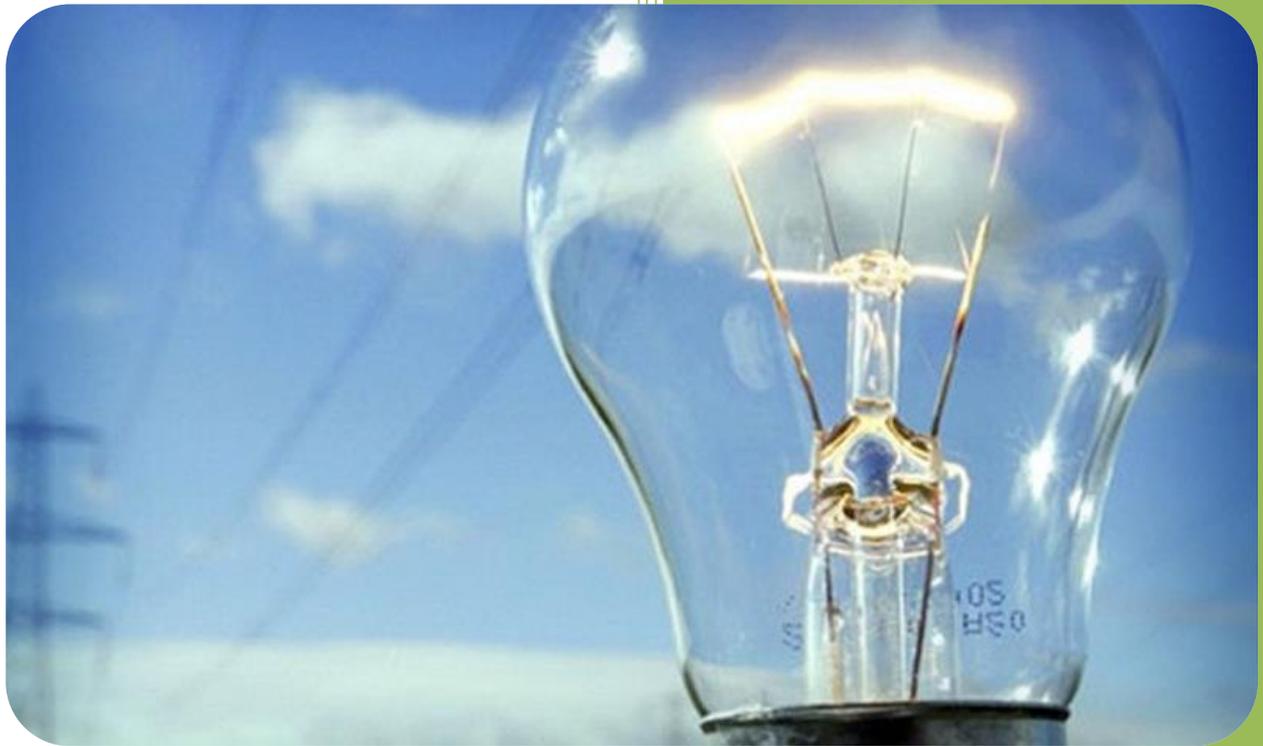


# Proyecto Final

“Ampliación y reacondicionamiento de la red eléctrica en MT en la zona Oeste de la ciudad de Concordia”

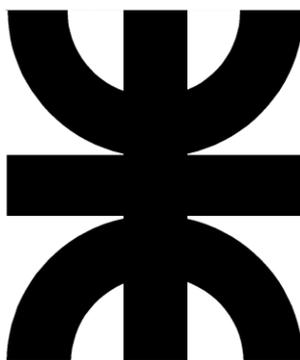


**Mariano Alonso**

Ingeniería Eléctrica

Universidad Tecnológica Nacional

Facultad Regional Concordia



**Universidad Tecnológica Nacional**

**Facultad Regional Concordia**

**Ingeniería Eléctrica**

Cátedra: **Proyecto Final**

Titular de Cátedra: **Ing. Federico Schattenhofer**

Jefe del departamento de ingeniería eléctrica: **Ing. Maria Isabel Jauregui**

Alumno: **Mariano Alonso**

Título del proyecto: **“Ampliación y reacondicionamiento de la red eléctrica en MT en la zona Oeste de la ciudad de Concordia”**

Año: **2018**

# Índice general

- ✚ Capítulo 01 - Descripción técnica preliminar
- ✚ Capítulo 02 - Cálculo de distancias dieléctricas
- ✚ Capítulo 03 - Selección de aisladores y conductores
- ✚ Capítulo 04 - Cálculo mecánico de los conductores
- ✚ Capítulo 05 - Dimensionamiento de las estructuras
- ✚ Capítulo 06 - Cálculo de bases
- ✚ Capítulo 07 - Selección de descargadores
- ✚ Capítulo 08 - Selección de interruptores y seccionadores
- ✚ Capítulo 09 - Líneas subterráneas
- ✚ Capítulo 10 - Estudios eléctricos
- ✚ Capítulo 11 - Plan de negocios
- ✚ Capítulo 12 - Planillas anexadas
- ✚ Capítulo 13 - Planos

**Proyecto Final**

# Capítulo 1 - Descripción Preliminar



**Mariano Alonso**

Ingeniería Eléctrica

Universidad Tecnológica Nacional

Facultad Regional Concordia

## Tabla de contenido

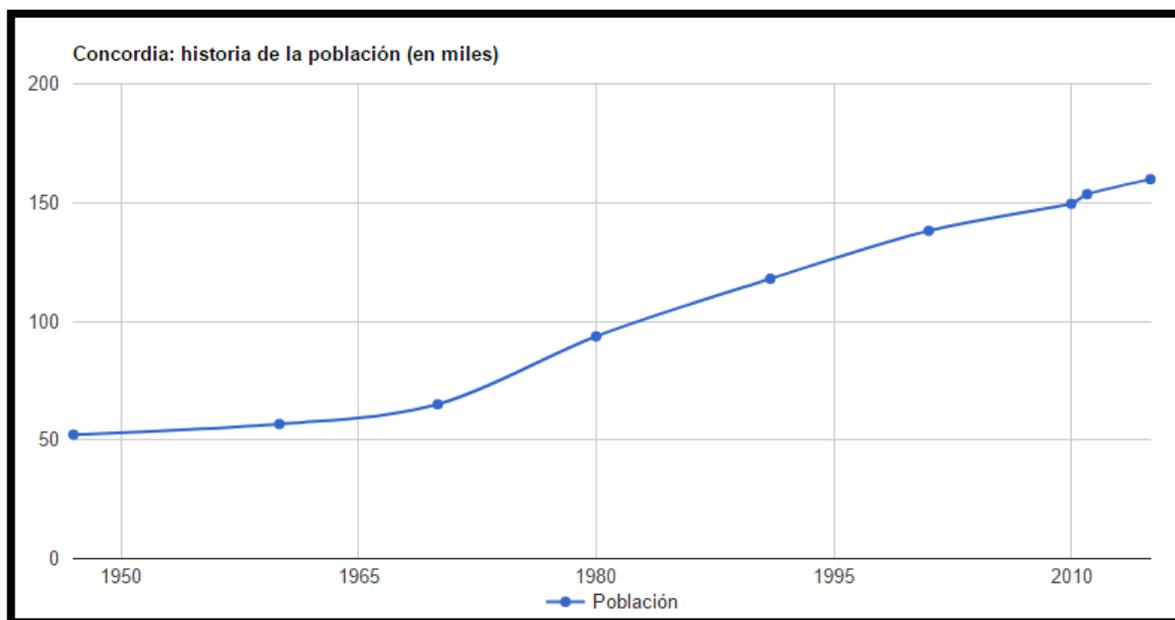
Descripción de la situación actual .....	2
Descripción de la problemática .....	3
Justificación .....	4
Traza .....	4
Área de influencia.....	5
Altimetría.....	5
Configuración .....	5
Aisladores .....	6
Altura Libre .....	6
Vano .....	7
Interferencias .....	7
Columnas de alumbrado .....	7
Arbolado .....	7
Postes .....	8
Puesta a tierra de las estructuras (PAT) .....	8

## Descripción de la situación actual

El proyecto ha de ejecutarse en la zona Oeste de la ciudad de Concordia (Entre Ríos – Argentina) con el fin de ofrecer una mayor calidad de vida a sus ciudadanos, atraer inversiones que generen fuentes de trabajo, mejorar la estabilidad y confiabilidad en el servicio de distribución eléctrica.

La ciudad de Concordia ha tenido un incremento notable de su población, este incremento tuvo mayor lugar en la zona Oeste. Por este motivo se considera que las líneas de media tensión (MT) que alimentan estos barrios son de vital importancia.

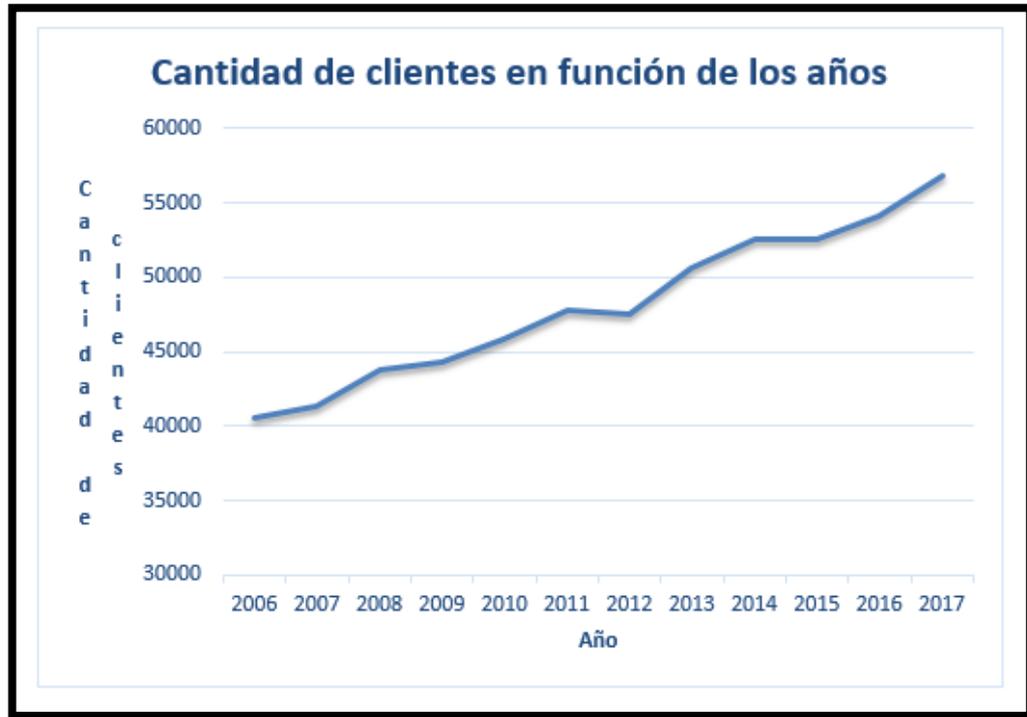
La energía eléctrica es un servicio indispensable para el bienestar y el desarrollo de las personas. Es por ello que se insiste en este documento en que tener líneas de distribución acordes a las necesidades de la gente, confiables y seguras es de importancia destacable.



En la siguiente tabla se puede apreciar el aumento de clientes que ha tenido la Cooperativa Eléctrica de la ciudad de Concordia (CEC), ésta responde a una tasa de crecimiento promedio anual de 3,14[%].

Clientes de la Cooperativa Eléctrica de Concordia												
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Total de clientes	40518	41378	43844	44351	45828	47820	47524	50629	52523	52523	54035	56781
Variación anual		2,12%	5,96%	1,16%	3,33%	4,35%	-0,62%	6,53%	3,74%	0,00%	2,88%	5,08%
Variación promedio	3,14%											

Gráfico correspondiente a la tabla anterior:



Cantidad de clientes en función de los años en la CEC.

## Descripción de la problemática

Las líneas de MT de 33[kV] encargadas de abastecer eléctricamente la zona Oeste de la ciudad de Concordia (Salida N°15 y N°4 de la central 2 de la CEC) se encuentran con un gran deterioro en postes de madera, aisladores, conductores, hilo de guardia, crucetas y algunas bases comprometidas por corrientes superficiales de agua. Estas condiciones provocan que la línea salga de servicio ante perturbaciones, y se generen riesgos de accidentes para los pobladores del lugar y quienes transiten la zona. Cabe destacar que estas líneas se encargan de alimentar, entre otras cargas tales como aserraderos, apícolas, barrios alejados, fábrica de ladrillos, etc.; a la planta de tratamiento de residuos de toda la ciudad de Concordia, la cual también tiene prevista una ampliación para mejorar su funcionamiento.

A su vez se podrá llegar con alimentación trifásica a puntos carentes como la futura planta elevadora de agua que consta de una alimentación monofásica, entre otros.

Por lo tanto se considera conveniente reacondicionar las líneas existentes tratando de mantener en uso lo que se encuentre en buen estado con el fin de optimizar costos.

El reacondicionamiento planteado en este proyecto además permitirá la alimentación de las líneas desde puntos distintos mediante seccionamientos, lo que conlleva a una

confiable red eléctrica con posibilidades de maniobras ante fallas y ante tareas de mantenimiento.

## Justificación

Esta inversión traerá consigo beneficios de índole social, económico y técnico que se depositarán directamente en los consumidores finales y en la misma empresa de distribución de energía eléctrica.

La utilización de postes de hormigón armado ( $H^0A^0$ ) y conductores de aleación de Aluminio con vanos de 90 [m] caracterizarán a las líneas por su perduración en el tiempo, esto se debe a que estas estructuras se ven menos alteradas por los agentes naturales, de esta manera también se evita la necesidad de realizar grandes mantenimientos o recambios.

Por otra parte, la utilización de aisladores del tipo Line-Post genera un impacto visual menor que otras configuraciones y además son menos afectados por el vandalismo.

## Traza

La traza se realizará en sectores urbanos sin interferir con cementerios, piscinas ni zonas aledañas a las mismas así como campos deportivos, plazas, aeropuertos o vías navegables.

Todos los tendidos se ejecutarán sobre calles con un ancho igual o mayor a 24,24 [m] de línea a línea Municipal también denominadas “calles anchas”.

La línea no contará con hilo de guardia, debido a que es una zona urbanizada con estructuras y árboles de alturas considerables que disminuirá la probabilidad de incidencia de las descargas eléctricas sobre la línea; aun así tendrá descargadores de sobretensiones con una puesta a tierra de valor mínimo para su correcto funcionamiento. De esta forma se lograrán menores alturas de estructuras, menores esfuerzos, menores bases, un conductor menos y por ende un costo de inversión menor.

## Área de influencia



## Altimetría

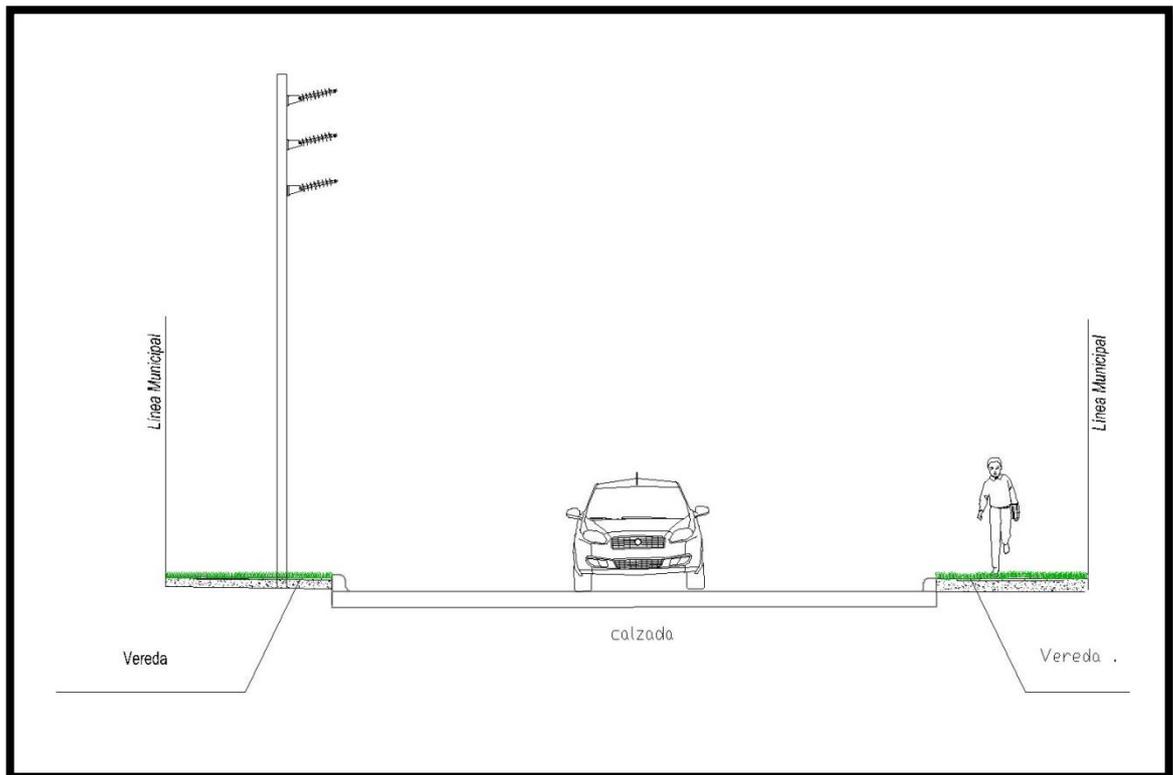
Los datos fueron referidos al valor (0,0) IGM obtenidos de las curvas de nivel obrantes en la Dirección de Catastro de la Municipalidad de Concordia.

Debido a tratarse de terrenos urbanos no se encontraron desniveles o quiebres importantes entre los piquetes proyectados.

## Configuración

La configuración del cabezal se determinó como co-planar vertical hacia calzada, provista de aisladores Line-Post de diseño compacto. Se busca de este modo evitar que disminuyan las distancias eléctricas referidas a las líneas municipales, ya sea por nuevas construcciones o futuros movimientos de suelos.

Esquema de configuración adoptada:



## Aisladores

Los aisladores serán del tipo Line-Post los cuales permiten conformar líneas más compactas, con menor impacto visual y reducir el electroducto. Tendrán una inclinación de  $12[^\circ]$  respecto de la horizontal, ubicando al conductor en la posición lateral y utilizando como elemento de fijación una atadura elástica.

También debido a la elección de este tipo de aisladores se obtienen columnas de menor porte y costo que las determinadas por ménsulas de hormigón armado.

## Altura libre

La altura libre se determinó a  $9 [m]$  teniendo en cuenta el valor brindado por la tabla 7.4-a de la norma AEA 95301<sup>1</sup> (pp. 27), la flecha máxima y considerando que, al tratarse de una línea del tipo urbana, deberá permitir el emplazamiento de otras instalaciones por debajo, así como contemplar futuras construcciones lindantes con dichas líneas.

<sup>1</sup> Asociación Electrotécnica Argentina. Reglamentación de líneas aéreas exteriores de media y alta tensión. 2007

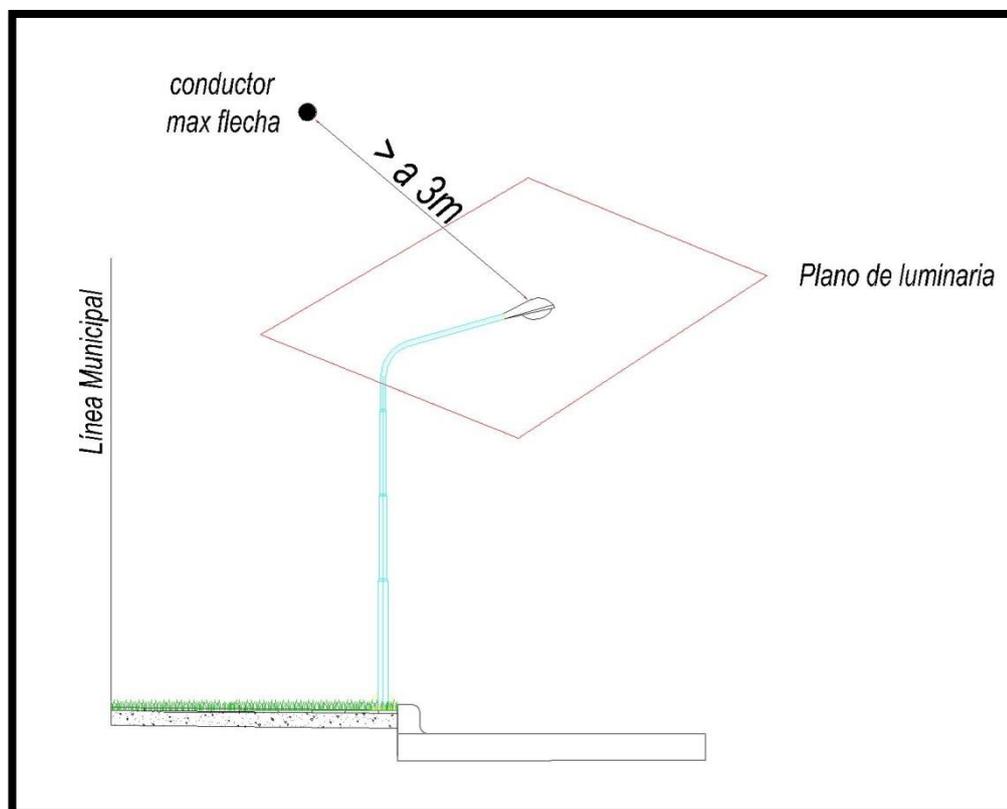
## Vano

El vano promedio fue planteado igual a 90 [m] a modo de lograr una distribución uniforme y sin impacto visual sobre las calles promedio de la ciudad.

## Interferencias

### Columnas de alumbrado

Debido a las alturas y configuración adoptadas, siempre el plano de las luminarias permanecerá por debajo de la línea y a una distancia mayor a los 3 [m] en cualquier dirección, cumpliéndose lo indicado en el punto 7.11.4 de la norma AEA 95301 (pp. 37)



## Arbolado

Los sectores en los cuales se encuentren plantaciones de árboles se realizarán podas, raleo o despunte a modo de cumplir con las condiciones indicadas en el punto 7.14 de la normativa AEA 95301 (pp. 41).

No existen interferencias con tendidos de gas, fibra óptica ni tendidos subterráneos de energía.

## Postes

Todos los postes de madera existentes serán reemplazados por postes de hormigón troncocónicos normalizados para tal fin.

Los postes existentes de hormigón y en condiciones óptimas así como los soportes de las estaciones transformadoras distribuidas a través de la traza se mantendrán emplazados en los lugares originales de instalación.

Las estructuras terminales y angulares se conformarán, si fuera posible, de poste simple a modo de no generar impacto visual y lograr una menor ocupación del terreno destinado a las veredas.

## Puesta a tierra de las estructuras (PAT)

Todas las estructuras se solicitarán con los respectivos bloques de PAT. Tanto el conductor de PAT y las jabalinas lisas (Norma IRAM 2309), serán del tipo Copperweld (acero recubierto de cobre) debido a su buen comportamiento eléctrico y a modo de evitar posibles hurtos.

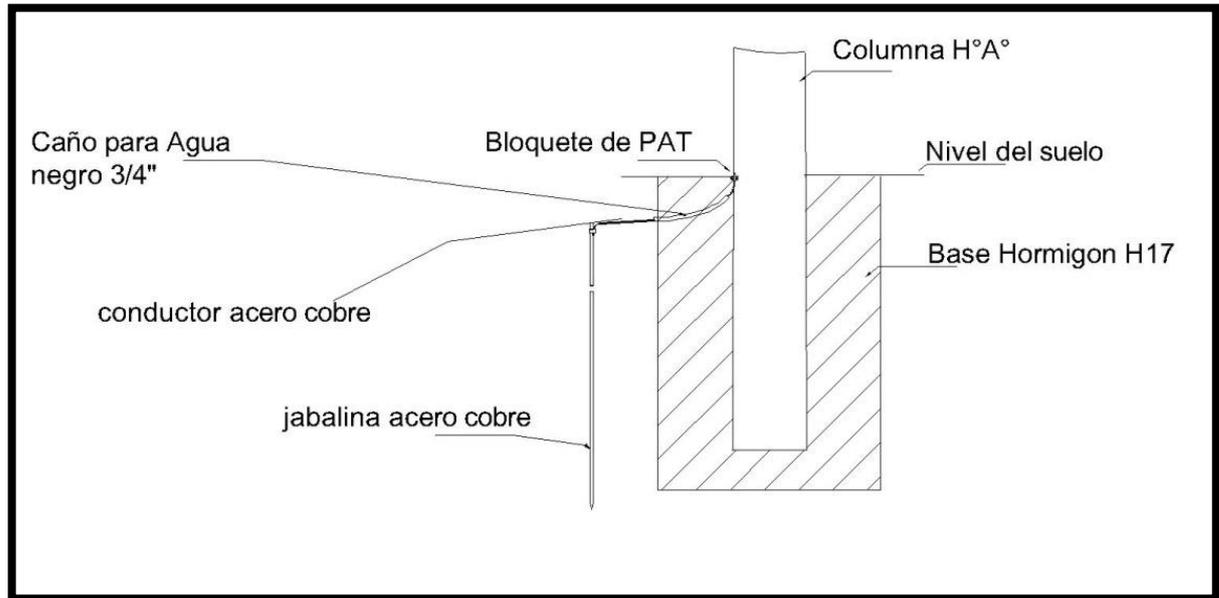
El conductor de PAT será desnudo (acero-cobre) de una sección igual a  $35 [mm^2]$  según sección 15.12 de la norma AEA 95301(pp. 106).

