: 0,9 T (esfuerzo de frenado sobre cada carril en sentido Longitudinal a la nave).
 - Ft: 0,7 T (esfuerzo máximo de frenado sobre cada carril En sentido transversal a la nave, en cada rueda).
- Rango de temperaturas: 5°C / + 45°C.
- Línea eléctrica a base de conductores blindados tipo KSB 4/40.
- Caminos de rodadura de 2 x 31 m de longitud, formados por perfiles laminados y rectangular de 60 x 40 mm, calculados para una separación entre puntos de apoyo de 6'15 m. Sustentados por ménsulas existentes en las columnas de la nave. Color gris.
- Mando a distancia mediante botonera colgante y mando radio.
- Pintura: puente grúa amarillo RAL 1.021 - componentes verde.

La figura 66 muestra un diagrama típico de las funciones de relés del generador.

Tabla 23 Funciones de relés de protección del generador y transformador

Dispositivo	Función
21	Relé de distancia. Respaldo para fallas de fase en el sistema y en la zona del generador.
24	Protección de Volts/Hz para sobreexcitación del generador.
32	Relé de potencia inversa. Protección de antimotorización.
40	Protección de pérdida de campo.
46	Protección de desbalance de corriente de secuencia negativa para el generador.
49	Protección térmica del estator.
51 GN	Relé de sobrecorriente a tierra con tiempo.
51 TN	Respaldo para fallas a tierra.
51 V	Relé de sobrecorriente de tiempo con control de tensión o restricción de tensión. Respaldo para fallas de fase en el sistema y en el generador.
59	Protección de sobretensión.
59 GN	Relé de sobretensión. Protección de falla a tierra en el estator para un generador.
60	Relé de balance de tensión. Detección de fusibles fundidos de transformadores de potencial.
63	Relé de presión del transformador.
62 B	Temporizador de falla de interruptor.
64 F	Protección de falla a tierra del campo.
71	Nivel de aceite o gas del transformador.
78	Protección de pérdida de sincronismo.
81	Relé de frecuencia. Protección de baja o sobrefrecuencia.
86	Relé auxiliar de bloqueo y reposición manual.
87 G	Relé diferencial. Protección primaria de falla de fases del generador.
87 N	Protección diferencial de falla a tierra del estator.
87 T	Relé diferencial. Protección primaria para el transformador.
87 U	Relé diferencial para la protección total de generador-transformador.