La jabalina a hincar será de una longitud igual  $1,5 [m]$  y un diámetro de  $\frac{3}{4} ["]$ .

Al momento de construirse las bases se deberá contemplar el emplazamiento de un caño de agua de un diámetro superior a los  $\frac{3}{4} ["]$  que se utilizará para la posterior canalización del conductor de PAT.

La unión del conductor con la jabalina correspondiente se realizará mediante el proceso de soldadura cuproaluminotérmica o mediante compresión en frío con prensas normalizadas para tal fin.

El valor de puesta a tierra en los descargadores deberá ser de  $2 [\Omega]$ .



**Proyecto Final**

## Capítulo 2 - Distancias Dieléctricas



**Mariano Alonso**

Ingeniería Eléctrica

Universidad Tecnológica Nacional

Facultad Regional Concordia

## Tabla de Contenido

Introducción .....	2
Distancia entre conductores de una misma terna .....	2
Distancia entre conductores y partes estructurales propias puestas a tierra .....	3
Distancias verticales a tierra .....	4
Franja de servidumbre .....	4
Cálculo del ancho de la franja .....	4
Cálculo de la distancia de seguridad .....	6
Cálculo del ancho total de la franja de servidumbre.....	6



## Introducción

En este capítulo se calcularán las distancias mínimas necesarias para que no se produzcan descargas disruptivas en aire.

Se evaluarán las distancias entre conductores de una misma terna en el centro del vano, los elementos a potencial con respecto a tierra, franjas de servidumbre, etc.

Los cálculos han de realizarse siguiendo la norma AEA95301.

## Distancia entre conductores de una misma terna

Según lo dispuesto por la Reglamentación AEA 95301 la distancia entre conductores de la misma terna en el centro del vano y en situación de reposo no debe ser menor a la dada por la expresión:

$$D = k * \sqrt{f_{m\acute{a}x} + L_k} + \frac{V_N}{150}$$

Dónde:

$D$  es la distancia entre conductores en medio del vano, en [m]

$k$  es un coeficiente que depende del ángulo de declinación máximo del conductor por efecto del viento máximo de diseño considerado perpendicular a la línea

$f_{m\acute{a}x}$  es la flecha vertical máxima del conductor, en [m]

$L_k$  es la longitud oscilante de la cadena de suspensión, en [m]

$V_N$  es la tensión nominal de la línea, en [kV]

Para la determinación de este coeficiente es necesario primero el cálculo del ángulo de inclinación del conductor debido a la acción del viento, éste viene dado por la expresión:

$$\beta = \tan^{-1} \left( \frac{g_v}{g} \right)$$

Dónde:

$\beta$  es el ángulo de inclinación del conductor con respecto a la vertical

$g$  es el peso propio del conductor

$g_v$  es la carga aerodinámica

Teniendo en cuenta los siguientes valores (que pueden encontrarse en el capítulo 4), se puede calcular el ángulo de inclinación:

$$g = 0,00269 \left[ \frac{\text{daN}}{\text{m mm}^2} \right]$$

$$g_v = 0,00708 \left[ \frac{\text{daN}}{\text{m mm}^2} \right]$$

$$\beta = \tan^{-1} \left( \frac{0,00708 \left[ \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2 \text{ m}} \right]}{0,00269 \left[ \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2 \text{ m}} \right]} \right)$$

$$\beta = 69,22[^\circ]$$

Valores del coeficiente $k$				
Disposición de los conductores	< 45°	de 45° a 55°	de 55° a 65°	> 65°
Vertical: Superpuestos en un plano vertical	0,70	0,75	0,85	0,95
Triangular: Dispuestos en triángulo equilátero, dos a igual nivel	0,62	0,65	0,70	0,75
Horizontal: Ubicados en un mismo plano horizontal	0,60	0,62	0,65	0,70

Tabla 7.2-a extraída de AEA 95301 (pp. 23)

De aquí se obtiene que  $k = 0,95$

Luego, el valor máximo de la flecha en estado de reposo que se ha obtenido en este proyecto es de 0,85 [m].  $L_k$  en este caso es igual a cero puesto que se diseñó la línea con aisladores tipo Line-post.

$$D = 0,95 * \sqrt{0,85[m]} + \frac{33[kV]}{150} = 1,09[m]$$

Nota: La norma vigente dispone una reducción de hasta el 30[%] de la distancia entre fases para el caso de líneas de clase "B" que utilicen conductores desnudos. Con esta disminución la separación dada en el punto anterior puede valer como mínimo:

$$D = 0,77 [m]$$

Adoptándose para este proyecto  $D = 0,85 [m]$

### Distancia entre conductores y partes estructurales propias puestas a tierra

La normativa vigente exige para una línea de este tipo una distancia mínima entre conductores y partes estructurales propias puestas a tierra dada por la expresión:

$$s = 0,075 + 0,005 * (V_M - 8,7)$$

Dónde:

$s$  es la distancia mínima entre conductores y partes estructurales propias puestas a tierra, en [m]

$V_M$  es la máxima tensión de línea de servicio, en [kV]

En este caso:

$$s = 0,075 + 0,005 * (34,65 \text{ [kV]} - 8,7)$$

$$s = \mathbf{0,205 \text{ [m]}}$$

### Distancias verticales a tierra

Las distancias verticales a tierra según la AEA en la zona del proyecto pueden variar entre las mínimas de 5,9[m] y 7[m] según los tipos de lugares, por una cuestión de uniformidad se planteó una altura con respecto a tierra de 9[m], la cual se puede apreciar en la planialtimetría adjunta en el documento.

Se eligió una altura excedida para contemplar futuras construcciones (elevación de terreno, cableado de video o teléfono, etc.) como margen de seguridad.

### Franja de servidumbre

La franja de servidumbre se extiende a ambos lados de la línea. Se ha determinado a partir de la norma AEA 95301 (pp. 42-46).

### Cálculo del ancho de la franja

El cálculo de la franja total de terreno afectada por servidumbre, es decir, el ancho físico de la línea (bajo condición de viento máximo) más las franjas de seguridad a ambos lados, se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$A = C + 2 * (L_k + f_i) * \text{sen}(\alpha) + 2 * d$$

Dónde:

$A$  es el ancho total de la franja, en [m]

$C$  es la distancia entre los puntos de fijación de los conductores extremos para líneas horizontales o triangulares, en [m]. En líneas verticales  $C = 0$

$L_k$  es la longitud oscilante de la cadena de suspensión, en [m]. Para aisladores rígidos  $L_k = 0$

$f_i$  es la flecha inclinada máxima del conductor para el estado definido en el punto 6.2.2. de la norma AEA 95301 (pp. 14) para franja de servidumbre, en [m]

$\alpha$  es el ángulo de declinación máximo del conductor, por efecto del viento definido en el punto 6.2.2. de la norma AEA 95301 (pp. 14) para franja de servidumbre. Dicho viento se corresponde con el empleado para la determinación de las distancias eléctricas externas de la línea

$d$  es la distancia de seguridad, en [m]

$$d = 1,5 * d_m + 2$$

La distancia de seguridad se compone de dos partes, una variable en función de la sobretensión posible de maniobra, afectada de un coeficiente de seguridad y la otra fija definida en 2 [m], como distancia de avance circunstancial (ni provisorio, ni definitivo), a la franja de servidumbre establecida.

$d_m$  es la distancia mínima, en [m]

$$d_m = \frac{V_S}{150}$$

Dónde:

$$V_S = \mu * 1,2 * 0,82 * V_N$$

$\mu$  es el coeficiente de sobretensión máxima de servicio (1,1 en general en sistemas trifásicos simétricos de 50 [Hz] y con centro de estrella, neutro, conectado rígidamente a tierra).

1,2 considera el enrarecimiento del aire (humedad, polución, etcétera)

0,82 es el factor de cresta de la tensión (tensión contra tierra)

$V_N$  es la tensión nominal de la línea, en [kV]

Entonces:

$$V_S = 1,1 * 1,2 * 0,82 * 33 \text{ [kV]}$$

$$V_S = 35,72 \text{ kV}$$

$$d_m = \frac{35,72 \text{ [kV]}}{150}$$

$$d_m = 0,238 \text{ [m]}$$

**Cálculo de la distancia de seguridad**

$$d = 1,5 * d_m + 2$$

$$d = 1,5 * 0,238 [m] + 2$$

$$d = 2,36 [m]$$

**Cálculo del ancho total de la franja de servidumbre**

$$A = C + 2 * (L_k + f_i) * \text{sen}(\alpha) + 2 * d$$

$$A = 0 [m] + 2 * (0 [m] + 0,85 [m]) * \text{sen}(69,22[^\circ]) + 2 * 2,36 [m]$$

$$A = 6,31 [m]$$

**Proyecto Final**

## Capítulo 3 - Aisladores y Conductores



**Mariano Alonso**

Ingeniería Eléctrica

Universidad Tecnológica Nacional

Facultad Regional Concordia

## Tabla de contenido

Selección de aisladores .....	2
Aisladores de suspensión .....	2
Tensión nominal .....	2
Tensión máxima .....	2
Sobretensión temporaria .....	2
Carga mecánica máxima.....	2
Aisladores de retención.....	4
Selección de conductores.....	4
Conductor aéreo.....	5
Cable subterráneo .....	6

## Selección de aisladores

En este capítulo se seleccionarán los aisladores a utilizar en el proyecto, se ha decidido que las estructuras de suspensión y suspensión angular dispongan de aisladores del tipo Line-post con el fin de conformar una línea compacta. Para el caso de las estructuras de retención y terminales se dispondrán aisladores poliméricos.

### Aisladores de Suspensión

#### Tensión Nominal

$$V_n = 33 \text{ [kV]}$$

#### Tensión Máxima

$$V_{max} = 1,05 * V_n$$

$$V_{max} = 34,65 \text{ [kV]}$$

#### Sobretensión temporaria

$$V_s = 1,4 * V_{max} = 1,4 * 1,05 * V_n$$

$$V_s = 48,51 \text{ [kV]}$$

#### Carga mecánica máxima

Si bien, en el proyecto hay distintos tipos de estructuras de suspensión (suspensión S, S+1, S+2 y suspensión angular) se considerará el peor de los casos para seleccionar el aislador y se colocarán los mismos en todas las estructuras de suspensión por una cuestión de uniformidad de stock y estética.

La peor carga mecánica estará dada en el estado de viento máximo perpendicular a la línea sobre una suspensión angular y cuyo valor puede ser estimado de la siguiente manera:

$$T_{max} = \sqrt{(g_{III} * l * S * \text{sen}(4[^\circ]) + F_{vc})^2 + (G_c)^2} + \text{carga adicional de montaje} = 137,22 \text{ [daN]}$$

Dónde:

$g_{III}$  es la carga específica para el estado de viento máximo

$$g_{III} = 0,00758 \left[ \frac{\text{daN}}{\text{m mm}^2} \right]$$

$l$  es la longitud de ambos semivanos

$$l = 90 \text{ [m]}$$

$S$  es la sección real del conductor

$$S = 51,07 [mm^2]$$

$F_{vc}$  es la fuerza del viento sobre el conductor en el estado de viento máximo

$$F_{vc} = 32,58 [daN]$$

$G_c$  es el peso del conductor de ambos semivanos

$$G_c = 12,64 [daN]$$

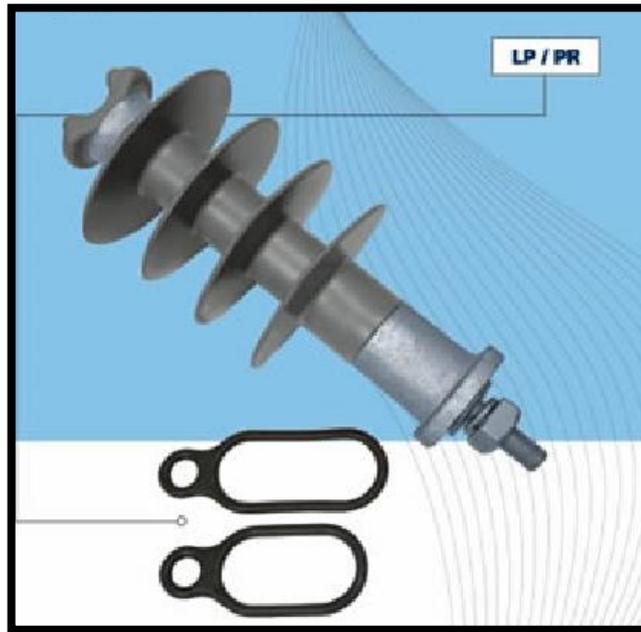
$$\text{Carga adicional de montaje} = 100 [daN]$$

La carga adicional se considera con el fin de que el aislador soporte las sollicitaciones ante tareas de mantenimiento.

Se ha optado por seleccionar un aislador de marca AVATOR modelo LP35 con las siguientes características técnicas:

Modelo	Número de aletas	Tensión de servicio (kV)	Carga mecánica de Flexión (kN)	Dimensiones aproximadas (mm) Aproximated dimension (in)			Performance eléctrica (kV) Electrical rating (kV)				Peso neto (kg)
				Altura 'H'	Distancia de pérdidas	Distancia de arco seco	Tensión Contorneo 50 Hz		Tensión Contorneo impulso		
Model	Number of sheds	Usual Voltage	Flexion mechanical load (lbs.)	High 'H'	Leakage distance	Dry arcing distance	Flashover 50 Hz		Impulse Flashover		Net weight (lbs.)
							Seco	Lluvia	Pos.	Neg.	
							Dry	Wet	Pos.	Neg.	
PR15 / LP15	3	15 / 25	10 / 2250	265 / 10,4	400 / 15,7	214 / 8,4	95	75	150	180	3,2 / 7,05
PR35 / LP35	4	35	10 / 2250	327 / 12,8	555 / 21,8	273 / 10,7	115	90	190	225	3,6 / 7,9





### Aisladores de retención

Las características a las cuales estarán sometidos son:

Tensión nominal

$$V_n = 33 \text{ [kV]}$$

Tensión máxima

$$V_{max} = 1,05 * V_n$$

$$V_{max} = 34,65 \text{ [kV]}$$

Sobretensión temporaria

$$V_s = 1,4 * V_{max} = 1,4 * 1,05 * V_n$$

$$V_s = 48,51 \text{ [kV]}$$

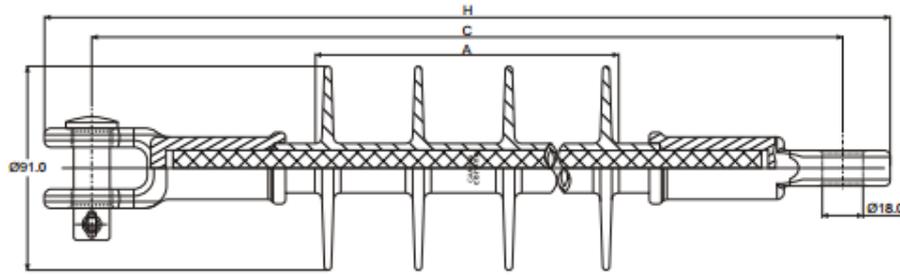
Carga mecánica máxima

$$T_{max} = \sigma_{II} * S = 10,38 \left[ \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right] * 51,07 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$T_{max} = 530,11 \text{ [daN]}$$

$\sigma_{II}$  es la carga para el estado de mínima temperatura en  $\left[ \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$

Se ha seleccionado un aislador polimérico de la marca GAMMA modelo PS035 con las siguientes características técnicas:



NÚMERO DE CATÁLOGO	PS015	PS025	PS035
CLASE ANSI (C29.13 - 2000)	DS-15	DS-28	DS-35
IEC	61109	61109	61109
<b>DISTANCIAS CRÍTICAS, mm</b>			
Distancia de arco	190	290	390
Distancia de fuga	410	630	915
<b>VALORES MECÁNICOS</b>			
Carga mecánica nominal (SML) lb (kN)	15736 (70)	15736 (70)	15736 (70)
Carga mecánica de rutina (RTL) lb (kN)	7868 (35)	7868 (35)	7868 (35)
Carga mecánica a la torsión, lb.ft (N.m)	35 (47)	35 (47)	35 (47)
<b>VALORES ELÉCTRICOS, kV</b>			
Voltaje típico de aplicación	15	25	35
Flameo de baja frecuencia en seco	95	130	160
Flameo de baja frecuencia en húmedo	85	120	150
Flameo crítico al impulso positivo	145	215	265
Nivel básico de aislamiento, NBA	140	210	255
<b>RADIO INFLUENCIA</b>			
Voltaje de prueba, kV	15	20	30
RIV máximo a 1000 kHz, $\mu\text{V}$	< 10	< 10	< 10
<b>DIMENSIONES SEGÚN ESQUEMA</b>			
Altura total H, mm	374	474	569
Distancia entre acoples C, mm	330	430	525
Número de campanas, A	4	6	9

## Selección de conductores

### Conductor Aéreo

Los conductores utilizados en las líneas de este proyecto son de la marca Prysmian Prysal de Aleación Aluminio desnudo de 50 [mm<sup>2</sup>] de sección, compuesto por 19 hilos de sección circular. Este conductor fue elegido debido a que la mayor parte de la red de 13,2 [kV] y de 33 [kV] de la CEC está construida con este tipo de conductor, por ende es un elemento con mayor acceso para la empresa distribuidora. (Ver capítulo 8)

Las características del conductor son las siguientes:

Sección nominal: 50 [mm<sup>2</sup>]

Formación (Nº de hilos\*diámetro de cada hilo [mm]): 19 \* 1,85[mm]

Diámetro aproximado: 9,3 [mm]

Masa aproximada: 140,4  $\left[\frac{kg}{km}\right]$

Carga de rotura: 1455 [daN]

Resistencia eléctrica a 20[°C]: 0,654  $\left[\frac{\Omega}{km}\right]$

Resistencia eléctrica a 80[°C]: 0,795  $\left[\frac{\Omega}{km}\right]$

Corriente admisible: 195 [A]

### Cable Subterráneo

El proyecto cuenta con dos tramos de línea subterránea. El primer tramo se encuentra ubicado en la intersección de las calles Presidente Illia y Bv. Yuquerí, precisamente en la esquina Noreste, teniendo como finalidad la conexión entre las estructuras de retención existentes en el lugar.

El segundo tramo corresponde a un cruce ferroviario y está ubicado sobre calle Paula Albarracín de Sarmiento entre calles Ing. Nogueira y De los Viñedos.

Se ha elegido el siguiente cable, el cual es utilizado por la empresa distribuidora para tales fines. Éste tiene una corriente admisible en tierra similar al del conductor aéreo elegido y su verificación se encuentra en el capítulo 9 del presente proyecto.

Características del cable:

Tipo de cable: IMSA para 33[kV] de Aluminio

Sección nominal: 70 [mm<sup>2</sup>]

Resistencia máxima en corriente alterna a 20 [°C]: 0,443  $\left[\frac{\Omega}{km}\right]$

Resistencia máxima en corriente alterna a 90 [°C]: 0,568  $\left[\frac{\Omega}{km}\right]$

Reactancia inductiva por fase a 50[Hz]: 0,196  $\left[\frac{\Omega}{km}\right]$

Corriente admisible máxima en tierra: 192 [A]

Corriente admisible máxima en aire: 278 [A]

Caída de tensión:  $0,95 \left[ \frac{V}{A \cdot km} \right]$

# Proyecto Final

## Capítulo 4 - Cálculo mecánico de Conductores



**Mariano Alonso**

Ingeniería Eléctrica

Universidad Tecnológica Nacional

Facultad Regional Concordia

## Tabla de Contenido

Cálculo mecánico de conductores.....	3
Estados atmosféricos .....	3
Características del conductor seleccionado .....	4
Tensiones admisibles.....	4
Determinación de la carga del viento sobre el conductor .....	4
Peso propio del conductor .....	4
Carga aerodinámica máxima .....	5
Carga aerodinámica media.....	6
Cargas específicas para cada estado atmosférico.....	6
Estado I .....	6
Estado II .....	6
Estado III .....	7
Estado IV.....	7
Estado V.....	7
Determinación del vano crítico .....	7
Vano crítico II-V .....	8
Vano crítico III-V .....	8
Vano crítico II-III .....	8
Estado I .....	10
Estado II .....	10
Estado III .....	10
Estado IV.....	10



Determinación de las flechas .....	11
Flecha para apoyos dispuestos al mismo nivel .....	11
Flecha para apoyos dispuestos a distintos niveles.....	11
Aplicación de los puntos anteriores a los vanos del proyecto .....	12
Especificación de los tramos .....	12



## Cálculo mecánico de conductores

En este capítulo se realizarán las verificaciones mecánicas de los conductores a utilizar según la reglamentación de la AEA 95301.

El cálculo mecánico de conductores es el primer eslabón de la parte mecánica del diseño de las líneas. La empresa distribuidora de la región utiliza conductores de 50 [mm<sup>2</sup>] de sección para las líneas de 33[kV] y 13,2[kV], por ende y por una cuestión de uniformidad de materiales es que se ha decidido colocar un conductor de aleación de Aluminio de dicha sección, con las características eléctricas y mecánicas que se detallarán en el capítulo.

Además, las demandas proyectadas con un horizonte de 15 años (analizando los valores máximos en servicio), no superan un valor de 8,6 [MW] (Ver capítulo 11, pp. 9). Siendo la potencia máxima transferible por límite térmico 9,47 [MW] (Ver capítulo 10, pp. 7), se puede concluir que los conductores elegidos responderán ante el incremento de demanda proyectado.

Para realizar este cálculo, se han tenido en cuenta los distintos escenarios en función a los estados atmosféricos.

A continuación se detallará una memoria de cálculo general y luego los valores reales intervinientes en el proyecto.

### Estados atmosféricos

Los estados atmosféricos a tener en cuenta para este proyecto se obtuvieron de los anexos que se encuentran en la norma AEA 95301 (pp. 47). Resumiendo, la zona del proyecto responde a los siguientes estados:

Estado climático	Temperatura [°C]	Velocidad del viento [m/s]
<i>EI</i> - Temperatura máxima	45	0
<i>EII</i> - Temperatura mínima	-10	0
<i>EIII</i> - Viento máximo	15	35
<i>EIV</i> - Viento medio	-5	14
<i>EV</i> - Temperatura media	16	0

Es importante tener en cuenta que para el estado *EI* se produce la mayor dilatación del conductor y por ende se tiene la mayor flecha, por esto es que el flechado y las dimensiones de las estructuras deben estimarse en función a este estado.

## Características del conductor seleccionado

A continuación se indican las características físicas del conductor a utilizar, que se necesitan para el cálculo mecánico. La sección y formación de los mismos cumple con la Norma IRAM 2212:

Material	Aleación de Aluminio
Formación	1 * 19
Sección nominal [ $mm^2$ ]	50
Sección total [ $mm^2$ ]	51,07
Diámetro exterior [ $mm$ ]	9,3
Masa [ $kg/km$ ]	140,4
Módulo de elasticidad [ $daN/mm^2$ ]	5700
Coefficiente de dilatación térmica [ $1/^\circ C$ ]	$23,0 * 10^{-6}$
Tensión de rotura [ $daN/mm^2$ ]	28,49

## Tensiones admisibles

Según se establece en la norma AEA 95301 (pp. 17) los conductores no pueden tener cargas de roturas menores a 570 [ $daN$ ].

Además la norma plantea que para el estado *EV* no debe superar el 25 [%] de la tensión de rotura y para los estados *EII*, *EIII*, *EIV* se establece que no puede superar el 70[%] de la tensión de rotura.

## Determinación de la carga del viento sobre el conductor

A continuación se desarrollan los cálculos para la obtención de las cargas mencionadas anteriormente para el conductor utilizado en el proyecto. Las ecuaciones y los coeficientes que en ella figuran se obtienen de la norma.

## Peso propio del conductor

Referencias:

$g$  es el peso específico del conductor

$\gamma$  es la masa por unidad de longitud del conductor

$S$  es la sección real del conductor

$$g = \frac{\gamma}{S} = \frac{140,4 [kg/km]}{51,07 [mm^2]} * 0,98 \left[ \frac{daN}{kg} \right]$$

$$g = 0,00269 \left[ \frac{daN}{m \text{ mm}^2} \right]$$

### Carga aerodinámica máxima

Primero se calcula la fuerza del viento sobre el conductor por unidad de longitud para el estado de máximo viento  $f_{cond III}$  mediante la siguiente ecuación:

$$f_{cond III} = \frac{Q * (Z_p * V)^2 * F_c * G_W * C_F * A * \cos^2(\psi)}{a}$$

$f_{cond III}$  es la fuerza del viento por unidad de longitud en  $[daN/m]$

$Q$  es un factor que depende de la densidad del aire

$Z_p$  es un factor de terreno, por altura y exposición

$F_c$  es un factor de carga

$V$  es la velocidad del viento para una ráfaga de 10 minutos en  $\left[ \frac{m}{s} \right]$

$G_W$  es un factor de ráfaga para conductores

$C_F$  es un coeficiente de presión dinámica o de forma

$A$  es el área proyectada en  $[m^2]$

$\psi$  es el ángulo del viento con el eje perpendicular de la línea

$a$  es la longitud del vano en  $[m]$

$$f_{cond III} = \frac{0,0613 * \left( 0,72 * 35 \left[ \frac{m}{s} \right] \right)^2 * 1 * 1 * 1 * a * 0,0093 [m] * \cos^2(0[^\circ])}{a}$$

$$f_{cond III} = 0,362 \left[ \frac{daN}{m} \right]$$

La carga aerodinámica específica es la fuerza del viento sobre el conductor por unidad de longitud, por unidad de sección:

$$g_v = \frac{f_{cond III}}{S} = \frac{0,362 \left[ \frac{daN}{m} \right]}{51,07 [mm^2]}$$

$$g_v = 0,00708 \left[ \frac{daN}{m mm^2} \right]$$

### Carga aerodinámica media

La misma se calcula con la fuerza de viento sobre el conductor dada por el viento medio, el cual se calcula es igual al 40[%] del viento máximo. Por lo tanto:

$$f_{cond IV} = \frac{Q * (Z_p * 0,4 * V)^2 * F_c * G_W * C_F * A * \cos^2(\psi)}{a}$$

$$f_{cond IV} = \frac{0,0613 * \left( 0,72 * 0,4 * 35 \frac{m}{s} \right)^2 * 1 * 1 * 1 * a * 9,3 [mm] * \cos^2(0[^\circ])}{a}$$

$$f_{cond IV} = 0,058 \left[ \frac{daN}{m} \right]$$

$$g_{v'} = \frac{f_{cond IV}}{S}$$

$$g_{v'} = 0,0011 \left[ \frac{daN}{m mm^2} \right]$$

### Cargas específicas para cada estado atmosférico

#### Estado I

$$g_I = g$$

$$g_I = 0,00269 \left[ \frac{daN}{m mm^2} \right]$$

#### Estado II

$$g_{II} = g$$

$$g_{II} = 0,00269 \left[ \frac{daN}{m mm^2} \right]$$

**Estado III**

$$g_{III} = \sqrt{g^2 + g_v^2}$$

$$g_{III} = 0,00758 \left[ \frac{daN}{m \text{ mm}^2} \right]$$

**Estado IV**

$$g_{IV} = \sqrt{g^2 + g_{v'}^2}$$

$$g_{IV} = 0,00292 \left[ \frac{daN}{m \text{ mm}^2} \right]$$

**Estado V**

$$g_V = g$$

$$g_V = 0,00269 \left[ \frac{daN}{m \text{ mm}^2} \right]$$

**Determinación del vano crítico**

Según los distintos estados atmosféricos, el conductor estará sometido a distintas tensiones mecánicas. A primera instancia es posible deducir que si el vano es muy corto será muy afectado ante la contracción del material por bajas temperaturas, no obstante si el vano es muy largo no será afectado por esto pero sí será altamente impactante la fuerza del viento. Sin embargo para estados intermedios se vuelve difícil establecer una conclusión directa es por ello que se buscará estimar el estado más crítico, o sea el que provocará las mayores tensiones y de ahí determinar las tensiones en los demás estados mediante una ecuación de cambio de estado que se detallará a continuación.

La determinación de estos estados se realiza mediante la estimación del vano crítico.

Se realizan los cálculos de los vanos críticos tomando de a dos estados, y despreciando el estado I (máxima temperatura) ya que es en el que menos tensión presenta el conductor y despreciando también el estado IV ya que no hay antecedentes locales de formación de hielo sobre conductores (Ver “Nota 3” de la normativa AEA 95301 pp. 48).

Datos del conductor:

$$\text{Tensión de rotura del conductor: } \sigma_{rot} = 28,49 \left[ \frac{daN}{mm^2} \right]$$

Tensiones admisibles para los estados II, III y IV:  $\sigma_{admII} = \sigma_{admIII} = \sigma_{admIV} = 19,94 \left[ \frac{daN}{mm^2} \right]$

Tensión admisible para el estado V:  $\sigma_{admV} = 7,12 \left[ \frac{daN}{mm^2} \right]$

Módulo de elasticidad:  $E = 5700 \left[ \frac{daN}{mm^2} \right]$

Coefficiente de dilatación térmica:  $\alpha = 23 * 10^{-6} \left[ \frac{1}{^{\circ}C} \right]$

### Vano crítico II-V

$$a_{crII-V} = \sqrt{24 * \frac{\frac{\sigma_{admV} - \sigma_{admII}}{E} + \alpha * (t_V - t_{II})}{\frac{g_V^2}{\sigma_{admV}^2} - \frac{g_{II}^2}{\sigma_{admII}^2}}}$$

$$a_{crII-V} = \mathbf{j564,08}$$

$$\frac{g_V}{\sigma_{admV}} > \frac{g_{II}}{\sigma_{admII}}$$

### Vano crítico III-V

$$a_{crIII-V} = \sqrt{24 * \frac{\frac{\sigma_{admV} - \sigma_{admIII}}{E} + \alpha * (t_V - t_{III})}{\frac{g_V^2}{\sigma_{admV}^2} - \frac{g_{III}^2}{\sigma_{admIII}^2}}}$$

$$a_{crIII-V} = \mathbf{5498,56}$$

$$\frac{g_V}{\sigma_{admV}} < \frac{g_{III}}{\sigma_{admIII}}$$

### Vano crítico II-III

$$a_{crII-III} = \sqrt{24 * \frac{\frac{\sigma_{admIII} - \sigma_{admII}}{E} + \alpha * (t_{III} - t_{II})}{\frac{g_{III}^2}{\sigma_{admIII}^2} - \frac{g_{II}^2}{\sigma_{admII}^2}}}$$

$$a_{crII-III} = \mathbf{330,54}$$

$$\frac{g_{III}}{\sigma_{admIII}} > \frac{g_{II}}{\sigma_{admII}}$$

Se supuso que la tensión máxima que puede soportar el conductor en ambos estados atmosféricos es la misma. Esto normalmente no es así. Hemos visto que en el estado de temperatura media anual el conductor debe limitarse a tensiones admisibles muy inferiores a las que corresponden a los estados de cargas "estáticas" (mínima temperatura, máximo viento). Así, pues, la situación más común es tener que analizar cuál es la situación más desfavorable entre dos estados que admiten tensiones límites distintas. La tabla siguiente es un resumen de todos los casos posibles al analizar los vanos críticos calculados:

Vano crítico	Vano considerado	Condición para ser estado básico
Número real	$a < a_{cr}$	El estado de menor $g/\sigma$
	$a > a_{cr}$	El estado de mayor $g/\sigma$
Número imaginario	Cualquier valor de vano	El estado de mayor $g/\sigma$
Infinito, condición:  $\frac{g_1}{\sigma_1} = \frac{g_2}{\sigma_2}$	Cualquier valor de vano	El estado básico es el de menor temperatura si: $\frac{g_1}{\sigma_1} = \frac{g_2}{\sigma_2}$
		El estado básico es el 1 si: $E * \alpha * (t_1 - t_2) + (\sigma_1 - \sigma_2) < 0$
		El estado básico es el 2 si: $E * \alpha * (t_1 - t_2) + (\sigma_1 - \sigma_2) > 0$
		Ambos estados pueden ser tomados como básicos si: $E * \alpha * (t_1 - t_2) + (\sigma_1 - \sigma_2) = 0$

Realizando el análisis dispuesto en la tabla y considerando que el vano de diseño seleccionado para el proyecto es de 90 [m], es que se concluye que el estado básico es el EV.

Nota: Se ha optado por este vano de diseño ya que el proyecto trata de una región urbana, colocando vanos de aproximadamente 90 [m] se evitan los inconvenientes de que un poste quede en un cruce de calles, así como también que no moleste a los habitantes de la zona (colocando un poste por cuadra en cada esquina se evitan los garaje, ventanas, ingresos a viviendas, etc.)

Determinación de las tensiones en los distintos estados a partir del estado básico, esto se realiza mediante las ecuaciones de cambio de estado:



## Estado I

La tensión admisible del estado base es:

$$\sigma_V = 0,25 * \sigma_{rotc}$$

$$\sigma_V = 7,12 \left[ \frac{daN}{mm^2} \right]$$

Aplicando la ecuación de cambio de estado se obtiene:

$$\sigma_I - \frac{a^2 * E * g_I^2}{24 * \sigma_I^2} = \sigma_V - \frac{a^2 * E * g_V^2}{24 * \sigma_V^2} + \alpha * E * (t_V - t_I)$$

Resolviendo para  $\sigma_I$ :

$$\sigma_I = 3,94 \left[ \frac{daN}{mm^2} \right]$$

Análogamente para los otros estados:

## Estado II

$$\sigma_{II} - \frac{a^2 * E * g_{II}^2}{24 * \sigma_{II}^2} = \sigma_V - \frac{a^2 * E * g_V^2}{24 * \sigma_V^2} + \alpha * E * (t_V - t_{II})$$

$$\sigma_{II} = 10,38 \left[ \frac{daN}{mm^2} \right]$$

## Estado III

$$\sigma_{III} - \frac{a^2 * E * g_{III}^2}{24 * \sigma_{III}^2} = \sigma_V - \frac{a^2 * E * g_V^2}{24 * \sigma_V^2} + \alpha * E * (t_V - t_{III})$$

$$\sigma_{III} = 8,51 \left[ \frac{daN}{mm^2} \right]$$

## Estado IV

$$\sigma_{IV} - \frac{a^2 * E * g_{IV}^2}{24 * \sigma_{IV}^2} = \sigma_V - \frac{a^2 * E * g_V^2}{24 * \sigma_V^2} + \alpha * E * (t_V - t_{IV})$$

$$\sigma_{IV} = 9,77 \left[ \frac{daN}{mm^2} \right]$$

## Determinación de las flechas

### Flecha para apoyos dispuestos al mismo nivel

Es de interés conocer la máxima flecha que se tendrá, como se aclaró anteriormente esta se da para el estado de máxima temperatura:

$$f_I = \frac{a^2 * g_I}{8 * \sigma_I}$$

Dónde:

$g_I$  es la carga específica del conductor

$a$  es la longitud del vano

$\sigma_I$  es la tensión del estado I (máxima temperatura)

### Flecha para apoyos dispuestos a distintos niveles

Aclaración: la flecha (al centro del vano) se sigue determinando de la misma manera que el inciso anterior, pero lo que es importante plantear en este caso es que el punto más bajo de la catenaria no se encuentra en el centro del vano sino que se encuentra más próximo al apoyo con nivel menor. Para determinar la localización de dicho punto y la flecha correspondiente se procede de la siguiente manera:

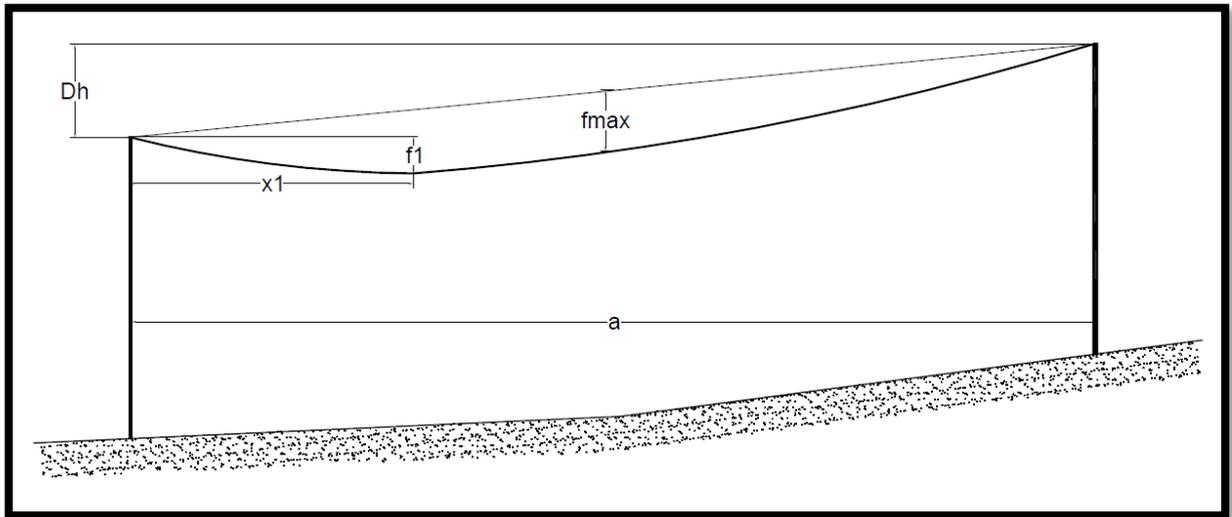
$$x_1 = \frac{a}{2} * \left( 1 - \frac{\Delta h}{4 * f_1} \right) \qquad f_1 = \frac{x_1^2 * g_I}{2 * \sigma_I}$$

Dónde:

$x_1$  y  $f_1$  son las coordenadas horizontal y vertical del punto más bajo, respectivamente. Las coordenadas del punto más bajo se miden respecto al punto de sujeción correspondiente a la estructura más baja.

$\Delta h$  ( $Dh$  en el gráfico) es la diferencia de altura entre los puntos de sujeción del conductor

$f_1$  es la flecha máxima ( $f_{max}$  en el gráfico)



### Aplicación de los puntos anteriores a los vanos del proyecto

Mediante una planilla de Excel se efectuaron los cálculos que se han escrito genéricamente en este capítulo, por una cuestión de prolijidad sólo se han dispuestos en tablas los resultados correspondientes a cada vano con su respectiva referencia.

Las medidas calculadas se trasladarán a las planialtimetrías que se pueden apreciar en el capítulo 13, con el fin de corroborar que se respetan las alturas mínimas con respecto al nivel del suelo.

### Especificación de los tramos

**Tramo 1:** Es el ingreso a Colonia Roca, queda determinado entre las subestaciones existentes y que se mantendrán fijas 189 y 289.

**Tramo 2:** La línea se ubica por Presidente Illia sobre la vereda Sur, entre la subestación 289 y la retención angular anterior a la subestación 288. Este tramo mantendrá existentes las retenciones en postes de  $H^0A^0$

**Tramo 3:** Corresponde al tramo de línea a ubicarse en Boulevard Yuquerí entre Italia y Nogueira.

**Tramo 4:** Corresponde al tramo de calle Virgen de Fátima entre J.J. Valle y Nogueira

**Tramo 5:** Corresponde al tramo de Nogueira entre Virgen de Fátima y P.A. de Sarmiento

**Tramo 6:** Tramo correspondiente a Presidente Illia entre J.J. Valle y Boulevard Yuquerí

**Tramo 7:** Corresponde al tramo de Odiard entre Italia y Nogueira

**Tramo 8:** Corresponde a la línea que alimenta al campo del Abasto, está dispuesta sobre la vereda Este que comunica Presidente Illia con el campo en cuestión.

TRAMO 1 - COLONIA ROCA									
Vano	Longitud [m]	Progresivas		Piquetes		Dh [m]	Punto mas bajo		Flecha [m]
		pi [m]	pf [m]	pi [m]	pf [m]		x1 [m]	f1 [m]	
1	90	0	90	36,0	34,0	2,0	12,39	0,05	0,69
2	90	90	180	34,0	33,5	0,5	36,85	0,46	0,69
3	90	180	270	33,5	33,0	0,5	36,85	0,46	0,69

TRAMO 2 - PRESIDENTE ILLIA OESTE									
Vano	Longitud [m]	Progresivas		Piquetes		Dh [m]	Punto mas bajo		Flecha [m]
		pi [m]	pf [m]	pi [m]	pf [m]		x1 [m]	f1 [m]	
1	90	0	90	33,5	35,5	2,0	12,39	0,05	0,69
2	90	90	180	35,5	33,5	2,0	12,39	0,05	0,69
3	90	180	270	33,5	34,0	0,5	36,85	0,46	0,69
4	90	270	360	34,0	34,5	0,5	36,85	0,46	0,69
5	90	360	450	34,5	35,0	0,5	36,85	0,46	0,69
6	90	450	540	35,0	32,0	3,0	0,00	0,00	0,69
7	90	540	630	32,0	31,0	1,0	28,70	0,28	0,69
8	90	630	720	31,0	31,0	0,0	45,00	0,69	0,69
9	90	720	810	31,0	32,0	1,0	28,70	0,28	0,69
10	90	810	900	32,0	31,0	1,0	28,70	0,28	0,69
11	90	900	990	31,0	30,0	1,0	28,70	0,28	0,69
12	90	990	1080	30,0	31,0	1,0	28,70	0,28	0,69
13	90	1080	1170	31,0	32,5	1,5	20,54	0,14	0,69
14	90	1170	1260	32,5	32,5	0,0	45,00	0,69	0,69
15	90	1260	1350	32,5	32,0	0,5	36,85	0,46	0,69
16	90	1350	1440	32,0	32,0	0,0	45,00	0,69	0,69
17	90	1440	1530	32,0	32,5	0,5	36,85	0,46	0,69
18	90	1530	1620	32,5	34,0	1,5	20,54	0,14	0,69
19	90	1620	1710	34,0	33,5	0,5	36,85	0,46	0,69
20	90	1710	1800	33,5	32,5	1,0	28,70	0,28	0,69

TRAMO 3 - BOULEVARD YUQUERÍ									
Vano	Longitud [m]	Progresivas		Piquetes		Dh [m]	Punto mas bajo		Flecha [m]
		pi [m]	pf [m]	pi [m]	pf [m]		x1 [m]	f1 [m]	
1	86	0	86	47,5	48,5	1,0	25,94	0,23	0,63
2	96	86	182	48,5	50,5	2,0	17,62	0,11	0,79

TRAMO 4 - VIRGEN DE FÁTIMA ENTRE J.J. VALLE E ING. NOGUEIRA									
Vano	Longitud [m]	Progresivas		Piquetes		Dh [m]	Punto mas bajo		Flecha [m]
		pi [m]	pf [m]	pi [m]	pf [m]		x1 [m]	f1 [m]	
1	90	0	90	42,0	43,4	1,4	22,17	0,17	0,69
2	90	90	180	43,4	44,5	1,1	27,07	0,25	0,69
3	90	180	270	44,5	46,6	2,1	10,76	0,04	0,69
4	90	270	360	46,6	53,4	6,8	0,00	0,00	0,69
5	90	360	450	53,4	51,2	2,2	9,13	0,03	0,69
6	90	450	540	51,2	44,9	6,3	0,00	0,00	0,69
7	90	540	630	44,9	42,3	2,6	2,61	0,00	0,69
8	90	630	720	42,3	42,3	0,0	45,00	0,69	0,69
9	90	720	810	42,3	42,7	0,4	38,48	0,51	0,69
10	90	810	900	42,7	41,2	1,5	20,54	0,14	0,69
11	90	900	990	41,2	38,0	3,2	0,00	0,00	0,69

TRAMO 5 - ING. NOGUEIRA ENTRE VIRGEN DE FÁTIMA Y P.A. DE SARMIENTO									
Vano	Longitud [m]	Progresivas		Piquetes		Dh [m]	Punto mas bajo		Flecha [m]
		pi [m]	pf [m]	pi [m]	pf [m]		x1 [m]	f1 [m]	
1	93	0	93	38,0	38,9	0,9	32,36	0,36	0,74
2	93	93	186	38,9	40,2	1,3	26,08	0,23	0,74
3	93	186	279	40,2	40,7	0,5	38,65	0,51	0,74
4	93	279	372	40,7	40,6	0,1	44,93	0,69	0,74
5	93	372	465	40,6	39,2	1,4	24,51	0,21	0,74
6	93	465	558	39,2	39,9	0,7	35,50	0,43	0,74
7	93	558	651	39,9	39,7	0,2	43,36	0,64	0,74
8	93	651	744	39,7	39,9	0,2	43,36	0,64	0,74
9	93	744	837	39,9	41,0	1,1	29,22	0,29	0,74
10	93	837	930	41,0	44,2	3,2	0,00	0,00	0,74
11	93	930	1023	44,2	48,7	4,5	0,00	0,00	0,74
12	93	1023	1116	48,7	52,4	3,7	0,00	0,00	0,74
13	83	1116	1199	52,4	55,0	2,6	0,00	0,00	0,59
14	95	1199	1294	55,0	54,2	0,8	35,16	0,42	0,77
15	95	1294	1389	54,2	55,0	0,8	35,16	0,42	0,77
16	95	1389	1484	55,0	54,7	0,3	42,87	0,63	0,77
17	95	1484	1579	54,7	56,0	1,3	27,45	0,26	0,77

TRAMO 6 - PRESIDENTE ILLIA ENTRE YUQUERÍ Y FÁTIMA									
Vano	Longitud [m]	Progresivas		Piquetes		Dh [m]	Punto mas bajo		Flecha [m]
		pi [m]	pf [m]	pi [m]	pf [m]		x1 [m]	f1 [m]	
1	90	0	90	43,0	39,7	3,3	0,00	0,00	0,69
2	90	90	180	39,7	38,6	1,1	27,07	0,25	0,69
3	90	180	270	38,6	39,6	1,0	28,70	0,28	0,69
4	90	270	360	39,6	40,0	0,4	38,48	0,51	0,69
5	90	360	450	40,0	39,8	0,2	41,74	0,59	0,69
6	90	450	540	39,8	38,0	1,8	15,65	0,08	0,69
7	90	540	630	38,0	39,9	1,9	14,02	0,07	0,69
8	90	630	720	39,9	39,5	0,4	38,48	0,51	0,69
9	90	720	810	39,5	39,0	0,5	36,85	0,46	0,69
10	90	810	900	39,0	38,6	0,4	38,48	0,51	0,69
11	90	900	990	38,6	38,1	0,5	36,85	0,46	0,69
12	90	990	1080	38,1	37,6	0,5	36,85	0,46	0,69
13	90	1080	1170	37,6	36,7	0,9	30,33	0,31	0,69
14	90	1170	1260	36,7	35,8	0,9	30,33	0,31	0,69
15	90	1260	1350	35,8	35,0	0,8	31,96	0,35	0,69
16	90	1350	1440	35,0	34,4	0,6	35,22	0,42	0,69
17	90	1440	1530	34,4	33,8	0,6	35,22	0,42	0,69
18	100	1530	1630	33,8	33,2	0,6	41,18	0,58	0,85
19	100	1630	1730	33,2	31,3	1,9	22,06	0,17	0,85
20	100	1730	1830	31,3	29,0	2,3	16,18	0,09	0,85
21	100	1830	1930	29,0	27,0	2,0	20,59	0,14	0,85

TRAMO 7 - ODIARD ENTRE ITALIA Y NOGUEIRA									
Vano	Longitud [m]	Progresivas		Piquetes		Dh [m]	Punto mas bajo		Flecha [m]
		pi [m]	pf [m]	pi [m]	pf [m]		x1 [m]	f1 [m]	
1	80	0	80	55,0	55,0	0,0	40,00	0,55	0,55
2	80	80	160	55,0	52,6	2,4	0,00	0,00	0,55
3	80	160	240	52,6	52,4	0,2	36,36	0,45	0,55
4	80	240	320	52,4	53,6	1,2	18,18	0,11	0,55
5	80	320	400	53,6	55,0	1,4	14,55	0,07	0,55

TRAMO 8 - HACIA CAMPO "EL ABASTO"									
Vano	Longitud [m]	Progresivas		Piquetes		Dh [m]	Punto mas bajo		Flecha [m]
		pi [m]	pf [m]	pi [m]	pf [m]		x1 [m]	f1 [m]	
1	90	0	90	35,0	38,0	3,0	0,00	0,00	0,69
2	90	90	180	38,0	38,3	0,3	40,11	0,55	0,69
3	90	180	270	38,3	41,2	2,9	0,00	0,00	0,69
4	90	270	360	41,2	44,0	2,8	0,00	0,00	0,69
5	90	360	450	44,0	48,0	4,0	0,00	0,00	0,69
6	90	450	540	48,0	46,7	1,3	23,80	0,19	0,69
7	90	540	630	46,7	46,3	0,4	38,48	0,51	0,69
8	90	630	720	46,3	45,8	0,5	36,85	0,46	0,69
9	90	720	810	45,8	43,0	2,8	0,00	0,00	0,69
10	90	810	900	43,0	42,1	0,9	30,33	0,31	0,69
11	90	900	990	42,1	41,3	0,8	31,96	0,35	0,69
12	90	990	1080	41,3	40,8	0,5	36,85	0,46	0,69
13	90	1080	1170	40,8	37,8	3,0	0,00	0,00	0,69

Referencias:

Longitud: Longitud del vano en cuestión

Progresivas: Corresponde a las estructuras del tramo, siendo pi la progresiva inicial y pf la progresiva final de cada vano. La distancia se mide considerando como cero a la primera estructura

Piquetes: Corresponde a las alturas de sujeción del conductor en cada estructura del vano, siendo pi la altura del piquete inicial y pf la altura del piquete final

# Proyecto Final

## Capítulo 5 - Dimensionamiento de Estructuras



**Mariano Alonso**

Ingeniería Eléctrica

Universidad Tecnológica Nacional

Facultad Regional Concordia

## Tabla de Contenido

Memoria descriptiva .....	4
Factor de carga .....	4
Resistencia característica nominal .....	5
Factor global de resistencia .....	5
Cálculo del tiro en la cima de postes simples .....	5
Efectos del momento torsor en la carga reducida a la cima .....	6
Hipótesis de carga .....	6
Cargas según su origen .....	6
Cargas según condiciones de funcionamiento .....	7
Acciones a considerar .....	7
Cálculos previos .....	7
Fuerza del viento .....	7
Referencias al lector .....	9
Cálculo de los postes de suspensión simples “S” 13 [m] .....	11
Cargas de servicio .....	11
Cargas de construcción y mantenimiento .....	13
Cargas de contención de Fallas .....	14
Verificación de la estructura .....	15
Cálculo de los postes de suspensión simples “S+1” 14 [m] .....	15
Cargas de servicio .....	15
Cargas de construcción y mantenimiento .....	18

Cargas de contención de fallas .....	18
Verificación de la estructura.....	19
Cálculo de los postes de suspensión simple “S+2” 15 [m] .....	20
Cargas de servicio .....	20
Cargas de construcción y mantenimiento.....	22
Cargas de contención de fallas .....	22
Verificación de la estructura.....	23
Cálculo de los postes de suspensión angular “S” 13 [m].....	24
Cargas de servicio .....	24
Cargas de construcción y mantenimiento.....	27
Cargas de contención de fallas .....	27
Verificación de la estructura.....	29
Cálculo de los postes de retención angular a 90° “RA” 13[m] .....	29
Cargas de servicio .....	29
Cargas de construcción y mantenimiento.....	32
Cargas de contención de fallas .....	33
Verificación de la estructura.....	33
Cálculo de los postes de retención angular a 15° “RA” 13[m] .....	34
Cargas de servicio .....	34
Cargas de construcción y mantenimiento.....	37
Cargas de contención de fallas .....	37
Verificación de la estructura.....	38



Cálculo de los postes terminales "T" 13[m] .....	38
Cargas de servicio .....	38
Cargas de construcción y mantenimiento .....	39
Cargas de contención de falla.....	39
Verificación de la estructura.....	40

## Memoria descriptiva

Los cálculos se han realizado siguiendo la reglamentación vigente AEA 95301, de esta forma se establece que las estructuras resistirán los esfuerzos en su conjunto o en sus partes componentes según los diferentes tipos de solicitaciones.