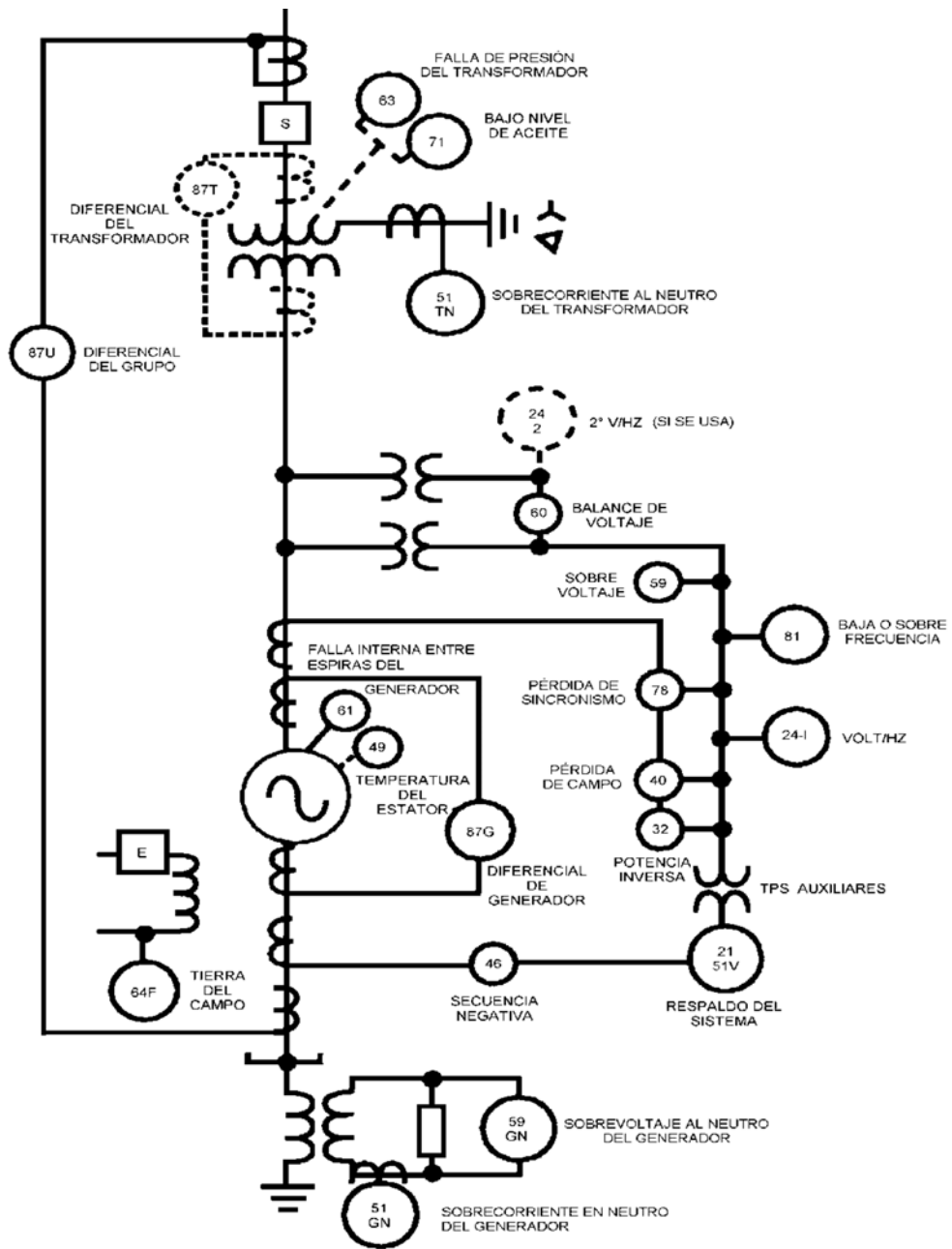


Figura 66 Configuración típica para el Generador Transformador [20]

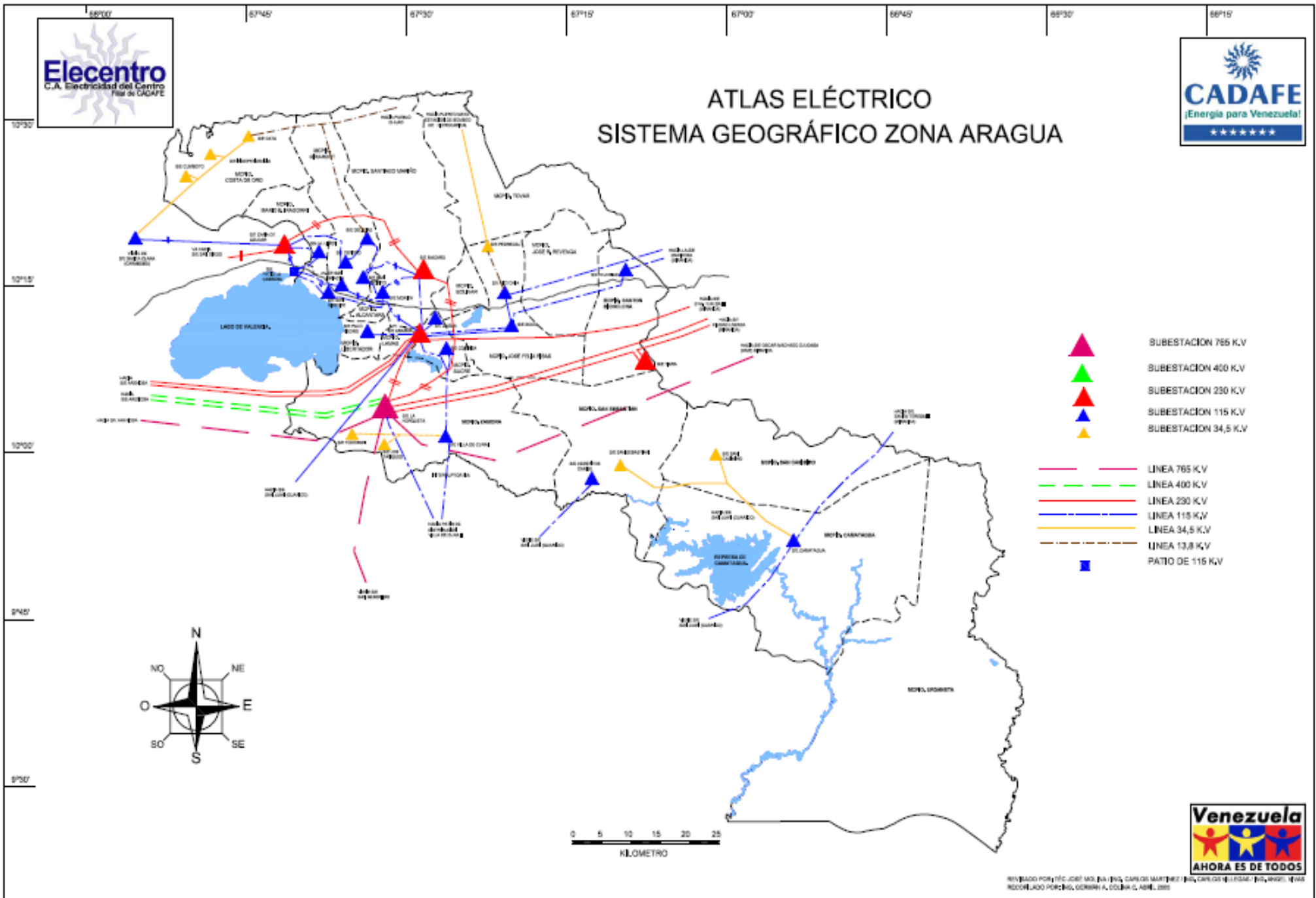


Figura 68 Sistema Geográfico Aragua [21]