El proyecto se basa en la aplicación del “Método de factorización de cargas y de resistencias” (LRFD), en la cual se debe cumplir la siguiente condición:

$$K_E * K_C * S_u \leq \phi * R_C \quad \text{AEA 95301 (pp. 55)}$$

Dónde:

$K_E$  es un factor de carga estructural que tiene en cuenta el apartamiento de la estructura real, respecto al modelo ideal de cálculo y los recaudos constructivos (excentricidades no previstas en nudos y empalmes, falta de alineación de los elementos componentes, excentricidades en la aplicación de cargas, etc.)

$K_C$  es un factor de carga por colapso que tiene en cuenta el tipo de estructura y el daño que produciría el fallo de dicha estructura

$S$  es una solicitación última, que resulta ser la solicitación máxima actuante (correspondiente a cargas aleatorias con un período de recurrencia  $T$ , a cargas de montaje, o a cargas especiales) calculada según se detalla en este capítulo.

$\phi$  es un factor global de resistencia estructural, que depende del tipo de solicitación a que está sometido el elemento estructural y del material con el que está construido el mismo. Este coeficiente siempre menor que la unidad, tiene en cuenta la dispersión de la resistencia debido a la calidad de fabricación y montaje de la estructura.

$R_C$  es la resistencia característica o nominal de los elementos componente y el de sus uniones.

## Factor de carga

Para postes de hormigón, se toma  $K_E = 1$  (La resistencia nominal se comprueba mediante ensayos). Los valores de  $K_C$  se adoptan según la función de la estructura (suspensión, retención u otra), ver AEA95301 (pp. 55).

## Resistencia característica nominal

De acuerdo al “Método de factorización de cargas y resistencias” de la Reglamentación de la AEA, la “resistencia característica nominal” de la estructura es en este caso, la carga de rotura del poste.

## Factor global de resistencia

La resistencia característica nominal ( $R_C$ ) de la estructura se debe aminorar multiplicándola por el factor global de resistencia ( $\varphi$ ) que tiene los siguientes valores:

Elemento	Solicitación	$\varphi$	Observaciones
Postes	Flexión Flexo-Tracción	0,70 a 0,90	Postes simples – Patas traccionadas de pórticos (Notas 1, 2 y 3)
	Flexocompresión Compresión	0,70 a 0,75	Postes múltiples – Patas comprimidas de pórticos (Nota 2)
	Corte. Torsión Corte + Torsión	0,85	En general
Ménsulas Crucetas	Flexión	0,90	(Nota 1)
	Corte Torsión	0,85	
	Tensión + Corte		
Riendas y herrajes	Tracción Corte	0,50	Tiene la finalidad de limitar la flexibilidad del conjunto de sujeción.

Tabla extraída de AEA 95301 (pp. 69).

Nota 1: Las secciones de hormigón armado y parcialmente pretensado se consideran “subarmadas”, cuando al llegar a un estado límite, la deformación unitaria neta a tracción de la armadura más extrema (sin contar con la deformación unitaria efectiva del pretensado) es igual o mayor a 0,005. Para esta situación  $\varphi$  es igual a 0,90. (AEA 95301, pp. 69)

Nota 2: Las secciones de hormigón armado y parcialmente pretensado se consideran “subarmadas”, cuando al llegar a un estado límite, la deformación unitaria neta a tracción de la armadura más extrema (sin contar con la deformación unitaria efectiva del pretensado) es igual o mayor a 0,002. Para esta situación  $\varphi$  es igual a 0,70 (estructura transversal con estribos) o 0,75 (armadura transversal con espirales continuos). (AEA 95301, pp. 69)

Nota 3: Para la zona de transición, comprendida entre las deformaciones netas de tracción ( $\varepsilon_L$ ) del acero 0,002 y 0,005, el coeficiente  $\varphi$  de reducción de resistencia a flexión se calcula de acuerdo a las expresiones:  $\varphi = 0,56 + 68 * \varepsilon_L$  (estribos) y  $\varphi = 0,65 + 50 * \varepsilon_L$  (espirales continuos). (AEA 95301, pp. 69)

## Cálculo del tiro en la cima de postes simples

Se realiza la adición de la totalidad de las cargas calculadas según la hipótesis de carga considerada, reducida a la cima, adoptándose el tiro normalizado más próximo por exceso.

## Efectos del momento torsor en la carga reducida a la cima

Al realizar el cálculo del tiro del poste teniendo en cuenta las hipótesis de cálculo para cargas normales, se consideran las cargas actuantes como si estuviesen centradas respecto al eje de la estructura. Producen, por lo tanto, en general momentos flectores que se traducen en un tiro equivalente a la cima.

En las hipótesis de cálculo de cargas de construcción y mantenimiento, o de cargas de contención de fallas, se toman las cargas en su exacta ubicación, por lo que producen en general momentos flector y torsor simultáneos.

Supongamos, por ejemplo, que un conductor ejerce una fuerza  $F$  horizontal y perpendicular a una ménsula de longitud  $L_m$  y además se encuentra a una altura  $h_c$ . Entonces aparecerán sobre el poste dos momentos simultáneos, uno flector y otro torsor. El momento flector producido queda determinado por:

$$M_f = F * h_c$$

y el momento torsor:

$$M_t = F * L_m$$

El efecto combinado de ambos momentos puede evaluarse como un momento flector, que se llamará momento combinado:

$$M_C = 0,5 * \left[ M_f + \sqrt{M_f^2 + M_t^2} \right]$$

Luego, el tiro equivalente se obtiene dividiendo el momento combinado por la altura libre del poste:

$$F_{eq} = \frac{M_C}{h}$$

El momento torsor incrementa en un porcentaje bajo el esfuerzo equivalente sobre el poste, en algunos casos puede despreciarse.

## Hipótesis de carga

### Cargas según su origen

- ✓ Aleatorias
- ✓ Permanentes

- ✓ Especiales

### Cargas según condiciones de funcionamiento

- ✓ De servicio
- ✓ De construcción y mantenimiento
- ✓ De contención de fallas

### Acciones a considerar

- ✓ Presión del viento sobre los conductores o carga adicional
- ✓ Presión del viento sobre aisladores y accesorios
- ✓ Presión del viento sobre la estructura
- ✓ Acciones horizontales del tiro de los conductores por el ángulo de la línea, desequilibrio de los tiros, rotura de conductores, etc.
- ✓ Acción vertical del tiro de los conductores
- ✓ Peso de los aisladores y accesorios
- ✓ Peso de la estructura
- ✓ Peso de hielo sobre la estructura (No se considera en esta zona)
- ✓ Sobrecarga adicional de montaje en los puntos de fijación de las cadenas de aisladores o tensores portantes
- ✓ Sismo en las condiciones que establece el reglamento INPRES-CIRSOC 103.
- ✓ Nota: En líneas compactas de MT clase B el valor adicional de la carga de montaje será de 100 [daN].

### Cálculos previos

#### Fuerza del viento

Respondiendo a la ecuación dada por la AEA 95301 (pp. 48)

$$F_v = Q * (Z_p * V)^2 * F_c * G * C_F * A$$

$F_v$  es la fuerza del viento sobre el elemento que en cada caso se estudie

A es el área de exposición al viento de cada elemento en estudio, en [m<sup>2</sup>]

G es un factor de ráfaga

(Ver referencias cap. 4, pp. 5)

Fuerza del viento sobre el conductor, en el estado de máximo viento y con un vano de 90 [m]:

$$F_{vc III} = Q * (Z_P * V)^2 * F_C * G_W * C_F * A * \cos^2(\psi)$$

(Ver referencias cap. 4, pp. 5)

Con  $\psi = 0^\circ$

$$F_{vc III} = 32,58 \text{ [daN]}$$

Fuerza del viento sobre un poste de 13 [m] (11,7 [m] libre) y en el estado de máximo viento:

$$A_p = \frac{\phi_m + \phi_M}{2} * h_{libre}$$

$$A_p = 2,66 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$F_{vp III} = 103,73 \text{ [daN]}$$

Fuerza del viento sobre un poste de 14 [m] (12,60 [m] libre) y en el estado de máximo viento:

$$A_p = \frac{\phi_m + \phi_M}{2} * h_{libre}$$

$$A_p = 2,95 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$F_{vp III} = 115,02 \text{ [daN]}$$

Fuerza del viento sobre un poste de 15 [m] (13,50 [m] libre) y en el estado de máximo viento:

$$A_p = \frac{\phi_m + \phi_M}{2} * h_{libre}$$

$$A_p = 3,26 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$F_{vp III} = 126,78 \text{ [daN]}$$

Dónde:

$A_p$  es el área proyectada del poste

$\phi_m$  es el diámetro del poste en la cima

$\phi_m = 0,14 \text{ [m]}$  aproximadamente

$\phi_M$  es el diámetro del poste al ras del suelo

$\phi_M = \phi_m + 0,015 * h_{libre}$

$h_{libre}$  es la altura libre del poste

$F_{vp III}$  es la fuerza del viento en el estado de máximo viento, ejercida sobre el poste

Fuerza de viento sobre el aislador

Considerando el área expuesta al viento en el aislador Line-post como:

$$A_{as} = \frac{2}{3} * L * D_{aletas} = \frac{2}{3} * 0,32[m] * 0,1[m]$$

$$F_{va III} = 0,85 [daN]$$

Considerando el área expuesta al viento en el aislador de retención como:

$$A_{ar} = \frac{2}{3} * L * D_{aletas} = \frac{2}{3} * 0,57[m] * 0,1 [m]$$

$$F_{var III} = 1,48 [daN]$$

Dónde:

$A_{as}$  es el área expuesta del aislador Line-post

$A_{ar}$  es el área expuesta del aislador de retención

$L$  es el largo total del aislador

$D_{aletas}$  es el diámetro de las aletas

## Referencias al lector

$F_{vc III} = 32,58 [daN]$  es la fuerza del viento sobre el conductor para el estado de viento máximo

$F_{va III}$  es la fuerza del viento sobre un aislador para el estado de viento máximo

$F_{vas III} = 0,85 [daN]$  para aisladores Line-post

$F_{var III} = 1,48 [daN]$  para aisladores de retención

$F_{vp III}$  es la fuerza del viento sobre el poste para el estado de viento máximo

$F_{vp III} = 117,39 [daN]$  para postes de 13 [m]totales con rotura 600 o 750 [daN] o en la cima

$F_{vp III} = 129,74 [daN]$  para postes de 14 [m]totales con rotura 600 [daN] en la cima

$F_{vp III} = 142,55 [daN]$  para postes de 15 [m] totales con rotura 600 [daN] en la cima

$F_{vp III} = 158,38 [daN]$  para postes de 13 [m] totales con rotura 2400 [daN] en la cima

$G_{as} = 3,6 [daN]$  es el peso de un aislador Line-post

$G_h = 5$  [daN] es el peso del herraje del aislador Line-post

$G_{ar} = 3,3$  [daN] es el peso de un aislador de retención

$h_1$  es la altura que está sujeto el conductor inferior

$h_1 = 9,7$  [m] en postes de 13 [m] totales

$h_1 = 10,6$  [m] en postes de 14 [m] totales

$h_1 = 11,5$  [m] en postes de 15 [m] totales

$h_2$  es la altura que está sujeto el conductor central

$h_2 = 10,55$  [m] en postes de 13 [m] totales

$h_2 = 11,45$  [m] en postes de 14 [m] totales

$h_2 = 12,35$  [m] en postes de 15 [m] totales

$h_3$  es la altura que está sujeto el conductor superior

$h_3 = 11,4$  [m] en postes de 13 [m] totales

$h_3 = 12,30$  [m] en postes de 14 [m] totales

$h_3 = 13,20$  [m] en postes de 15 [m] totales

$h_{libre}$  es la altura libre del poste

$h_{libre} = 11,7$  [m] en postes de 13 [m] totales

$h_{libre} = 12,60$  [m] en postes de 14 [m] totales

$h_{libre} = 13,50$  [m] en postes de 15 [m] totales

$d_{asp}$  es la distancia entre el centro del aislador en la estructura de suspensión al centro del poste

$d_{asp} = 0,3$  [m]

$d_{csp}$  es la distancia del conductor al centro del poste en las estructuras de suspensión

$d_{csp} = 0,5$  [m]

$\psi$  es el ángulo del viento con respecto a la bisectriz de la línea

$T_{xx-ii}$  es la carga proyectada sobre un eje  $x - x$  en la cima del poste

$T_{yy-ii}$  es la carga proyectada sobre un eje  $y - y$  en la cima del poste

$T_{ii}$  es la carga resultante en la cima

$T_{cII}$  es el tiro de un conductor para el estado de mínima temperatura y un vano de 90 [m]

$T_{cIII}$  es el tiro de un conductor para el estado de viento máximo y un vano de 90 [m]

$T_{cV}$  es el tiro de un conductor para el estado de temperatura media anual y un vano de 90 [m]

$\alpha$  es la mitad del ángulo de quiebre que posee la línea

$d_{crp}$  es la distancia entre el conductor en la estructura de retención al centro del poste

$$d_{crp} = 0,649 \text{ [m]}$$

$d_{arp}$  es la distancia entre el medio del aislador en la estructura de retención al centro del poste

$$d_{arp} = 0,365 \text{ [m]}$$

$M_f$  es el momento flector ejercido sobre el poste visto desde su base

$M_t$  es el momento torsor ejercido por cargas fuera del eje del poste

$M_c$  es la combinación de los momentos flector y torsor

Nota 1: todas las estructuras poseen una disposición coplanar vertical (en bandera)

Nota 2: todas las combinaciones de cargas que se analizarán a continuación responden a procedimientos detallados en la norma AEA 95301 (pp. 59-62).

## Cálculo de los postes de suspensión simples "S" 13 [m]

### Cargas de servicio

a.

$$T_{xx-1a} = 0 \text{ [daN]}$$

$$T_{yy-1a} = \frac{(F_{vc III} + F_{va III}) * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} + F_{vp III} + 3 * \frac{(G_{as} + G_n)}{h_{libre}} * d_{asp} + 3 * \frac{G_c * d_{csp}}{h_{libre}}$$

$$T_{yy-1a} = 210,12 \text{ [daN]}$$

$$T_{1a} = \sqrt{T_{xx-1a}^2 + T_{yy-1a}^2}$$

$$\mathbf{T_{1a} = 210,12 \text{ [daN]}}$$

b.

Con  $\psi = 90^\circ$

$$T_{xx-1b} = \frac{F_{va III} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} + F_{vp III} = 119,69 \text{ [daN]}$$

$$T_{yy-1b} = 3 * \frac{(G_{as} + G_h)}{h_{libre}} * d_{asp} + 3 * \frac{G_c * d_{csp}}{h_{libre}}$$

$$T_{yy-1b} = 2,28 [daN]$$

$$T_{1b} = \sqrt{T_{xx-1b}^2 + T_{yy-1b}^2}$$

$$T_{1b} = 119,72 [daN]$$

c.

Con  $\psi = 30[^\circ]$

$$T_{xx-1c} = \frac{(F_{vc III} + F_{va III}) * \cos(\psi) * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} + F_{vp III} * \cos(\psi)$$

$$T_{xx-1c} = 169,80 [daN]$$

$$T_{yy-1c} = \frac{(F_{vc III} + F_{va III}) * \sin(\psi) * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} + F_{p III} * \sin(\psi) + 3 * \frac{(G_{as} + G_h)}{h_{libre}} * d_{asp} + 3 * \frac{G_c * d_{csp}}{h_{libre}}$$

$$T_{yy-1c} = 100,25 [daN]$$

$$T_{1c30} = \sqrt{T_{xx-1c}^2 + T_{yy-1c}^2}$$

$$T_{1c30} = 197,19 [daN]$$

Con  $\psi = 45[^\circ]$

$$T_{xx-1c} = \frac{(F_{vc III} + F_{as III}) * \cos(\psi) * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} + F_{vp III} * \cos(\psi)$$

$$T_{xx-1c} = 138,67 [daN]$$

$$T_{yy-1c} = \frac{(F_{vp III} + F_{as III}) * \sin(\psi) * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} + F_{vp III} * \sin(\psi) + 3 * \frac{(G_{as} + G_h)}{h_{libre}} * d_{asp} + 3 * \frac{G_c * d_{csp}}{h_{libre}}$$

$$T_{yy-1c} = 140,85 [daN]$$

$$T_{1c45} = \sqrt{T_{xx-1c}^2 + T_{yy-1c}^2}$$

$$T_{1c45} = 197,66 [daN]$$

Con  $\psi = 60[^\circ]$

$$T_{xx-1c} = \frac{(F_{vc III} + F_{as III}) * \cos(\psi) * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} + F_{vp III} * \cos(\psi)$$

$$T_{xx-1c} = 98,11 [daN]$$

$$T_{yy-1c} = \frac{(F_{vp III} + F_{as III}) * \sin(\psi) * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} + F_{vp III} * \sin(\psi) + 3 * \frac{(G_{as} + G_h)}{h_{libre}} * d_{asp} + 3 * \frac{G_c * d_{csp}}{h_{libre}}$$

$$T_{yy-1c} = 172,00 [daN]$$

$$T_{1c60} = \sqrt{T_{xx-1c}^2 + T_{yy-1c}^2}$$

$$\mathbf{T_{1c60} = 198,02 [daN]}$$

d. No se considera hielo

e.

$$T_{xx-1e} = \frac{0,2 * T_{cII} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}}$$

$$T_{xx-1e} = 286,80 [daN]$$

$$T_{yy-1e} = 3 * \frac{(G_{as} + G_h)}{h_{libre}} * d_{asp} + 3 * \frac{G_c * d_{csp}}{h_{libre}}$$

$$T_{yy-1e} = 2,28 [daN]$$

$$\mathbf{T_{1e} = 286,81 [daN]}$$

### Cargas de construcción y mantenimiento

a.

$$T_{xx-2a} = 0 [daN]$$

$$T_{yy-2a} = 3 * \frac{(G_{as} + G_h)}{h_{libre}} * d_{asp} + 3 * 2,5 * \frac{G_c * d_{csp}}{h_{libre}}$$

$$T_{yy-2a} = 4,71 [daN]$$

$$T_{2a} = \sqrt{T_{xx-2a}^2 + T_{yy-2a}^2}$$

$$\mathbf{T_{2a} = 4,71 [daN]}$$

## Cargas de contención de fallas

a.

*Se analiza el caso de la reducción al 50[%] del tiro del conductor superior en el estado de mínima temperatura.*

Cálculo del momento torsor:

$$M_t = 0,5 * T_{cII} * d_{csp}$$

$$M_t = 132,53 \text{ [daNm]}$$

Cálculo del momento flector:

$$M_f = 0,5 * T_{cII} * h_3$$

$$M_f = 3021,61 \text{ [daNm]}$$

Cálculo del momento combinado:

$$M_c = 0,5 * \left[ M_f + \sqrt{M_f^2 + M_t^2} \right] = 3023,06 \text{ [daNm]}$$

$$T_{3a1} = \frac{M_c}{h_{libre}}$$

$$T_{3a1} = 258,38 \text{ [daN]}$$

*Se analiza el caso de la reducción al 70[%] del tiro del conductor superior en el estado de temperatura media anual.*

Cálculo del momento torsor:

$$M_t = 0,7 * T_{cV} * d_{csp}$$

$$M_t = 127,27 \text{ [daNm]}$$

Cálculo del momento flector:

$$M_f = 0,7 * T_{cV} * h_3$$

$$M_f = 2901,67 \text{ [daNm]}$$

$$M_c = 0,5 * \left[ M_f + \sqrt{M_f^2 + M_t^2} \right] = 2903,07 \text{ [daNm]}$$

$$T_{3a2} = \frac{M_c}{h_{libre}}$$

$$T_{3a2} = 248,13 \text{ [daN]}$$

$T_{3a1}$  es el que provoca la mayor sollicitación

### Verificación de la estructura

$$K_E * K_C * S_u \leq \varphi * R_C$$

$$K_E = 1$$

$$K_C = 1$$

$$S_u = T_{\max}$$

$$\varphi = 0,85$$

$$R_C = 600 \text{ [daN]}$$

$$\varphi * R_C = 510 \text{ [daN]}$$

$$K_E * K_C * S_u = 286,81 \text{ [daN]}$$

**La columna 13R600 verifica**

### Cálculo de los postes de suspensión simples "S+1" 14 [m]

#### Cargas de servicio

a.

$$T_{xx-1a} = 0 \text{ [daN]}$$

$$T_{yy-1a} = \frac{(F_{vc III} + F_{va III}) * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} + F_{vp III} + 3 * \frac{(G_{as} + G_h)}{h_{libre}} * d_{asp} + 3 * \frac{G_c * d_{csp}}{h_{libre}}$$

$$T_{yy-1a} = 223,00 \text{ [daN]}$$

$$T_{1a} = \sqrt{T_{xx-1a}^2 + T_{yy-1a}^2}$$

$$T_{1a} = 223,00 \text{ [daN]}$$

b.

Con  $\psi = 90^\circ$

$$T_{xx-1b} = \frac{F_{va III} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} + F_{vp III} = 132,05 \text{ [daN]}$$

$$T_{yy-1b} = 3 * \frac{(G_{as} + G_h)}{h_{libre}} * d_{asp} + 3 * \frac{G_c * d_{csp}}{h_{libre}}$$

$$T_{yy-1b} = 2,18 \text{ [daN]}$$

$$T_{1b} = \sqrt{T_{xx-1b}^2 + T_{yy-1b}^2}$$

$$T_{1b} = 132,07 \text{ [daN]}$$

c.

Con  $\psi = 30^\circ$

$$T_{xx-1c} = \frac{(F_{vc III-1c} + F_{va III}) * \cos(\psi) * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} + F_{vp III} * \cos(\psi)$$

$$T_{xx-1c} = 181,02 \text{ [daN]}$$

$$T_{yy-1c} = \frac{(F_{vc III-1c} + F_{va III}) * \sin(\psi) * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} + F_{p III} * \sin(\psi) + 3 * \frac{(G_{as} + G_h)}{h_{libre}} * d_{asp} + 3 * \frac{G_c * d_{csp}}{h_{libre}}$$

$$T_{yy-1c} = 70,63 \text{ [daN]}$$

$$T_{1c30} = \sqrt{T_{xx-1c}^2 + T_{yy-1c}^2}$$

$$T_{1c30} = 194,31 \text{ [daN]}$$

Con  $\psi = 45^\circ$

$$T_{xx-1c} = \frac{(F_{vc III-1c} + F_{va III}) * \cos(\psi) * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} + F_{vp III} * \cos(\psi)$$

$$T_{xx-1c} = 137,86 \text{ [daN]}$$

$$T_{yy-1c} = \frac{(F_{vc III-1c} + F_{va III}) * \sin(\psi) * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} + F_{pIII} * \sin(\psi) + 3 * \frac{(G_{as} + G_n)}{h_{libre}} * d_{asp} + 3 * \frac{G_c * d_{csp}}{h_{libre}}$$

$$T_{yy-1c} = 97,64 \text{ [daN]}$$

$$T_{1c45} = \sqrt{T_{xx-1c}^2 + T_{yy-1c}^2}$$

$$\mathbf{T_{1c45} = 168,94 \text{ [daN]}}$$

Con  $\psi = 60[^\circ]$

$$T_{xx-1c} = \frac{(F_{vc III-1c} + F_{va III}) * \cos(\psi) * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} + F_{vp III} * \cos(\psi)$$

$$T_{xx-1c} = 88,33 \text{ [daN]}$$

$$T_{yy-1c} = \frac{(F_{vc III-1c} + F_{va III}) * \sin(\psi) * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} + F_{pIII} * \sin(\psi) + 3 * \frac{(G_{as} + G_n)}{h_{libre}} * d_{asp} + 3 * \frac{G_c * d_{csp}}{h_{libre}}$$

$$T_{yy-1c} = 118,16 \text{ [daN]}$$

$$T_{1c60} = \sqrt{T_{xx-1c}^2 + T_{yy-1c}^2}$$

$$\mathbf{T_{1c60} = 147,53 \text{ [daN]}}$$

d. No se considera hielo

e.

$$T_{xx-1e} = \frac{0,2 * T_{cII} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}}$$

$$T_{xx-1e} = 289,03 \text{ [daN]}$$

$$T_{yy-1e} = 3 * \frac{(G_{as} + G_n)}{h_{libre}} * d_{asp} + 3 * \frac{G_c * d_{csp}}{h_{libre}}$$

$$T_{yy-1e} = 2,12 \text{ [daN]}$$

$$T_{1e} = 289,04 \text{ [daN]}$$

### Cargas de construcción y mantenimiento

a.

$$T_{xx-2a} = 0 \text{ [daN]}$$

$$T_{yy-2a} = 3 * \frac{(G_{as} + G_h)}{h_{libre}} * d_{asp} + 3 * 2,5 * \frac{G_c * d_{csp}}{h_{libre}}$$

$$T_{yy-2a} = 4,38 \text{ [daN]}$$

$$T_{2a} = \sqrt{T_{xx-2a}^2 + T_{yy-2a}^2}$$

$$T_{2a} = 4,38 \text{ [daN]}$$

### Cargas de contención de fallas

a.

Se analiza el caso de la reducción al 50[%] del tiro del conductor superior en el estado de mínima temperatura.

Cálculo del momento torsor:

$$M_t = 0,5 * T_{cII} * d_{csp}$$

$$M_t = 132,53 \text{ [daNm]}$$

Cálculo del momento flector:

$$M_f = 0,5 * T_{cII} * h_3$$

$$M_f = 3260,16 \text{ [daNm]}$$

Cálculo del momento combinado:

$$M_c = 0,5 * \left[ M_f + \sqrt{M_f^2 + M_t^2} \right] = 3261,50 \text{ [daNm]}$$

$$T_{3a1} = \frac{M_c}{h_{libre}}$$

$$T_{3a1} = 258,85 \text{ [daN]}$$

Se analiza el caso de la reducción al 70[%] del tiro del conductor superior en el estado de temperatura media anual.

Cálculo del momento torsor:

$$M_t = 0,7 * T_{cV} * d_{csp}$$

$$M_t = 127,27 \text{ [daNm]}$$

Cálculo del momento flector:

$$M_f = 0,7 * T_{cV} * h_3$$

$$M_f = 3130,75 \text{ [daNm]}$$

$$M_C = 0,5 * \left[ M_f + \sqrt{M_f^2 + M_t^2} \right] = 3132,05 \text{ [daNm]}$$

$$T_{3a2} = \frac{M_C}{h_{libre}}$$

$$T_{3a2} = 248,58 \text{ [daN]}$$

$T_{3a1}$  es el que provoca la mayor sollicitación

### Verificación de la estructura

$$K_E * K_C * S_u \leq \varphi * R_C$$

$$K_E = 1$$

$$K_C = 1$$

$$S_u = T_{\max}$$

$$\varphi = 0,85$$

$$R_C = 600 \text{ [daN]}$$

$$\varphi * R_C = 510 \text{ [daN]}$$

$$K_E * K_C * S_u = 289,04 \text{ [daN]}$$

### **La columna 14R600 verifica**

## Cálculo de los postes de suspensión simples "S+2" 15 [m]

### Cargas de servicio

a.

$$T_{xx-1a} = 0 \text{ [daN]}$$

$$T_{yy-1a} = \frac{(F_{vc III} + F_{va III}) * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} + F_{vp III} + 3 * \frac{(G_{as} + G_h)}{h_{libre}} * d_{asp} + 3 * \frac{G_c * d_{csp}}{h_{libre}}$$

$$T_{yy-1a} = 236,28 \text{ [daN]}$$

$$T_{1a} = \sqrt{T_{xx-1a}^2 + T_{yy-1a}^2}$$

$$\mathbf{T_{1a} = 236,28 \text{ [daN]}}$$

b.

Con  $\psi = 90[^\circ]$

$$T_{xx-1b} = \frac{F_{va III} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} + F_{vp III} = 144,88 \text{ [daN]}$$

$$T_{yy-1b} = 3 * \frac{(G_{as} + G_h)}{h_{libre}} * d_{asp} + 3 * \frac{G_c * d_{csp}}{h_{libre}}$$

$$T_{yy-1b} = 2,03 \text{ [daN]}$$

$$T_{1b} = \sqrt{T_{xx-1b}^2 + T_{yy-1b}^2}$$

$$\mathbf{T_{1b} = 144,90 \text{ [daN]}}$$

c.

Con  $\psi = 30[^\circ]$

$$T_{xx-1c} = \frac{(F_{vc III-1c} + F_{va III}) * \cos(\psi) * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} + F_{vp III} * \cos(\psi)$$

$$T_{xx-1c} = 192,58 [daN]$$

$$T_{yy-1c} = \frac{(F_{vc III-1c} + F_{va III}) * \sin(\psi) * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} + F_{p III} * \sin(\psi) + 3 * \frac{(G_{as} + G_h)}{h_{libre}} * d_{asp} + 3 * \frac{G_c * d_{csp}}{h_{libre}}$$

$$T_{yy-1c} = 106,44 [daN]$$

$$T_{1c30} = \sqrt{T_{xx-1c}^2 + T_{yy-1c}^2}$$

$$\mathbf{T_{1c30} = 223,33 [daN]}$$

Con  $\psi = 45[^\circ]$

$$T_{xx-1c} = \frac{(F_{vc III-1c} + F_{va III}) * \cos(\psi) * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} + F_{vp III} * \cos(\psi)$$

$$T_{xx-1c} = 147,23 [daN]$$

$$T_{yy-1c} = \frac{(F_{vc III-1c} + F_{va III}) * \sin(\psi) * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} + F_{p III} * \sin(\psi) + 3 * \frac{(G_{as} + G_h)}{h_{libre}} * d_{asp} + 3 * \frac{G_c * d_{csp}}{h_{libre}}$$

$$T_{yy-1c} = 106,44 [daN]$$

$$T_{1c45} = \sqrt{T_{xx-1c}^2 + T_{yy-1c}^2}$$

$$\mathbf{T_{1c45} = 181,68 [daN]}$$

Con  $\psi = 60[^\circ]$

$$T_{xx-1c} = \frac{(F_{vc III-1c} + F_{va III}) * \cos(\psi) * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} + F_{vp III} * \cos(\psi)$$

$$T_{xx-1c} = 94,90 [daN]$$

$$T_{yy-1c} = \frac{(F_{vc III-1c} + F_{va III}) * \sin(\psi) * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} + F_{p III} * \sin(\psi) + 3 * \frac{(G_{as} + G_h)}{h_{libre}} * d_{asp} + 3 * \frac{G_c * d_{csp}}{h_{libre}}$$

$$T_{yy-1c} = 130,02 [daN]$$

$$T_{1c60} = \sqrt{T_{xx-1c}^2 + T_{yy-1c}^2}$$

$$\mathbf{T_{1c60} = 160,97 [daN]}$$

d. No se considera hielo

e.

$$T_{xx-1e} = \frac{0,2 * T_{cII} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}}$$

$$T_{xx-1e} = 290,97 \text{ [daN]}$$

$$T_{yy-1e} = 3 * \frac{(G_{as} + G_h)}{h_{libre}} * d_{asp} + 3 * \frac{G_c * d_{csp}}{h_{libre}}$$

$$T_{yy-1e} = 1,98 \text{ [daN]}$$

$$T_{1e} = 290,98 \text{ [daN]}$$

### Cargas de construcción y mantenimiento

a.

$$T_{xx-2a} = 0 \text{ [daN]}$$

$$T_{yy-2a} = 3 * \frac{(G_{as} + G_h)}{h_{libre}} * d_{asp} + 3 * 2,5 * \frac{G_c * d_{csp}}{h_{libre}}$$

$$T_{yy-2a} = 4,08 \text{ [daN]}$$

$$T_{2a} = \sqrt{T_{xx-2a}^2 + T_{yy-2a}^2}$$

$$T_{2a} = 4,08 \text{ [daN]}$$

### Cargas de contención de fallas

a.

Se analiza el caso de la reducción al 50[%] del tiro del conductor superior en el estado de mínima temperatura.

Cálculo del momento torsor:

$$M_t = 0,5 * T_{cII} * d_{csp}$$

$$M_t = 132,53 \text{ [daNm]}$$

Cálculo del momento flector:

$$M_f = 0,5 * T_{cII} * h_3$$

$$M_f = 3498,70 \text{ [daNm]}$$

Cálculo del momento combinado:

$$M_c = 0,5 * \left[ M_f + \sqrt{M_f^2 + M_t^2} \right] = 3499,96 \text{ [daNm]}$$

$$T_{3a1} = \frac{M_c}{h_{libre}}$$

$$T_{3a1} = 259,26 \text{ [daN]}$$

*Se analiza el caso de la reducción al 70[%] del tiro del conductor superior en el estado de temperatura media anual.*

Cálculo del momento torsor:

$$M_t = 0,7 * T_{cV} * d_{csp}$$

$$M_t = 127,27 \text{ [daNm]}$$

Cálculo del momento flector:

$$M_f = 0,7 * T_{cV} * h_3$$

$$M_f = 3359,83 \text{ [daNm]}$$

$$M_c = 0,5 * \left[ M_f + \sqrt{M_f^2 + M_t^2} \right] = 3361,04 \text{ [daNm]}$$

$$T_{3a2} = \frac{M_c}{h_{libre}}$$

$$T_{3a2} = 292,26 \text{ [daN]}$$

$T_{3a2}$  es el que provoca la mayor sollicitación

### Verificación de la estructura

$$K_E * K_C * S_u \leq \varphi * R_C$$

$$K_E = 1$$

$$K_C = 1$$

$$S_u = T_{\max}$$

$$\varphi = 0,85$$

$$R_C = 600 \text{ [daN]}$$

$$\varphi * R_C = 510 \text{ [daN]}$$

$$K_E * K_C * S_u = 292,26 \text{ [daN]}$$

**La columna 15R600 verifica**

## Cálculo de los postes de suspensión angulares “S” 13 [m]

### Cargas de servicio

a.

$$\text{Con } \omega = 8[^\circ] \rightarrow \alpha = 4[^\circ]$$

$$T_{xx-1a} = 0 \text{ [daN]}$$

$$T_{yy-1a} = \frac{(F_{vc III} + F_{va III}) * (h_1 + h_2 + h_3) * \text{sen}(90[^\circ] - \alpha)}{h_{\text{libre}}} + \frac{T_c III * \text{sen}(\alpha) * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{\text{libre}}} + F_{vp III} \\ + 3 * \frac{(G_{as} + G_h)}{h_{\text{libre}}} * d_{\text{asp}} + 3 * \frac{G_c * d_{\text{csp}}}{h_{\text{libre}}}$$

$$T_{yy-1a} = 289,57 \text{ [daN]}$$

$$T_{1a} = \sqrt{T_{xx-1a}^2 + T_{yy-1a}^2}$$

$$T_{1a} = 289,57 \text{ [daN]}$$

b.

$$\text{Con } \psi = 90[^\circ]$$

$$T_{xx-1b} = \frac{[F_{vc III} * \text{sen}(\alpha) + F_{va III}] * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} + F_{vp III}$$

$$T_{xx-1b} = 125,84 \text{ [daN]}$$

$$T_{yy-1b} = \frac{T_{c III} * \text{sen}(\alpha) * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} + \frac{3 * (G_{as} + G_h)}{h_{libre}} * d_{asp} + \frac{3 * G_c * d_{csp}}{h_{libre}}$$

$$T_{yy-1b} = 84,25 \text{ [daN]}$$

$$T_{1b} = \sqrt{T_{xx-1b}^2 + T_{yy-1b}^2}$$

$$\mathbf{T_{1b} = 151,44 \text{ [daN]}}$$

c.

Con  $\psi = 30 [^\circ]$

$$T_{xx-1c} = \frac{0,5 * F_{vc III} * \text{sen}(\alpha) * (h_1 + h_2 + h_3) * [\cos(90[^\circ] - \psi + \alpha) + \cos(90[^\circ] - \psi - \alpha)]}{h_{libre}} + \frac{F_{va III} * \text{sen}(\psi) * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} + F_{vp III} * \text{sen}(\psi)$$

$$T_{xx-1c} = 62,89 \text{ [daN]}$$

$$T_{yy-1c} = \frac{0,5 * F_{vc III} * (h_1 + h_2 + h_3) * \cos(\alpha) * [\text{sen}(90[^\circ] - \psi + \alpha) + \text{sen}(90[^\circ] - \psi - \alpha)]}{h_{libre}} + \frac{F_{va III} * \cos(\psi) * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} + 3 * \frac{(G_{as} + G_h)}{h_{libre}} * d_{asp} + 3 * \frac{G_c * d_{csp}}{h_{libre}} + F_{vp III} * \text{sen}(\psi)$$

$$T_{yy-1c} = 263,86 \text{ [daN]}$$

$$T_{1c30} = \sqrt{T_{xx-1c}^2 + T_{yy-1c}^2}$$

$$\mathbf{T_{1c30} = 271,25 \text{ [daN]}}$$

Con  $\psi = 45[^\circ]$

$$T_{xx-1c} = \frac{0,5 * F_{vc III} * \text{sen}(\alpha) * (h_1 + h_2 + h_3) * [\cos(90[^\circ] - \psi + \alpha) + \cos(90[^\circ] - \psi - \alpha)]}{h_{libre}} + \frac{F_{va III} * \text{sen}(\psi) * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} + F_{vp III} * \text{sen}(\psi)$$

$$T_{xx-1c} = 88,94 \text{ [daN]}$$

$$T_{yy-1c} = \frac{0,5 * F_{vc III} * (h_1 + h_2 + h_3) * \cos(\alpha) * [\text{sen}(90[^\circ] - \psi + \alpha) + \text{sen}(90[^\circ] - \psi - \alpha)]}{h_{libre}} + \frac{F_{va III} * \cos(\psi) * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} + 3 * \frac{(G_{as} + G_h)}{h_{libre}} * d_{asp} + 3 * \frac{G_c * d_{csp}}{h_{libre}} + F_{vp III} * \text{sen}(\psi)$$

$$T_{yy-1c} = 230,92 \text{ [daN]}$$

$$T_{1c45} = \sqrt{T_{xx-1c}^2 + T_{yy-1c}^2}$$

$$T_{1c45} = 247,45 \text{ [daN]}$$

Con  $\psi = 60 [^\circ]$

$$T_{xx-1c} = \frac{0,5 * F_{vc III} * \text{sen}(\alpha) * (h_1 + h_2 + h_3) * [\cos(90[^\circ] - \psi + \alpha) + \cos(90[^\circ] - \psi - \alpha)]}{h_{libre}} + \frac{F_{va III} * \text{sen}(\psi) * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} + F_{vp III} * \text{sen}(\psi)$$

$$T_{xx-1c} = 108,94 \text{ [daN]}$$

$$T_{yy-1c} = \frac{0,5 * F_{vc III} * (h_1 + h_2 + h_3) * \cos(\alpha) * [\text{sen}(90[^\circ] - \psi + \alpha) + \text{sen}(90[^\circ] - \psi - \alpha)]}{h_{libre}} + \frac{F_{va III} * \cos(\psi) * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} + 3 * \frac{(G_{as} + G_h)}{h_{libre}} * d_{asp} + 3 * \frac{G_c * d_{csp}}{h_{libre}} + F_{vp III} * \text{sen}(\psi)$$

$$T_{yy-1c} = 187,99 \text{ [daN]}$$

$$T_{1c60} = \sqrt{T_{xx-1c}^2 + T_{yy-1c}^2}$$

$$T_{1c60} = 217,97 \text{ [daN]}$$

d. No se considera hielo

e.

$$T_{xx-1e} = \frac{0,2 * T_c II * (h_1 + h_2 + h_3) * \cos(\alpha)}{h_{libre}}$$

$$T_{xx-1e} = 286,10 \text{ [daN]}$$

$$T_{yy-1e} = \frac{0,8 * T_{c \text{ II}} * (h_1 + h_2 + h_3) * \text{sen}(\alpha)}{h_{\text{libre}}} + 3 * \frac{(G_{\text{as}} + G_{\text{h}})}{h_{\text{libre}}} * d_{\text{asp}} + 3 * \frac{G_{\text{c}} * d_{\text{csp}}}{h_{\text{libre}}}$$

$$T_{yy-1e} = 82,27 [\text{daN}]$$

$$T_{1e} = \sqrt{T_{xx-1e}^2 + T_{yy-1e}^2}$$

$$T_{1e} = 297,70 [\text{daN}]$$

f.

$$T_{xx-1f} = 0 [\text{daN}]$$

$$T_{yy-1f} = \frac{T_{c \text{ II}} * (h_1 + h_2 + h_3) * \text{sen}(\alpha)}{h_{\text{libre}}} + 3 * \frac{(G_{\text{as}} + G_{\text{h}})}{h_{\text{libre}}} * d_{\text{asp}} + 3 * \frac{G_{\text{c}} * d_{\text{csp}}}{h_{\text{libre}}}$$

$$T_{yy-1f} = 102,26 [\text{daN}]$$

$$T_{1f} = \sqrt{T_{xx-1f}^2 + T_{yy-1f}^2}$$

$$T_{1f} = 102,26 [\text{daN}]$$

## Cargas de construcción y mantenimiento

a.

$$T_{xx-2a} = 0 [\text{daN}]$$

$$T_{yy-2a} = \frac{3 * 2,5 * [G_{\text{c}} * d_{\text{csp}} + (G_{\text{as}} + G_{\text{h}}) * d_{\text{asp}}] + T_{c \text{ II}} * (h_1 + h_2 + h_3) * \text{sen}(\alpha)}{h_{\text{libre}}}$$

$$T_{yy-2a} = 105,68 [\text{daN}]$$

$$T_{2a} = \sqrt{T_{xx-2a}^2 + T_{yy-2a}^2}$$

$$T_{2a} = 105,68 [\text{daN}]$$

## Cargas de contención de fallas

a.

Se analiza el caso de la reducción al 50[%] del tiro del conductor superior en el estado de mínima temperatura.

Cálculo del momento torsor:

$$M_t = 0,5 * T_{cII} * d_{csp}$$

$$M_t = 132,53 \text{ [daNm]}$$

Cálculo del momento flector:

$$M_f = 0,5 * T_{cII} * h_3 * \cos(\alpha) + T_{cII} * \text{sen}(\alpha) * (h_1 + h_2)$$

$$M_f = 3762,69 \text{ [daNm]}$$

Cálculo del momento combinado:

$$M_c = 0,5 * \left[ M_f + \sqrt{M_f^2 + M_t^2} \right] = 3763,85 \text{ [daNm]}$$

$$T_{3a1} = \frac{M_c}{h_{libre}}$$

$$T_{3a1} = 321,70 \text{ [daN]}$$

*Se analiza el caso de la reducción al 70[%] del tiro del conductor superior en el estado de temperatura media anual.*

Cálculo del momento torsor:

$$M_t = 0,7 * T_{cV} * d_{csp}$$

$$M_t = 127,27 \text{ [daNm]}$$

Cálculo del momento flector:

$$M_f = 0,7 * T_{cV} * h_3 + T_{cV} * \text{sen}(\alpha) * (h_1 + h_2)$$

$$M_f = 3415,05 \text{ [daNm]}$$

$$M_c = 0,5 * \left[ M_f + \sqrt{M_f^2 + M_t^2} \right] = 3416,24 \text{ [daNm]}$$

$$T_{3a2} = \frac{M_c}{h_{libre}}$$

$$T_{3a2} = 291,99 \text{ [daN]}$$

### Verificación de la estructura

$$K_E * K_C * S_u \leq \varphi * R_C$$

$$K_E = 1$$

$$K_C = 1$$

$$S_u = T_{\max}$$

$$\varphi = 0,85$$

$$R_C = 600 \text{ [daN]}$$

$$\varphi * R_C = 510 \text{ [daN]}$$

$$K_E * K_C * S_u = 321,70 \text{ [daN]}$$

**La columna 13R600 verifica**

### Cálculo de los postes de retención angular a 90° "RA" 13[m]

#### Cargas de servicio

a.

$$\text{Con } \omega = 90[^\circ] \rightarrow \alpha = 45[^\circ]$$

$$T_{xx-1a} = \frac{3 * G_c * d_{crp}}{h_{libre}} + \frac{3 * G_{ar} * d_{arp}}{h_{libre}} + \frac{\frac{F_{vc III}}{2} * (h_1 + h_2 + h_3) * 2 * \cos(\alpha)}{h_{libre}} + \frac{T_{c III} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} \\ + \frac{F_{va III} * (h_1 + h_2 + h_3) * \cos(\alpha)}{h_{libre}} + F_{vp III} * \cos(\alpha)$$

$$T_{xx-1a} = 1354,22 \text{ [daN]}$$

$$T_{yy-1a} = \frac{3 * G_c * d_{crp}}{h_{libre}} + \frac{3 * G_{ar} * d_{arp}}{h_{libre}} + \frac{\frac{F_{vc III}}{2} * (h_1 + h_2 + h_3) * 2 * \text{sen}(\alpha)}{h_{libre}} + \frac{T_{c III} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}}$$

$$+ \frac{F_{va III} * (h_1 + h_2 + h_3) * \text{sen}(\alpha)}{h_{libre}} + F_{vp III} * \text{sen}(\alpha)$$

$$T_{yy-1a} = 1354,08 \text{ [daN]}$$

$$T_{1a} = \sqrt{T_{xx-1a}^2 + T_{yy-1a}^2}$$

$$T_{1a} = 1915,06 \text{ [daN]}$$

b.

Con  $\psi = 90[^\circ]$

$$T_{xx-1b} = \frac{3 * G_c * d_{crp}}{h_{libre}} + \frac{3 * G_{ar} * d_{arp}}{h_{libre}} + \frac{\frac{F_{vc III}}{2} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} + \frac{T_{c III} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}}$$

$$+ \frac{F_{va III} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} + F_{vp III}$$

$$T_{xx-1b} = 1383,46 \text{ [daN]}$$

$$T_{yy-1b} = \frac{3 * G_c * d_{crp}}{h_{libre}} + \frac{3 * G_{ar} * d_{arp}}{h_{libre}} + \frac{T_{c III} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}}$$

$$T_{yy-1b} = 1177,01 \text{ [daN]}$$

$$T_{1b} = \sqrt{T_{xx-1b}^2 + T_{yy-1b}^2}$$

$$T_{1b} = 1816,40 \text{ [daN]}$$

c.

Con  $\psi = 30[^\circ]$

$$T_{xx-1c} = \frac{3 * G_c * d_{crp}}{h_{libre}} + \frac{3 * G_{ar} * d_{arp}}{h_{libre}} + \frac{\frac{F_{vc III}}{2} * (h_1 + h_2 + h_3) * \cos(45[^\circ] + \psi)}{h_{libre}} + \frac{T_{c III} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}}$$

$$+ \frac{F_{va III} * (h_1 + h_2 + h_3) * \cos(45[^\circ] + \psi)}{h_{libre}} + F_{vp III} * \cos(45[^\circ] + \psi)$$

$$T_{xx-1c} = 1230,57 \text{ [daN]}$$

$$T_{yy-1c} = \frac{3 * G_c * d_{crp}}{h_{libre}} + \frac{3 * G_{ar} * d_{arp}}{h_{libre}} + \frac{\frac{F_{vc III}}{2} * (h_1 + h_2 + h_3) * \text{sen}(45[^\circ] + \psi)}{h_{libre}} + \frac{T_{c III} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}}$$

$$+ \frac{F_{va III} * (h_1 + h_2 + h_3) * \text{sen}(45[^\circ] + \psi)}{h_{libre}} + F_{vp III} * \text{sen}(45^\circ + \psi)$$

$$T_{yy-1c} = 1376,39 \text{ [daN]}$$

$$T_{1c30} = \sqrt{T_{xx-1c}^2 + T_{yy-1c}^2}$$

$$T_{1c30} = 1846,28 \text{ [daN]}$$

Con  $\psi = 45[^\circ]$

$$T_{xx-1c} = \frac{3 * G_c * d_{crp}}{h_{libre}} + \frac{3 * G_{ar} * d_{arp}}{h_{libre}} + \frac{\frac{F_{vc III}}{2} * (h_1 + h_2 + h_3) * \text{cos}(45[^\circ] + \psi)}{h_{libre}} + \frac{T_{c III} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}}$$

$$+ \frac{F_{va III} * (h_1 + h_2 + h_3) * \text{cos}(45[^\circ] + \psi)}{h_{libre}} + F_{vp III} * \text{cos}(45[^\circ] + \psi)$$

$$T_{xx-1c} = 1177,17 \text{ [daN]}$$

$$T_{yy-1c} = \frac{3 * G_c * d_{crp}}{h_{libre}} + \frac{3 * G_{ar} * d_{arp}}{h_{libre}} + \frac{\frac{F_{vc III}}{2} * (h_1 + h_2 + h_3) * \text{sen}(45[^\circ] + \psi)}{h_{libre}} + \frac{T_{c III} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}}$$

$$+ \frac{F_{va III} * (h_1 + h_2 + h_3) * \text{sen}(45[^\circ] + \psi)}{h_{libre}} + F_{vp III} * \text{sen}(45[^\circ] + \psi)$$

$$T_{yy-1c} = 1383,43 \text{ [daN]}$$

$$T_{1c45} = \sqrt{T_{xx-1c}^2 + T_{yy-1c}^2}$$

$$T_{1c45} = 1816,50 \text{ [daN]}$$

Con  $\psi = 60[^\circ]$

$$T_{xx-1c} = \frac{3 * G_c * d_{crp}}{h_{libre}} + \frac{3 * G_{ar} * d_{arp}}{h_{libre}} + \frac{\frac{F_{vc III}}{2} * (h_1 + h_2 + h_3) * \text{cos}(45[^\circ] + \psi)}{h_{libre}} + \frac{T_{c III} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}}$$

$$+ \frac{F_{va III} * (h_1 + h_2 + h_3) * \text{cos}(45[^\circ] + \psi)}{h_{libre}} + F_{vp III} * \text{cos}(45[^\circ] + \psi)$$

$$T_{xx-1c} = 1123,76 \text{ [daN]}$$

$$T_{yy-1c} = \frac{3 * G_c * d_{crp}}{h_{libre}} + \frac{3 * G_{ar} * d_{arp}}{h_{libre}} + \frac{\frac{F_{vc III}}{2} * (h_1 + h_2 + h_3) * \text{sen}(45[^\circ] + \psi)}{h_{libre}} + \frac{T_{c III} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}}$$

$$+ \frac{F_{va III} * (h_1 + h_2 + h_3) * \text{sen}(45[^\circ] + \psi)}{h_{libre}} + F_{vp III} * \text{sen}(45[^\circ] + \psi)$$

$$T_{yy-1c} = 1376,47 \text{ [daN]}$$

$$T_{1c60} = \sqrt{T_{xx-1c}^2 + T_{yy-1c}^2}$$

$$T_{1c60} = 1776,94 \text{ [daN]}$$

d. No se considera hielo

e.

$$T_{xx-1e} = \frac{3 * G_c * d_{crp}}{h_{libre}} + \frac{3 * G_{ar} * d_{arp}}{h_{libre}} + \frac{T_{c II} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}}$$

$$T_{xx-1e} = 1436,42 \text{ [daN]}$$

$$T_{yy-1e} = \frac{3 * G_c * d_{crp}}{h_{libre}} + \frac{3 * G_{ar} * d_{arp}}{h_{libre}} + \frac{T_{c II} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}}$$

$$T_{yy-1e} = 1436,42 \text{ [daN]}$$

$$T_{1e} = \sqrt{T_{xx-1e}^2 + T_{yy-1e}^2}$$

$$T_{1e} = 2031,40 \text{ [daN]}$$

## Cargas de construcción y mantenimiento

a.

$$T_{xx-2a} = 2,5 * \left( \frac{3 * G_c * d_{crp}}{h_{libre}} + \frac{3 * G_{ar} * d_{arp}}{h_{libre}} \right) + \frac{T_{c II} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}}$$

$$T_{xx-2a} = 1437,41 \text{ [daN]}$$

$$T_{yy-2a} = \left( \frac{3 * G_c * d_{crp}}{h_{libre}} + \frac{3 * G_{ar} * d_{arp}}{h_{libre}} \right) + \frac{T_{c II} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}}$$

$$T_{yy-2a} = 1435,37 \text{ [daN]}$$

$$T_{2a} = \sqrt{T_{xx-2a}^2 + T_{yy-2a}^2}$$

$$T_{2a} = 2031,36 \text{ [daN]}$$

b.

$$T_{xx-2b} = 2,5 * \left( \frac{3 * G_c * d_{crp}}{h_{libre}} + \frac{3 * G_{ar} * d_{arp}}{h_{libre}} \right) + \frac{T_{cV} * (h_1 + h_2 + h_3) * 1,5}{h_{libre}}$$

$$T_{xx-2b} = 1478,85 \text{ [daN]}$$

$$T_{yy-2b} = 2,5 * \left( \frac{3 * G_c * d_{crp}}{h_{libre}} + \frac{3 * G_{ar} * d_{arp}}{h_{libre}} \right) + \frac{T_{cV} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}}$$

$$T_{yy-2b} = 987,03 \text{ [daN]}$$

$$T_{2b} = \sqrt{T_{xx-2b}^2 + T_{yy-2b}^2}$$

$$T_{2b} = 1777,99 \text{ [daN]}$$

### Cargas de contención de fallas

a.

$$T_{xx-3a} = \frac{2 * G_c * d_{crp}}{h_{libre}} + \frac{2 * G_{ar} * d_{arp}}{h_{libre}} + \frac{T_{cII} * (h_1 + h_2)}{h_{libre}}$$

$$T_{xx-3a} = 918,40 \text{ [daN]}$$

$$T_{yy-3a} = \frac{3 * G_c * d_{crp}}{h_{libre}} + \frac{3 * G_{ar} * d_{arp}}{h_{libre}} + \frac{T_{cII} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}}$$

$$T_{yy-3a} = 1435,37 \text{ [daN]}$$

$$T_{3a} = \sqrt{T_{xx-3a}^2 + T_{yy-3a}^2}$$

$$T_{3a} = 1704,03 \text{ [daN]}$$

b. No se considera sismo

### Verificación de la estructura

$$K_E * K_c * S_u \leq \varphi * R_C$$

$$K_E = 1$$

$$K_c = 1$$

$$S_u = T_{\max}$$

$$\varphi = 0,85$$

$$R_C = 2400 \text{ [daN]}$$

$$\varphi * R_C = 2040 \text{ [daN]}$$

$$K_E * K_C * S_u = 2031,40 \text{ [daN]}$$

**La columna 13R2400 verifica**

### Cálculo de los postes de retención angular a 15° "RA" 13[m]

#### Cargas de servicio

a.

$$\text{Con } \omega = 15[^\circ] \rightarrow \alpha = 7,5[^\circ]$$

$$T_{xx-1a} = 0 \text{ [daN]}$$

$$T_{yy-1a} = \frac{3 * G_c * d_{crp}}{h_{libre}} * \text{sen}(\alpha) + \frac{3 * G_{ar} * d_{arp}}{h_{libre}} * \text{sen}(\alpha) + \frac{\frac{F_{vc III}}{2} * (h_1 + h_2 + h_3) * 2 * \text{sen}(90[^\circ] - \alpha)}{h_{libre}} \\ + \frac{T_{c III} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} * \text{sen}(\alpha) + \frac{F_{va III} * (h_1 + h_2 + h_3) * \text{sen}(90[^\circ] - \alpha)}{h_{libre}} + F_{vp III}$$

$$T_{yy-1a} = 366,24 \text{ [daN]}$$

$$T_{1a} = \sqrt{T_{xx-1a}^2 + T_{yy-1a}^2}$$

$$T_{1a} = 366,24 \text{ [daN]}$$

b.

$$\text{Con } \psi = 90[^\circ]$$

$$T_{xx-1b} = \frac{\frac{F_{vc III}}{2} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} * \cos(90[^\circ] - \alpha) + \frac{F_{va III} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} * \cos(90[^\circ] - \alpha) + F_{vp III}$$

$$T_{xx-1b} = 123,70 \text{ [daN]}$$

$$T_{yy-1b} = \frac{3 * G_c * d_{crp}}{h_{libre}} * \text{sen}(\alpha) + \frac{3 * G_{ar} * d_{arp}}{h_{libre}} * \text{sen}(\alpha) + \frac{T_{c III} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} * \text{sen}(\alpha)$$

$$T_{yy-1b} = 153,69 \text{ [daN]}$$

$$T_{1b} = \sqrt{T_{xx-1b}^2 + T_{yy-1b}^2}$$

$$\mathbf{T_{1b} = 197,29 \text{ [daN]}}$$

c.

Con  $\psi = 30[^\circ]$

$$T_{xx-1c} = \frac{F_{vc III} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} * \cos(90[^\circ] - \psi + \alpha) + \frac{F_{va III} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} * \cos(90[^\circ] - \psi + \alpha) + F_{vp III} * \cos(90[^\circ] - \psi)$$

$$T_{xx-1c} = 95,59 \text{ [daN]}$$

$$T_{yy-1c} = \frac{F_{vc III} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} * \text{sen}(90^\circ - \psi + \alpha) + \frac{F_{va III} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} * \text{sen}(90^\circ - \psi + \alpha) + F_{vp III} * \text{sen}(90^\circ - \psi) + \frac{T_{c III} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} * \text{sen}(\alpha) + \frac{6 * (G_c * d_{crp} + G_{ar} * d_{arp})}{h_{libre}} * \text{sen}(\alpha)$$

$$T_{yy-1c} = 340,74 \text{ [daN]}$$

$$T_{1c30} = \sqrt{T_{xx-1c}^2 + T_{yy-1c}^2}$$

$$\mathbf{T_{1c30} = 353,89 \text{ [daN]}}$$

Con  $\psi = 45[^\circ]$

$$T_{xx-1c} = \frac{F_{vc III} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} * \cos(90[^\circ] - \psi + \alpha) + \frac{F_{va III} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} * \cos(90[^\circ] - \psi + \alpha) + F_{vp III} * \cos(90[^\circ] - \psi)$$

$$T_{xx-1c} = 141,60 \text{ [daN]}$$

$$T_{yy-1c} = \frac{F_{vc III} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} * \text{sen}(90[^\circ] - \Psi + \alpha) + \frac{F_{va III} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} * \text{sen}(90[^\circ] - \Psi + \alpha) + F_{vp III} * \text{sen}(90[^\circ] - \Psi) + \frac{T_{c III} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} * \text{sen}(\alpha) + \frac{6 * (G_c * d_{crp} + G_{ar} * d_{arp})}{h_{libre}} * \text{sen}(\alpha)$$

$$T_{yy-1c} = 310,05 \text{ [daN]}$$

$$T_{1c45} = \sqrt{T_{xx-1c}^2 + T_{yy-1c}^2}$$

$$\mathbf{T_{1c45} = 340,85 \text{ [daN]}}$$

Con  $\psi = 60[^\circ]$

$$T_{xx-1c} = \frac{F_{vc III} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} * \cos(90[^\circ] - \Psi + \alpha) + \frac{F_{va III} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} * \cos(90[^\circ] - \Psi + \alpha) + F_{vp III} * \cos(90[^\circ] - \Psi)$$

$$T_{xx-1c} = 177,96 \text{ [daN]}$$

$$T_{yy-1c} = \frac{F_{vc III} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} * \text{sen}(90[^\circ] - \Psi + \alpha) + \frac{F_{va III} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} * \text{sen}(90[^\circ] - \Psi + \alpha) + F_{vp III} * \text{sen}(90[^\circ] - \Psi) + \frac{T_{c III} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} * \text{sen}(\alpha) + \frac{6 * (G_c * d_{crp} + G_{ar} * d_{arp})}{h_{libre}} * \text{sen}(\alpha)$$

$$T_{yy-1c} = 268,74 \text{ [daN]}$$

$$T_{1c60} = \sqrt{T_{xx-1c}^2 + T_{yy-1c}^2}$$

$$\mathbf{T_{1c60} = 322,32 \text{ [daN]}}$$

d. No se considera hielo

e.

$$T_{xx-1e} = 0 \text{ [daN]}$$

$$T_{yy-1e} = \frac{T_{c II} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} * \text{sen}(90[^\circ] - \alpha) + \frac{6 * (G_c * d_{crp} + G_{ar} * d_{arp})}{h_{libre}} * \text{sen}(\alpha)$$

$$T_{yy-1e} = 187,71 \text{ [daN]}$$

$$T_{1e} = \sqrt{T_{xx-1e}^2 + T_{yy-1e}^2}$$

$$T_{1e} = 187,71 \text{ [daN]}$$

### Cargas de construcción y mantenimiento

a.

$$T_{xx-2a} = 0 \text{ [daN]}$$

$$T_{yy-2a} = \frac{T_{cII} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} * \text{sen}(\alpha) + \frac{6 * 2,5 * (G_c * d_{crp} + G_{ar} * d_{arp})}{h_{libre}} * \text{sen}(\alpha)$$

$$T_{yy-2a} = 188,65 \text{ [daN]}$$

$$T_{2a} = \sqrt{T_{xx-2a}^2 + T_{yy-2a}^2}$$

$$T_{2a} = 188,65 \text{ [daN]}$$

b.

$$T_{xx-2b} = 0 \text{ [daN]}$$

$$T_{yy-2b} = \frac{1,5 * T_{cV} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} * \text{sen}(\alpha) + \frac{6 * 2,5 * (G_c * d_{crp} + G_{ar} * d_{arp})}{h_{libre}} * \text{sen}(\alpha)$$

$$T_{yy-2b} = 194,06 \text{ [daN]}$$

$$T_{2b} = \sqrt{T_{xx-2b}^2 + T_{yy-2b}^2}$$

$$T_{2b} = 194,06 \text{ [daN]}$$

### Cargas de contención de fallas

a.

$$T_{xx-3a} = \frac{T_{cII} * h_3}{h_{libre}} * \text{cos}(\alpha)$$

$$T_{xx-3a} = 512,10 \text{ [daN]}$$

$$T_{yy-3a} = \frac{T_{cII} * (h_1 + h_2 + 0,5 * h_3)}{h_{libre}} * \text{sen}(\alpha) + \frac{4,5 * (G_c * d_{crp} + G_{ar} * d_{arp})}{h_{libre}} * \text{sen}(\alpha)$$

$$T_{yy-3a} = 156,98 \text{ [daN]}$$

$$T_{3a} = \sqrt{T_{xx-3a}^2 + T_{yy-3a}^2}$$

$$T_{3a} = 535,62 \text{ [daN]}$$

b. No se considera sismo

### Verificación de la estructura

$$K_E * K_C * S_u \leq \varphi * R_C$$

$$K_E = 1$$

$$K_C = 1$$

$$S_u = T_{\max}$$

$$\varphi = 0,85$$

$$R_C = 750 \text{ [daN]}$$

$$\varphi * R_C = 637,50 \text{ [daN]}$$

$$K_E * K_C * S_u = 535,62 \text{ [daN]}$$

**La columna 13R750 verifica**

### Cálculo de los postes terminales "T" 13[m]

#### Cargas de servicio

a.

$$T_{xx-1a} = \frac{3 * G_c * d_{crp}}{h_{libre}} + \frac{3 * G_{ar} * d_{arp}}{h_{libre}} + \frac{T_{c III} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}}$$

$$T_{xx-1a} = 1178,06 \text{ [daN]}$$

$$T_{yy-1a} = \frac{(F_{vc III} + F_{va III}) * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}} + F_{vp III}$$

$$T_{yy-1a} = 209,53 \text{ [daN]}$$

$$T_{1a} = \sqrt{T_{xx-1a}^2 + T_{yy-1a}^2}$$

$$T_{1a} = 1196,55 \text{ [daN]}$$

b.

$$T_{xx-1b} = \frac{3 * G_c * d_{crp}}{h_{libre}} + \frac{3 * G_{ar} * d_{arp}}{h_{libre}} + \frac{T_{cIII} * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}}$$

$$T_{xx-1b} = 1178,06 \text{ [daN]}$$

$$T_{yy-1b} = F_{vpIII}$$

$$T_{yy-1b} = 117,39 \text{ [daN]}$$

$$T_{1b} = \sqrt{T_{xx-1b}^2 + T_{yy-1b}^2}$$

$$T_{1b} = 1183,90 \text{ [daN]}$$

c. No se considera hielo

### Cargas de construcción y mantenimiento

a.

$$T_{xx-2a} = \frac{2 * (G_c * d_{crp} + G_{ar} * d_{arp}) + 2,5 * (G_c * d_{crp} + G_{ar} * d_{arp})}{h_{libre}} + \frac{T_{cV} * 1,5 * (h_1 + h_2 + h_3)}{h_{libre}}$$

$$T_{xx-2a} = 1479,07 \text{ [daN]}$$

$$T_{yy-2a} = 0 \text{ [daN]}$$

$$T_{2a} = \sqrt{T_{xx-2a}^2 + T_{yy-2a}^2}$$

$$T_{2a} = 1479,07 \text{ [daN]}$$

### Cargas de contención de falla

a.

$$T_{xx-3a} = \frac{2 * (G_c * d_{crp} + G_{ar} * d_{arp})}{h_{libre}} + \frac{T_{cII} * 1,5 * (h_1 + h_2)}{h_{libre}}$$

$$T_{xx-3a} = 1377,85 \text{ [daN]}$$

$$T_{yy-3a} = 0 \text{ [daN]}$$

$$T_{3a} = \sqrt{T_{xx-3a}^2 + T_{yy-3a}^2}$$

$$T_{3a} = 1377,85 \text{ [daN]}$$

Se considera la región ausente de sismos.

### Verificación de la estructura

$$K_E = 1$$

$$K_C = 1$$

$$S_u = T_{\max}$$

$$\varphi = 0,85$$

$$R_C = 1800 \text{ [daN]}$$

$$\varphi * R_C = 1530 \text{ [daN]}$$

$$K_E * K_C * S_u = 1479,07 \text{ [daN]}$$

**La columna 13R1800 verifica**

# Proyecto Final

## Capítulo 6 - Cálculo de Bases



**Mariano Alonso**

Ingeniería Eléctrica

Universidad Tecnológica Nacional

Facultad Regional Concordia

## Tabla de contenido

Introducción .....	2
Fundaciones monobloque - Método Sulzberger .....	2
Postulados básicos .....	2
Coeficiente de compresibilidad .....	3
Momento volcador .....	5
Momento estabilizante .....	5
Coeficiente de seguridad .....	7
Formas usuales de fundaciones .....	8
Dimensiones mínimas .....	9
Fundaciones monobloque - Método de Pohl.....	10
Campo de aplicación .....	10
Principios de cálculo .....	10
Cálculos.....	14
Fundaciones para estructuras de suspensión, S-13[m] .....	14
Fundaciones para estructuras de suspensión, S+1-14[m] .....	17
Fundaciones para estructuras de suspensión, S+2-15[m] .....	20
Fundaciones para estructuras terminales T-13[m] .....	23
Fundaciones para estructuras de suspensión angular 8°, SA-13[m].....	26
Fundaciones para estructuras de retención angular a 90°, RA-13[m] .....	29
Fundaciones para estructuras de retención angular 15°, RA-13[m].....	32
Fundaciones para estructuras de suspensión, S+2-15 [m] – Método Pohl.....	35

## Introducción

Los soportes metálicos se fijan al terreno mediante bloques separados, uno para cada pata, en el caso de torres. Cuando se emplean para sustentar postes de hormigón son un macizo.

También se utiliza en algunos casos postes de hormigón armado directamente empotrados, sin fundación. Los postes resultan de una longitud mayor, por lo cual debe realizarse una comparación económica con respecto a los postes con fundación. La solución puede ser competitiva en el campo de líneas con postes de tiro reducido (Líneas de baja tensión y media tensión en 13,2 [kV]).

Para el caso de este proyecto se optó por realizar fundaciones en los postes de hormigón. En los postes de suspensión, como se verá, las fundaciones son de dimensiones mínimas; en cambio en los de retención o terminales, las dimensiones son mayores. El caso más complejo se da en una zona inundable de la traza de la línea donde existirá una base acorde a dicho terreno.

A continuación se da una breve descripción de los dos tipos de bases utilizadas y sus principios de cálculo:

- Sulzberger
- Pohl

Luego se realizan los cálculos de algunas de las estructuras con el fin de expresar la forma de cálculo y no volver tediosa la lectura del presente capítulo.

## Fundaciones monobloque - Método Sulzberger

Este método, consiste en la verificación de la estabilidad de una fundación a partir de sus dimensiones geométricas. Las fundaciones son del tipo monobloque construido en hormigón simple (Arena + piedra + cemento + agua).

Las dimensiones geométricas del macizo (que puede ser cuadrada, romboidal o rectangular), surge de las características del terreno de implantación, tipo de estructuras (suspensión, retención, retención angular, terminal).

## Postulados básicos

Se emplea para implantación en terrenos normales, tanto para el caso de fundaciones de hormigón como para empotramiento directo, cuando las fundaciones tienen como dimensiones preponderantes la profundidad.

En caso contrario es más apropiado el *Método de Pohl*, que tiene en cuenta exclusivamente la reacción del fondo de la fundación como elemento estabilizante y por lo tanto se aplica a bloques de importantes dimensiones laterales con respecto a su altura.

Los postulados básicos, originados en resultados experimentales, se resumen a continuación:

- a) Para inclinaciones limitadas del macizo de la fundación, el terreno reacciona en forma elástica.
- b) Para los momentos volcadores más reducidos, la estructura y su fundación giran con respecto a un eje ubicado en el fondo de la fundación. La totalidad de la superficie del fondo está en contacto con el terreno, contribuyendo a la estabilización.
- c) Con un aumento de los esfuerzos volcadores, el conjunto gira sobre un eje que ya no está en el fondo, sino más arriba, a 1/3 de la profundidad de empotramiento. En este caso el fondo de la fundación está parcialmente despegado del terreno y por lo tanto disminuye la contribución a la estabilidad. También es menor el momento estabilizante de encastramiento o reacción de las paredes de la fundación, reduciéndose a 1/3 del valor que tendría, si el eje no se hubiese desplazado del fondo de la fundación.

Se considera un ángulo de inclinación máximo bajo la acción de los momentos volcadores, tal que:

$$\tan(\alpha) \leq 0,01$$

Este valor proviene de antiguas especificaciones europeas, como la Suiza y se establece a fin de que no se alteren las condiciones de la línea (flecha y tiros del conductor). Tiene relación también con el mantenimiento de un comportamiento elástico del terreno.

### **Coeficiente de compresibilidad**

La capacidad del terreno para reaccionar elásticamente a los esfuerzos que ejerce la fundación, queda expresada mediante el coeficiente de compresibilidad  $C$  definido como: La fuerza en [ $daN$ ] que, aplicada sobre una superficie de 1 [ $cm^2$ ] provoca el hundimiento de 1 [ $cm$ ].

$C$  se mide, por lo tanto en [ $daN/cm^2$ ]. Ya que se conoce que el terreno se comporta elásticamente, se puede relacionar a  $C$  con la idea del módulo de elasticidad de los materiales.

El comportamiento de los suelos hace que deba distinguirse:

$C_t$  es el coeficiente de compresibilidad para las paredes de la fundación (relacionado a las cargas horizontales aplicada a las paredes).

$C_b$  es el coeficiente de compresibilidad para el fondo de la fundación (para las cargas verticales en el fondo).

$C_t$  y  $C_b$ , pueden tener el mismo o distinto valor. Generalmente se acepta que:

$$C_t = [1 ; 1,2] * C_b$$

(Aunque en algunos casos particulares pueden diferir como en el caso de los suelos arenosos).

En la teoría que desarrolla las fórmulas de cálculo, se acepta que el coeficiente de compresibilidad es variable linealmente con la profundidad partiendo de 0 [m] en la superficie. Generalmente las tablas dan valores típicos a 2 [m] de profundidad, por lo que se calcula por proporciones el valor a la profundidad real del fondo de la base, cifra que interviene en los cálculos. La determinación de  $C$  no es fácil. La siguiente tabla ofrece valores orientativos de  $C$  y  $\mu$  (siendo este último el coeficiente de fricción entre el terreno y la fundación)

Valores orientativos de C Y $\mu$								
Tipo	Naturaleza del terreno	Peso específico [daN/m <sup>3</sup> ]	Presión admisible [daN/cm <sup>2</sup> ]	Índice de compresibilidad C [daN/cm <sup>3</sup> ]	Ángulo de la tierra gravante $\beta$		Coeficiente de la fricción entre el terreno y la fundación	
					Vegetable	Movible	Liso	Escabroso
A	Laguna, aguazal	650	Hasta 0,5	0,5 a 1	5°	3°	0,05	0,1
B	Terreno muy blando	1700	Hasta 0,8	1 a 2	5°	3°	0,2	0,2
	Arena fina húmeda						0,3	0,5
	Arcilla blanda			0,3			0,4	
C	Arcilla medio dura seca		Hasta 1,8	5 a 8	8°	6°	0,4	0,5
	Arcilla fina seca			6 a 9			0,6	0,7
D	Arcilla rígida		Hasta 3	10	12°	10°	0,4	0,5
	Arena gruesa y pedregullo	11 a 13						
E	Arcilla gruesa dura	Hasta 4	13 a 16	15°	12°	0,4	0,5	
F	Rígido, pedregullo y canto rodado	Hasta 5		20°	20°			

(Tabla extraída de “Cálculo de fundaciones para líneas de transmisión de energía eléctrica con el método Sulzberger”. Apunte de cátedra Generación, transmisión y distribución de la energía. 2015)

Una determinación por ensayos (ejemplo, el plato de carga) no es aconsejable. Los valores que pueden obtenerse son sensibles a las dimensiones de la superficie de carga, así como a la repartición de la presión, lo que complica una definición numérica de  $C$ . Tampoco  $C$  puede considerarse una propiedad física permanente (ya que existe la influencia de la humedad, por ejemplo). En consecuencia, el valor de  $C$  se estima a partir de la observación del tipo de terreno, durante la realización de los estudios de suelo de la etapa de proyecto de la línea, o cuando se realizan las excavaciones correspondientes a cada fundación, siendo de gran importancia la experiencia de quien hace la determinación.

En este caso el valor de  $C$  fue elegido aproximadamente de la tabla anterior y el tipo de suelo que se cree hay en la zona, ya que cualquier estudio de suelo que pueda realizarse escapa a los fines de este proyecto hipotético. Para la realización real del proyecto sería más certero contar con un estudio de suelo de la zona.

### Momento volcador

Los esfuerzos volcadores son producidos por las cargas horizontales:

- Viento
- Tiro de los conductores

Que actúan sobre la estructura. En las estructuras de H<sup>0</sup>A<sup>0</sup>, lo normal es contar con la carga total reducida a la cima del poste, valor que puede tomarse como dato para realizar el cálculo del momento volcador.

Según sea la posición del eje de giro, resultará la distancia de aplicación de la fuerza que provoca el momento volcador. Para el caso más común en que la fundación trabaja parcialmente despegada del suelo, el momento volcador tiene por expresión:

$$M_v = T_{max} * \left( h_{libre} + \frac{2}{3} * t \right)$$

Dónde:

$M_v$  en [ $daNm$ ] es el momento volcador

$T_{max}$  en [ $daN$ ] es el tiro total reducido a la cima

$h_{libre}$  en [ $m$ ] es la altura libre del poste

$t$  en [ $m$ ] es la profundidad del macizo de fundación

### Momento estabilizante

La fundación reacciona ante el momento volcador, presentando dos momentos estabilizantes:

- a) El originado por la reacción en las paredes, que incluye la fricción entre el hormigón y la tierra a lo largo de las paredes, llamado *Momento de encastramiento*  $M_s$ ,
- b) *Momento de reacción de fondo*  $M_b$  provocado por las cargas verticales.

Para la determinación de los valores de los momentos estabilizantes se elaboran las fórmulas a partir de la distribución de la presión producida por la reacción del terreno ante el movimiento de la fundación, en torno al eje de giro del conjunto, de acuerdo a las condiciones expresadas en los postulados básicos.

Las fórmulas de cálculo están expresadas en la próxima tabla. Para su uso debe tenerse en cuenta, reiterando lo dicho más arriba, que la fundación se comporta en forma distinta según sea el ángulo de inclinación.

Tomando una fundación de planta cuadrada, no se debe sobrepasar una inclinación de la estructura tal que:

$$\tan(\alpha) \leq 0,01$$

Es necesario determinar si para este valor de ángulo la fundación trabaja haciendo contacto en su totalidad o está parcialmente despegada del terreno.

Para el caso en que la fundación haga contacto en su totalidad con el terreno el momento de encastramiento  $M_s$  es:

$$M_s = \frac{b * t^3}{12} * C_t * \tan(\alpha)$$

Dónde:

$b$  es el lado menor en caso de que la base tenga sección rectangular, en [m]

Cuando la fundación está parcialmente despegada del terreno, el momento de encastramiento  $M_s$  es:

$$M_s = \frac{b * t^3}{36} * C_t * \tan(\alpha)$$

Para averiguar cuál es la fórmula a utilizar, se calcula previamente el ángulo a partir del cual comienza la fundación a separarse del terreno, para ello se aplica la fórmula:

$$\tan(\alpha) = \frac{6 * \mu * G}{b * t^2 * C_t}$$

Dónde:

$\mu$  es el coeficiente de la fricción terreno-fundación

$G$  es el peso total de la estructura más la base, en [daN]

Si resulta que:

- 1)  $\tan(\alpha) < 0,01$ , entonces para la inclinación impuesta como admisible  $\tan(\alpha) = 0,01$  las paredes ya se encuentran parcialmente separadas del terreno y se aplica la fórmula:

$$M_s = \frac{b * t^3}{36} * C_t * \tan(\alpha)$$

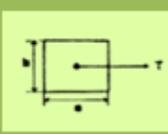
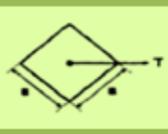
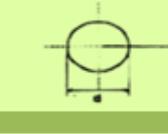
2)  $\tan(\alpha) > 0,01$ , entonces, para la inclinación impuesta como admisible  $\tan(\alpha) = 0,01$ , la totalidad de las paredes de la fundación aún están en contacto con el terreno y se aplica la fórmula:

$$M_s = \frac{b * t^3}{12} * C_t * \tan(\alpha)$$

Para el cálculo del momento de reacción de fondo  $M_b$ , también para el mismo tipo de fundación se presenta una situación similar a la descrita, aunque es necesario resaltar que el ángulo a partir del cual la base comienza a despegarse del fondo de la fundación está determinado por:

$$\tan(\alpha) = \frac{2 * G}{b * t^2 * C_b}$$

En base al valor del citado ángulo podrá saberse qué ecuación aplicar para el cálculo del momento de reacción de fondo  $M_b$ , suponiendo que la fundación tenga el ángulo de giro admisible de  $\tan(\alpha) = 0,01$ .

Forma de la base (vista en planta)	Momento de encastramiento		Momento de fondo	
	$\tan(\alpha)$	$M_s$	$\tan(\alpha)$	$M_b$
	$\frac{6 + \mu + G}{b * t^2 * C_t} < 0,01$	$\frac{b * t^3}{36} * C_t * \tan(\alpha)$	$\frac{2 * G}{a^2 * b + C_b} < 0,01$	$G * \left( \frac{a}{2} - 0,47 * \sqrt{\frac{G}{b * C_b * \tan(\alpha)}} \right)$
	$\frac{6 + \mu + G}{b * t^2 * C_t} > 0,01$	$\frac{b * t^3}{12} * C_t * \tan(\alpha)$	$\frac{2 * G}{a^2 * b + C_b} > 0,01$	$\frac{b * a^3}{12} * C_b * \tan(\alpha)$
	$\frac{4,5 + \mu + G}{a * t^2 * C_t} < 0,01$	$\frac{1,414 * a * t^3}{36} * C_t * \tan(\alpha)$	$\frac{1,414 * G}{t^3 * C_b} < 0,01$	$G * \left( \frac{\sqrt{2}}{2} * a - \frac{1}{2} * \sqrt{\frac{3 * G}{C_b * \tan(\alpha)}} \right)$
	$\frac{4,5 + \mu + G}{a * t^2 * C_t} > 0,01$	$\frac{1,414 * a * t^3}{12} * C_t * \tan(\alpha)$	$\frac{1,414 * G}{t^3 * C_b} > 0,01$	$\frac{a^4}{12} * C_b * \tan(\alpha)$
	$\frac{8,8 + \mu + G}{b * t^2 * C_t} > 0,01$	$\frac{d * t^3}{52,8} * C_t * \tan(\alpha)$	Esta forma de base se emplea cuando se empotra directamente el poste, sin fundación de hormigón. Por ser el diámetro reducido con respecto a la profundidad de empotramiento se desprecia el valor del momento de fondo.	
	$\frac{8,8 + \mu + G}{b * t^2 * C_t} < 0,01$	$\frac{d * t^3}{17,6} * C_t * \tan(\alpha)$		

(Tabla extraída de “Cálculo de fundaciones para líneas de transmisión de energía eléctrica con el método Sulzberger”. Apunte de cátedra Generación, transmisión y distribución de la energía. 2015)

### Coefficiente de seguridad

El método Sulzberger ofrece una aceptable precisión cuando la fundación reacciona predominantemente con sus paredes, o sea cuando:

$$M_s > M_b$$

Esto se tiene generalmente cuando la fundación tiene su mayor dimensión en el sentido de la profundidad y también cuando se trabaja sobre terrenos de capacidad portante

(tensión admisible) no muy reducida. En estas condiciones se logra la estabilidad simplemente para:

$$M_v = M_s + M_b$$

(O mayores valores de momento estabilizante).

En caso de fundaciones de dimensiones transversales relativamente grandes con respecto a la profundidad (lo que se hace necesario generalmente cuando la capacidad portante del terreno es baja), resulta:

$$M_s < M_b$$

Y para garantizar la estabilidad en la fundación, es necesario aplica un coeficiente de seguridad  $s$  de modo que:

$$s * M_v \leq M_s + M_b$$

$$s \leq \frac{M_s + M_b}{M_v}$$

El valor de  $s$  está comprendido entre 1 (para  $M_s > M_b$ ) y 1,5 ( $M_s = 0$ ), de acuerdo a la siguiente tabla:

Coeficiente de seguridad para el método Sulzberger											
$\frac{M_s}{M_b}$	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$s$	1,500	1,383	1,317	1,260	1,208	1,150	1,115	1,075	1,040	1,017	1,000

### Formas usuales de fundaciones

Las fundaciones calculadas por el método Sulzberger son monobloques, generalmente de forma prismática, con:

- Su base rectangular, cuando la estructura es un poste doble
- Cuadrada para postes simples.

Para éste último caso, orientando una de las diagonales en el sentido del esfuerzo volcador se logra una mayor resistencia, según se deduce de las fórmulas de la tabla anteriormente citada. Las estructuras formadas por postes triples también pueden llevar esta forma de fundación.

Del análisis de la tabla vista se desprende que la profundidad de la fundación es la dimensión que más influye en el momento estabilizante y por lo tanto conviene profundizar la fundación antes de ensancharla. Esta profundización tiene su límite, para las bases construidas con hormigón simple.

El bloque puede ser en macizo, con sus paredes verticales, o con zapatas. En este último caso, se hace necesario adecuar las fórmulas de cálculo.

Una fundación con zapata significa menor volumen de hormigón, pero también en general la necesidad de que éste lleve armadura y en general un mayor costo de excavación.

Si la zapata se ubica en el fondo de la excavación, lo ideal sería realizarla excavando exactamente su forma, sin necesidad de retirar tierra que luego deba ser repuesta en su lugar. Se evita la construcción de encofrado y no se pierde la compactación original del suelo. De no ser así, se vería disminuido (menor  $C_t$  que el del terreno natural) el momento de encastramiento. Para ello el ensanchamiento de la zapata debe realizarse en forma gradual.

Muchas veces se apela a una zapata pues el terreno sólo posee buenas características mecánicas a partir de una cierta profundidad. En este caso y de requerirse zapatas anchas, la fundación inevitablemente debería construirse a cielo abierto y con encofrado. El hormigón debe ser adecuadamente armado. En el cálculo de fundaciones con zapata interviene el peso de la tierra gravante, que se encuentra por encima de la zapata.

### Dimensiones mínimas

Para la construcción de una fundación para una línea con postes de H<sup>0</sup>A<sup>0</sup>, debe tenerse en cuenta que la base debe llevar un agujero para colocar posteriormente el poste. Dicho agujero debe ser algo mayor, unos 10 [cm] por ejemplo, que el diámetro de la base del poste, para permitir que éste entre con facilidad. Se ejecuta con un molde que, para poder ser extraído, además de ser partido, tiene una cierta conicidad hacia arriba lo que aumenta aún más el diámetro del agujero a tener en cuenta.

Cuando se funda en terrenos de buena capacidad portante, la base puede reducirse a las dimensiones mínimas posibles, para lo que es necesario tener en cuenta que el mínimo espesor entre el citado agujero y el borde lateral es de 0,15 [m] y en el fondo 0,20 [m]. Este espesor no conviene que sea mayor a 1/3 de la altura total de la fundación, para la construcción con hormigón simple. Caso contrario, debe realizarse una armadura que complemente la acción de rigidez que realiza el poste.

## Fundaciones monobloque - Método de Pohl

### Campo de aplicación

El método de las tablas de Pohl para calcular fundaciones se basa en considerar exclusivamente la acción estabilizante que produce el fondo de la fundación. Es por lo tanto aplicable a aquellos casos en que la fundación tiene sus lados de una magnitud considerable con respecto a su altura. Por lo tanto, el momento de encastramiento no es importante frente al valor de la reacción de fondo. Es necesario adoptar estas proporciones en las bases ubicadas en suelos poco resistentes (baja presión admisible, bajo coeficiente de compresibilidad), a fin de evitar valores elevados de presión sobre el terreno. Para estos casos en general no es aconsejable la aplicación para el cálculo del método de Sulzberger, en cambio, el método de Pohl es muy útil y ofrece garantías de que no se producirá un desplazamiento de la base por hundimiento del terreno, ya que la verificación se centra precisamente en la tensión admisible que soporta el suelo.

### Principios de cálculo

El cálculo permite obtener el valor de la presión producida por la acción del peso y los momentos volcadores, sobre el fondo de la fundación. Dicha presión debe ser menor que la admisible del suelo. Para el caso de tratarse de terrenos no cohesivos, según la norma DIN 1054 pueden calcularse valores de presión hasta un 30[%] más elevado que los admisibles.

La conjunta aplicación de las cargas:

- Horizontales: tiro de los conductores, viento, etc.
- Verticales: pesos de cargas verticales permanentes

Lleva a que el punto de intersección de la resultante con el fondo de la fundación no se encuentre en el eje de la estructura. Si esta excentricidad supera un cierto límite, parte de la fundación se despega y el momento estabilizante se realiza con solo el aporte de la parte de la fundación que ha quedado en contacto con el terreno. Las tensiones sobre el terreno se distribuyen linealmente, pero la superficie útil del fondo tiene una forma que puede no ser sencilla. Sin embargo, las tablas de Pohl permiten realizar el cálculo con independencia de la forma de dicha superficie.

Los momentos de las fuerzas actuantes se toman con respecto al eje de giro del conjunto estructura-fundación, que en este caso está ubicado en el fondo de la fundación o platea (profundidad  $t$ ).

Llamando  $M_{vx}$  al vector momento de dirección  $x - x$ :

$$M_{vx} = F_x * (h_{libre} + t)$$

$F_x$  es la fuerza resultante considerada en un eje  $x - x$

$t$  es la profundidad total de la fundación

Análogamente para las fuerzas actuantes en la dirección  $y - y$ :

$$M_{vy} = F_y * (h_{libre} + t)$$

$F_y$  es la fuerza resultante considerada en un eje  $y - y$

La excentricidad se calcula:

$$\frac{e}{(h + t)} = \frac{F}{G}$$

Dónde:

$e$  es la excentricidad ( $e_x$  o  $e_y$ ) según la dirección de la fuerza

$F$  es la fuerza actuante ( $F_x$  o  $F_y$ ) a la altura  $h$  del nivel del suelo

$G$  es el peso total (estructura, elementos de cabecera, conductores, fundación y tierra gravante) en caso de haber una fundación con zapatas inferior. Si la zona es inundable, debe verificarse también la estabilidad en condiciones de inundaciones, descontando de  $G$  el empuje del volumen de agua correspondiente. En [ $daN$ ].

Se tiene:

Para fuerzas según  $x - x$ :

$$e_x = \frac{M_{vy}}{G}$$

Para fuerzas según  $y - y$ :

$$e_y = \frac{M_{vx}}{G}$$

Para determinar el coeficiente de Pohl  $\mu$  deben calcularse previamente los valores:

$$\frac{e_x}{a}$$

$a$  es el lado de la base según el eje  $x - x$

$$\frac{e_y}{b}$$

$b$  es el lado de la base según el eje  $y - y$

En función de estos valores se extrae de la tabla que se encuentra en la página siguiente, el coeficiente de Pohl y se realiza el siguiente análisis:

Para valores de:

$$\frac{e_x}{a} + \frac{e_y}{b} \geq \frac{1}{6}$$

Parte del fondo de la fundación se despegará del terreno y permanece inactivo.

Los valores de la tabla por debajo de línea marcada inferior corresponden a estados de carga en los que la totalidad de la base de la fundación permanece en contacto con el terreno. Si se quiere que al menos un 50[%] del fondo de la fundación sea activo, es decir, este en contacto con el terreno, debemos mantener los valores elegidos de la tabla por debajo de la línea marcada superior.

La presión máxima es ejercida sobre el terreno por el borde de la fundación y se calcula por:

$$\sigma_{max} = \mu \times \frac{G}{S}$$

Para cualquier valor de  $\frac{e_x}{a} + \frac{e_y}{b}$

$S$  es la superficie de la base de la fundación y se expresa en  $[m^2]$

La condición de estabilidad se obtiene por:

$\sigma_{max} \leq \sigma_{adm}$  para terrenos cohesivos

$\sigma_{max} \leq 1,3 \times \sigma_{adm}$  para terrenos no cohesivos

	$e_y/a$																				
$e_y/b$	0.400	0.380	0.360	0.34	0.320	0.300	0.280	0.260	0.240	0.220	0.200	0.180	0.160	0.140	0.120	0.100	0.080	0.060	0.040	0.020	0.000
0.40	37.50	31.25	26.78	23.44	20.83	18.75	17.04	15.62	14.42	13.37	12.45	11.62	10.87	10.18	9.559	8.965	8.445	7.964	7.506	7.076	6.667
0.38	31.25	26.04	22.52	19.53	17.36	15.62	14.20	13.02	12.02	11.15	10.38	9.684	9.057	8.486	7.965	7.487	7.046	6.637	6.255	5.896	5.556
0.36	26.78	22.32	19.13	16.74	14.88	13.39	12.17	11.16	10.30	9.553	8.895	8.300	7.763	7.274	6.827	6.417	6.039	5.689	5.362	5.054	4.762
0.34	23.44	19.53	16.74	14.65	13.02	11.72	10.65	9.766	9.014	8.359	7.783	7.263	6.793	6.365	5.972	5.65	5.284	4.978	4.691	4.422	4.167
0.32	20.83	17.36	14.38	13.02	11.57	10.42	9.470	8.681	8.013	7.430	6.918	6.456	6.038	5.658	5.310	4.991	4.697	4.425	4.170	3.931	3.704
0.30	18.75	15.62	13.39	11.72	10.42	9.375	8.523	7.812	7.211	6.687	6.226	5.810	5.434	5.092	4.779	4.492	4.227	3.982	3.753	3.538	3.333
0.28	17.04	14.20	12.17	10.65	9.470	8.523	7.748	7.102	6.556	6.079	5.660	5.282	4.940	4.629	4.345	4.084	3.843	3.620	3.412	3.216	3.030
0.26	15.62	13.02	11.16	9.766	8.681	7.812	7.102	6.510	6.009	5.573	5.189	4.842	4.528	4.243	3.983	3.743	3.523	3.318	3.128	2.948	2.778
0.24	14.42	12.02	10.30	9.014	8.013	7.211	6.559	6.009	5.547	5.145	4.789	4.470	4.180	3.917	3.676	3.455	3.252	3.063	2.887	2.721	2.564
0.22	13.37	11.10	9.553	8.359	7.430	6.687	6.079	5.573	5.145	4.773	4.444	4.147	3.880	3.636	3.413	3.202	3.019	2.844	2.681	2.527	2.381
0.20	12.45	10.38	8.895	7.783	6.918	6.226	5.660	5.189	4.789	4.444	4.137	3.863	3.615	3.389	3.183	2.993	2.818	2.655	2.502	2.359	2.222
0.18	11.62	9.684	8.300	7.263	6.456	5.810	5.282	4.842	4.470	4.147	3.863	3.608	3.378	3.169	2.979	2.803	2.640	2.488	2.346	2.211	2.083
0.16	10.87	9.057	7.763	6.793	6.038	5.434	4.940	4.528	4.180	3.880	3.615	3.378	3.165	2.972	2.795	2.632	2.481	2.340	2.207	2.082	1.960
0.14	10.18	8.486	7.274	6.365	5.658	5.092	4.629	4.243	3.917	3.636	3.389	3.169	2.972	2.793	2.629	2.478	2.337	2.206	2.081	1.960	1.840
0.12	9.558	7.965	6.827	5.974	5.310	4.779	4.345	3.983	3.676	3.413	3.183	2.979	2.795	2.629	2.477	2.336	2.205	2.080	1.960	1.840	1.720
0.10	8.958	7.487	6.417	5.615	4.991	4.492	4.084	3.743	3.455	3.202	2.993	2.803	2.632	2.478	2.336	2.204	2.080	1.960	1.840	1.720	1.600
0.08	8.455	7.046	6.039	5.284	4.697	4.227	3.843	3.523	3.252	3.019	2.818	2.640	2.481	2.337	2.205	2.080	1.960	1.840	1.720	1.600	1.480
0.06	7.964	6.637	5.689	4.978	4.425	3.982	3.620	3.318	3.063	2.844	2.655	2.488	2.340	2.206	2.080	1.960	1.840	1.720	1.600	1.480	1.360
0.04	7.506	6.255	5.362	4.691	4.170	3.753	3.412	3.128	2.887	2.681	2.502	2.346	2.207	2.081	1.960	1.840	1.720	1.600	1.480	1.360	1.240
0.02	7.076	5.896	5.054	4.422	3.931	3.538	3.216	2.948	2.721	2.527	2.359	2.211	2.082	1.960	1.840	1.720	1.600	1.480	1.360	1.240	1.120
0.00	6.667	5.556	4.762	4.167	3.704	3.333	3.030	2.778	2.564	2.381	2.222	2.083	1.960	1.840	1.720	1.600	1.480	1.360	1.240	1.120	1.000



## Cálculos

### Fundaciones para estructuras de suspensión, S-13[m]

Peso total de la estructura

$$G_t = 1224,71[\text{daN}]$$

Altura del poste

$$h = 13 [\text{m}]$$

Diámetro del poste en la cima

$$d = 0,17 [\text{m}]$$

Diámetro del poste en la base

$$D = d + 1,5 * \left[ \frac{\text{cm}}{\text{m}} \right] * h = 0,37 [\text{m}]$$

Características de la base

Sección transversal cuadrada, con vértices en dirección del tiro

Profundidad de la base

$$t = 1,6 [\text{m}]$$

Lados de la base

$$a = 0,9 [\text{m}]$$

Tipo de terreno

Tipo C “arcilla medio dura seca”

Coefficiente de compresibilidad

$$C_b = 6 \left[ \frac{\text{daN}}{\text{cm}^3} \right]$$

Corrección por profundidad

$$C_{b'} = \frac{t * C_b}{2[\text{m}]} = 4,8 \left[ \frac{\text{daN}}{\text{cm}^3} \right]$$

$$C_t = 4,8 \left[ \frac{\text{daN}}{\text{cm}^3} \right]$$

Coefficiente de fricción entre el terreno y la fundación

$$\mu = 0,4$$

Tiro máximo

### Factor de carga estructural

$$K_E = 1$$

### Factor de carga por colapso

$$K_C = 1$$

### Factor global de resistencia

$$\varphi = 0,85$$

### Tiro de la hipótesis

$$S_u = 286,81 \text{ [daN]}$$

$$T_{\max} = \frac{K_E * K_C * S_u}{\varphi} = 337,42 \text{ [daN]}$$

Volumen de hormigón de la fundación

$$d_{\text{medio}} = \frac{D + (d + 1,5 * \frac{\text{cm}}{\text{m}} * h * 0,9)}{2} = 0,36 \text{ [m]}$$

$$V_H = t * a^2 - \frac{\Pi * d_{\text{medio}}^2}{4} * 0,1 * h = 1,17 \text{ [m}^3\text{]}$$

Peso de hormigón

$$G_H = V_H * 2200 \left[ \frac{\text{daN}}{\text{m}^3} \right]$$

$$G_H = 2567,86 \text{ [daN]}$$

$$G = G_H + G_t = 3792,57 \text{ [daN]}$$

### Momento volcador

$$M_V = T_{\max} * \left( h * 0,9 + \frac{2}{3} * t \right)$$

$$M_V = 4307,78 \text{ [daNm]}$$

Para el encastramiento se cumple que:

$$\frac{4,5 * \mu * G}{a * t^2 * C_t} < 0,01$$

Por lo tanto, el momento de encastramiento queda definido por la ecuación siguiente:

$$M_s = \frac{1,414 * a * t^3}{36} * C_t * \tan(\alpha)$$

Donde:  $\tan(\alpha) = 0,01$

$$M_s = 6930,43 \text{ [daNm]}$$

Para el de fondo se cumple que:

$$\frac{1,41 * G}{t^3 * C_{b'}} < 0,01$$

**Por lo tanto el momento de fondo queda determinado por:**

$$M_b = G * \left( \frac{\sqrt{2}}{2} * a - \frac{1}{2} * \sqrt[3]{\frac{3 * G}{C_{b'} * \tan(\alpha)}} \right)$$

$$M_b = 1239,64 \text{ [daNm]}$$

**Verificación**

$$M_V \leq M_s + M_b$$

$$4307,78 \text{ [daNm]} \leq 8170,08 \text{ [daNm]}$$

**Verifica una base de 1,6 [m] de profundidad por 0,9 [m] de lado**

## Fundaciones para estructuras de suspensión, S+1-14[m]

Peso total de la estructura

$$G_t = 1382,71 \text{ [daN]}$$

Altura del poste

$$h = 14 \text{ [m]}$$

Diámetro del poste en la cima

$$d = 0,17 \text{ [m]}$$

Diámetro del poste en la base

$$D = d + 1,5 * \left[ \frac{\text{cm}}{\text{m}} \right] * h = 0,38 \text{ [m]}$$

Características de la base

Sección transversal cuadrada, con vértices en dirección del tiro

Altura de la base

$$t = 1,6 \text{ [m]}$$

Lados de la base

$$a = 0,90 \text{ [m]}$$

Tipo de terreno

Tipo C "arcilla medio dura seca"

Coefficiente de compresibilidad

$$C_b = 6 \left[ \frac{\text{daN}}{\text{cm}^3} \right]$$

Corrección por profundidad

$$C_{b'} = \frac{t * C_b}{2 \text{ [m]}} = 4,8 \left[ \frac{\text{daN}}{\text{cm}^3} \right]$$

$$C_t = 4,8 \left[ \frac{\text{daN}}{\text{cm}^3} \right]$$

Coefficiente de fricción entre el terreno y la fundación

$$\mu = 0,4$$

Tiro máximo

Factor de carga estructural

$$K_E = 1$$

Factor de carga por colapso

$$K_C = 1$$

Factor global de resistencia

$$\varphi = 0,85$$

Tiro de la hipótesis

$$S_u = 289,04 \text{ [daN]}$$

$$T_{max} = \frac{K_E * K_C * S_u}{\varphi} = 340,05 \text{ [daN]}$$

Volumen de hormigón de la fundación

$$d_{medio} = \frac{D + (d + 1,5 * \frac{cm}{m} * h * 0,9)}{2} = 0,37 \text{ [m]}$$

$$V_H = t * a^2 - \frac{\Pi * d_{medio}^2}{4} * 0,1 * h = 1,15 \text{ [m}^3\text{]}$$

Peso de hormigón

$$G_H = V_H * 2200 \left[ \frac{daN}{m^3} \right]$$

$$G_H = 2521,10 \text{ [daN]}$$

$$G = G_H + G_t = 3903,81 \text{ [daN]}$$

**Momento volcador**

$$M_V = T_{max} * \left( h * 0,9 + \frac{2}{3} * t \right)$$

$$M_V = 4647,34 \text{ [daNm]}$$

Para el encastramiento se cumple que:

$$\frac{4,5 * \mu * G}{a * t^2 * C_t} < 0,01$$

**Por lo tanto, el momento de encastramiento queda determinado por:**

$$M_s = \frac{1,414 * a * t^3}{36} * C_t * \tan(\alpha)$$

$$M_s = 6950,09 \text{ [daNm]}$$

Para el fondo se cumple que:

$$\frac{1,41 * G}{t^3 * C_{b'}} < 0,01$$

Por lo tanto, el momento de fondo queda determinado por:

$$M_b = G * \left( \frac{\sqrt{2}}{2} * a - \frac{1}{2} * \sqrt[3]{\frac{3 * G}{C_{b'} * \tan(\alpha)}} \right)$$

$$M_b = 1264,31 \text{ [daNm]}$$

**Verificación**

$$M_V \leq M_s + M_b$$

$$4647,34 \text{ [daNm]} \leq 8214,40 \text{ [daNm]}$$

**Verifica una base de 1,6 [m] de profundidad por 0,90 [m] de lado**

## Fundaciones para estructuras de suspensión, S+2-15[m]

Peso total de la estructura

$$G_t = 1552,71[\text{daN}]$$

Altura del poste

$$h = 15 [\text{m}]$$

Diámetro del poste en la cima

$$d = 0,17 [\text{m}]$$

Diámetro del poste en la base

$$D = d + 1,5 * \left[ \frac{\text{cm}}{\text{m}} \right] * h = 0,40 [\text{m}]$$

Características de la base

Sección transversal cuadrada, con vértices en dirección del tiro

Profundidad de la base

$$t = 1,6 [\text{m}]$$

Lados de la base

$$a = 0,9 [\text{m}]$$

Tipo de terreno

Tipo C “arcilla medio dura seca”

Coefficiente de compresibilidad

$$C_b = 6 \left[ \frac{\text{daN}}{\text{cm}^3} \right]$$

Corrección por profundidad

$$C_{b'} = \frac{t * C_b}{2[\text{m}]} = 4,8 \left[ \frac{\text{daN}}{\text{cm}^3} \right]$$

$$C_t = 4,8 \left[ \frac{\text{daN}}{\text{cm}^3} \right]$$

Coefficiente de fricción entre el terreno y la fundación

$$\mu = 0,4$$

Tiro máximo

Factor de carga estructural

$$K_E = 1$$

Factor de carga por colapso

$$K_C = 1$$

Factor global de resistencia

$$\varphi = 0,85$$

Tiro de la hipótesis

$$S_u = 292,26 \text{ [daN]}$$

$$T_{\max} = \frac{K_E * K_C * S_u}{\varphi} = 343,84 \text{ [daN]}$$

Volumen de hormigón de la fundación

$$d_{\text{medio}} = \frac{D + (d + 1,5 * \frac{\text{cm}}{\text{m}} * h * 0,9)}{2} = 0,38 \text{ [m]}$$

$$V_H = t * a^2 - \frac{\Pi * d_{\text{medio}}^2}{4} * 0,1 * h = 1,12 \text{ [m}^3\text{]}$$

Peso de hormigón

$$G_H = V_H * 2200 \left[ \frac{\text{daN}}{\text{m}^3} \right]$$

$$G_H = 2469,71 \text{ [daN]}$$

$$G = G_H + G_t = 4022,42 \text{ [daN]}$$

**Momento volcador**

$$M_V = T_{\max} * \left( h * 0,9 + \frac{2}{3} * t \right)$$

$$M_V = 5008,61 \text{ [daNm]}$$

Para el encastramiento se cumple que:

$$\frac{4,5 * \mu * G}{a * t^2 * C_t} < 0,01$$

**Por lo tanto, el momento de encastramiento queda determinado por:**

$$M_s = \frac{1,414 * a * t^3}{36} * C_t * \tan(\alpha)$$

Donde  $\tan(\alpha) = 0,01$

$$M_s = 6950,09 \text{ [daNm]}$$

Para el fondo se cumple que:

$$\frac{1,414 * G}{a^3 * C_{b'}} < 0,01$$

**Entonces el momento de fondo queda determinado por:**

$$M_b = G * \left( \frac{\sqrt{2}}{2} * a - \frac{1}{2} * \sqrt[3]{\frac{3 * G}{C_{b'} * \tan(\alpha)}} \right)$$

Donde  $\tan(\alpha) = 0,01$

$$M_b = 1290,12 \text{ [daNm]}$$

**Verificación**

$$M_v \leq M_s + M_b$$

$$5008,61 \text{ [daNm]} \leq 8240,21 \text{ [daNm]}$$

**Verifica una base de 1,6 [m] de profundidad por 0,9 [m] de lado**

## Fundaciones para estructuras terminales T-13[m]

Peso total de la estructura

$$G_t = 2067,10 \text{ [daN]}$$

Altura del poste

$$h = 13 \text{ [m]}$$

Diámetro del poste en la cima

$$d = 0,26 \text{ [m]}$$

Diámetro del poste en la base

$$D = d + 1,5 * \left[ \frac{\text{cm}}{\text{m}} \right] * h = 0,46 \text{ [m]}$$

Características de la base

Sección transversal cuadrada, con vértices en dirección del tiro

Profundidad de la base

$$t = 1,90 \text{ [m]}$$

Lados de la base

$$a = 1,5 \text{ [m]}$$

### Tipo de terreno

Tipo C “arcilla medio dura seca”

Coefficiente de compresibilidad

$$C_b = 6 \left[ \frac{\text{daN}}{\text{cm}^3} \right]$$

Corrección por profundidad

$$C_{b'} = \frac{t * C_b}{2[\text{m}]} = 5,7 \left[ \frac{\text{daN}}{\text{cm}^3} \right]$$

$$C_t = 5,7 \left[ \frac{\text{daN}}{\text{cm}^3} \right]$$

Coefficiente de fricción entre el terreno y la fundación

$$\mu = 0,4$$

### Tiro máximo

Factor de carga estructural

$$K_E = 1$$

Factor de carga por colapso

$$K_C = 1$$

Factor global de resistencia

$$\varphi = 0,85$$

Tiro de la hipótesis

$$S_u = 1479,07 \text{ [daN]}$$

$$T_{\max} = \frac{K_E * K_C * S_u}{\varphi} = 1740,08 \text{ [daN]}$$

Volumen de hormigón de la fundación

$$d_{\text{medio}} = \frac{D + (d + 1,5 * \frac{\text{cm}}{\text{m}} * h * 0,9)}{2} = 0,45 \text{ [m]}$$

$$V_H = t * a^2 - \frac{\Pi * d_{\text{medio}}^2}{4} * 0,1 * h = 4,07 \text{ [m}^3\text{]}$$

Peso de hormigón

$$G_H = V_H * 2200 \left[ \frac{\text{daN}}{\text{m}^3} \right]$$

$$G_H = 8959,91 \text{ [daN]}$$

$$G = G_H + G_t = 11027,01 \text{ [daN]}$$

**Momento volcador**

$$M_V = T_{\max} * \left( h + \frac{2}{3} * t \right)$$

$$M_V = 22563,05 \text{ [daNm]}$$

Para el encastramiento se cumple que:

$$\frac{4,5 * \mu * G}{a * t^2 * C_t} < 0,01$$

**Por lo tanto, el momento de encastramiento queda determinado:**

$$M_s = \frac{1,414 * a * t^3}{36} * C_t * \tan(\alpha)$$

Donde  $\tan(\alpha) = 0,01$

$$M_s = 23034,24 \text{ [daNm]}$$

Para el fondo se verifica que:

$$\frac{1,41 * G}{t^3 * C_{b'}} < 0,01$$

**Por lo tanto, el momento de fondo queda determinado por:**

$$M_b = G * \left( \frac{\sqrt{2}}{2} * a - \frac{1}{2} * \sqrt[3]{\frac{3 * G}{C_{b'} * \tan(\alpha)}} \right)$$

Donde  $\tan(\alpha) = 0,01$

$$M_b = 7095,15 \text{ [daNm]}$$

**Verificación**

$$M_v \leq M_s + M_b$$

$$22563,05 \text{ [daNm]} \leq 30129,39 \text{ [daNm]}$$

**Verifica una base de 1,90 [m] de profundidad por 1,5 [m] de lado**

## Fundaciones para estructuras de suspensión angular de 8°, SA-13[m]

Peso total de la estructura

$$G_t = 1224,71 \text{ [daN]}$$

Altura del poste

$$h = 13 \text{ [m]}$$

Diámetro del poste en la cima

$$d = 0,17 \text{ [m]}$$

Diámetro del poste en la base

$$D = d + 1,5 * \left[ \frac{\text{cm}}{\text{m}} \right] * h = 0,37 \text{ [m]}$$

Características de la Base

Sección transversal cuadrada, con vértices en dirección del tiro

*Profundidad de la base*

$$t = 1,6 \text{ [m]}$$

Lados de la base

$$a = 0,90 \text{ [m]}$$

Tipo de terreno

Tipo C “arcilla medio dura seca”

Coefficiente de compresibilidad

$$C_b = 6 \left[ \frac{\text{daN}}{\text{cm}^3} \right]$$

Corrección por profundidad

$$C_{b'} = \frac{t * C_b}{2[\text{m}]} = 4,8 \left[ \frac{\text{daN}}{\text{cm}^3} \right]$$

$$C_t = 4,8 \left[ \frac{\text{daN}}{\text{cm}^3} \right]$$

Coefficiente de fricción entre el terreno y la fundación

$$\mu = 0,4$$

**Tiro máximo**

Factor de carga estructural

$$K_E = 1$$

Factor de carga por colapso

$$K_C = 1$$

Factor global de resistencia

$$\varphi = 0,85$$

Tiro de la hipótesis

$$S_u = 321,70 \text{ [daN]}$$

$$T_{\max} = \frac{K_E * K_C * S_u}{\varphi} = 378,47 \text{ [daN]}$$

Volumen de hormigón de la fundación

$$d_{\text{medio}} = \frac{D + (d + 1,5 * \frac{\text{cm}}{\text{m}} * h * 0,9)}{2} = 0,36 \text{ [m]}$$

$$V_H = t * a^2 - \frac{\Pi * d_{\text{medio}}^2}{4} * 0,1 * h = 1,17 \text{ [m}^3\text{]}$$

Peso de hormigón

$$G_H = V_H * 2200 \left[ \frac{\text{daN}}{\text{m}^3} \right]$$

$$G_H = 2567,86 \text{ [daN]}$$

$$G = G_H + G_t = 3792,57 \text{ [daN]}$$

**Momento volcador**

$$M_V = T_{\max} * \left( h + \frac{2}{3} * t \right)$$

$$M_V = 4831,76 \text{ [daNm]}$$

Para el encastramiento se cumple que

$$\frac{4,5 * \mu * G}{a * t^2 * C_t} < 0,01$$

**Por lo tanto, el momento de encastramiento queda determinado por:**

$$M_s = \frac{1,414 * a * t^3}{36} * C_t * \tan(\alpha)$$

Donde  $\tan(\alpha) = 0,01$

$$M_s = 6950,09 \text{ [daNm]}$$

Para el fondo, se cumple que:

$$\frac{1,41 * G}{t^3 * C_{b, \nu}} < 0,01$$

**Por lo tanto el momento de fondo queda determinado por:**

$$M_b = G * \left( \frac{\sqrt{2}}{2} * a - \frac{1}{2} * \sqrt[3]{\frac{3 * G}{C_{b, \nu} * \tan(\alpha)}} \right)$$

Donde  $\tan(\alpha) = 0,01$

$$M_b = 1239,64 \text{ [daNm]}$$

**Verificación**

$$M_V \leq M_s + M_b$$

$$4831,76 \text{ [daNm]} \leq 8189,74 \text{ [daNm]}$$

**Verifica una base de 1,6 [m] de profundidad por 0,9 [m] de lado**

## Fundaciones para estructuras de retención angular a 90°, RA-13[m]

Peso total de la estructura

$$G_t = 1999,71 \text{ [daN]}$$

Altura del poste

$$h = 13 \text{ [m]}$$

Diámetro del poste en la cima

$$d = 0,26 \text{ [m]}$$

Diámetro del poste en la base

$$D = d + 1,5 * \left[ \frac{\text{cm}}{\text{m}} \right] * h = 0,46 \text{ [m]}$$

Características de la base

Sección transversal cuadrada, con vértices en dirección del tiro

Profundidad de la base

$$t = 2 \text{ [m]}$$

Lados de la base

$$a = 1,5 \text{ [m]}$$

Tipo de terreno

Tipo C "arcilla medio dura seca"

Coefficiente de compresibilidad

$$C_b = 6 \left[ \frac{\text{daN}}{\text{cm}^3} \right]$$

Corrección por profundidad

$$C_{b'} = \frac{t * C_b}{2[\text{m}]} = 6 \left[ \frac{\text{daN}}{\text{cm}^3} \right]$$

$$C_t = 6 \left[ \frac{\text{daN}}{\text{cm}^3} \right]$$

Coefficiente de fricción entre el terreno y la fundación

$$\mu = 0,4$$

**Tiro máximo**

Factor de carga estructural

$$K_E = 1$$

Factor de carga por colapso

$$K_C = 1$$

Factor global de resistencia

$$\varphi = 0,85$$

Tiro de la hipótesis

$$S_u = 2031,40 \text{ [daN]}$$

$$T_{\max} = \frac{K_E * K_C * S_u}{\varphi} = 2389,88 \text{ [daN]}$$

Volumen de hormigón de la fundación

$$d_{\text{medio}} = \frac{D + (d + 1,5 * \frac{\text{cm}}{\text{m}} * h * 0,9)}{2} = 0,45 \text{ [m]}$$

$$V_H = t * a^2 - \frac{\Pi * d_{\text{medio}}^2}{4} * 0,1 * h = 4,30 \text{ [m}^3\text{]}$$

Peso de hormigón

$$G_H = V_H * 2200 \left[ \frac{\text{daN}}{\text{m}^3} \right]$$

$$G_H = 9454,91 \text{ [daN]}$$

$$G = G_H + G_t = 11454,62 \text{ [daN]}$$

**Momento volcador**

$$M_V = T_{\max} * \left( h + \frac{2}{3} * t \right)$$

$$M_V = 31148,16 \text{ [daNm]}$$

Para el encastramiento se cumple que:

$$\frac{4,5 * \mu * G}{a * t^2 * C_t} < 0,01$$

**Por lo tanto, el momento de encastramiento queda determinado:**

$$M_s = \frac{1,414 * a * t^3}{36} * C_t * \tan(\alpha)$$

Donde  $\tan(\alpha) = 0,01$

$$M_s = 28280,00 \text{ [daNm]}$$

Para el fondo, se cumple que:

$$\frac{1,41 * G}{t^3 * C_{b'}} < 0,01$$

**Por lo tanto, el momento de fondo queda determinado por:**

$$M_b = G * \left( \frac{\sqrt{2}}{2} * a - \frac{1}{2} * \sqrt[3]{\frac{3 * G}{C_{b'} * \tan(\alpha)}} \right)$$

Donde  $\tan(\alpha) = 0,01$

$$M_b = 7391,34 \text{ [daNm]}$$

**Verificación**

$$M_v \leq M_s + M_b$$

$$31148,16 \text{ [daNm]} \leq 35671,34 \text{ [daNm]}$$

**Verifica una Base de 2 [m] de profundidad por 1,5 [m] de lado**

## Fundaciones para estructuras de retención angular a 15°, RA-13[m]

Peso total de la estructura

$$G_t = 1218,71 \text{ [daN]}$$

Altura del poste

$$h = 13 \text{ [m]}$$

Diámetro del poste en la cima

$$d = 0,17 \text{ [m]}$$

Diámetro del poste en la base

$$D = d + 1,5 * \left[ \frac{\text{cm}}{\text{m}} \right] * h = 0,37 \text{ [m]}$$

Características de la Base

Sección transversal cuadrada, con vértices en dirección del tiro

Altura de la base

$$t = 1,6 \text{ [m]}$$

Lados de la base

$$a = 1 \text{ [m]}$$

Tipo de terreno

Tipo C “arcilla medio dura seca”

Coefficiente de compresibilidad

$$C_b = 6 \left[ \frac{\text{daN}}{\text{cm}^3} \right]$$

Corrección por profundidad

$$C_{b'} = \frac{t * C_b}{2 * m} = 4,8 \left[ \frac{\text{daN}}{\text{cm}^3} \right]$$

$$C_t = 4,8 \left[ \frac{\text{daN}}{\text{cm}^3} \right]$$

Coefficiente de fricción entre el terreno y la fundación

$$\mu = 0,4$$

**Tiro máximo**

Factor de carga estructural

$$K_E = 1$$

Factor de carga por colapso

$$K_C = 1$$

Factor global de resistencia

$$\varphi = 0,85$$

Tiro de la hipótesis

$$S_u = 535,62 \text{ [daN]}$$

$$T_{\max} = \frac{K_E * K_C * S_u}{\varphi} = 630,14 \text{ [daN]}$$

Volumen de hormigón de la fundación

$$d_{\text{medio}} = \frac{D + (d + 1,5 * \frac{\text{cm}}{\text{m}} * h * 0,9)}{2} = 0,36 \text{ [m]}$$

$$V_H = t * a^2 - \frac{\Pi * d_{\text{medio}}^2}{4} * 0,1 * h = 1,47 \text{ [m}^3\text{]}$$

Peso de hormigón

$$G_H = V_H * 2200 \left[ \frac{\text{daN}}{\text{m}^3} \right]$$

$$G_H = 3236,66 \text{ [daN]}$$

$$G = G_H + G_t = 4455,37 \text{ [daN]}$$

**Momento volcador**

$$M_V = T_{\max} * \left( h + \frac{2}{3} * t \right)$$

$$M_V = 8044,78 \text{ [daNm]}$$

Para el encastramiento se cumple que:

$$\frac{4,5 * \mu * G}{a * t^2 * C_t} < 0,01$$

**Por lo tanto, el momento de encastramiento queda determinado:**

$$M_s = \frac{1,414 * a * t^3}{36} * C_t * \tan(\alpha)$$

Donde  $\tan(\alpha) = 0,01$

$$M_s = 7722,33 \text{ [daNm]}$$

Para el fondo, se cumple que:

$$\frac{1,41 * G}{t^3 * C_{b'}} < 0,01$$

**Por lo tanto, el momento de fondo queda determinado por:**

$$M_b = G * \left( \frac{\sqrt{2}}{2} * a - \frac{1}{2} * \sqrt[3]{\frac{3 * G}{C_{b'} * \tan(\alpha)}} \right)$$

Donde  $\tan(\alpha) = 0,01$

$$M_b = 1695,24 \text{ [daNm]}$$

**Verificación**

$$M_v \leq M_s + M_b$$

$$8044,78 \text{ [daNm]} \leq 9417,57 \text{ [daNm]}$$

**Verifica una Base de 1,6 [m] de profundidad por 1,0[m] de lado**

## Fundación para estructura de suspensión, S+2-15 [m] - Método Pohl

Características de la Estructura

Peso estructura completa, considerando todas las cargas verticales permanentes:

$$G_t = 1552,71 \text{ [daN]}$$

Altura total del poste

$$h = 15 \text{ [m]}$$

Diámetro del poste en la cima

$$d = 0,17 \text{ [m]}$$

Diámetro del poste en la base

$$D = d + 1,5 * \left[ \frac{\text{cm}}{\text{m}} \right] * h = 0,4 \text{ [m]}$$

Diámetro medio de la parte empotrada

$$d_{\text{med}} = \frac{(d + 1,5 * \left[ \frac{\text{cm}}{\text{m}} \right] * 0,9 * h) + D}{2}$$

$$d_{\text{med}} = 0,38 \text{ [m]}$$

Tiro máximo

Factor de carga estructural

$$K_E = 1$$

Factor de carga por colapso

$$K_C = 1$$

Factor global de resistencia

$$\varphi = 0,85$$

Tiro de la hipótesis

$$S_u = 292,26 \text{ [daN]}$$

$$T_{\text{max}} = \frac{K_E * K_C * S_u}{\varphi} = 343,84 \text{ [daN]}$$

Base

Dimensiones adoptadas

$$a_1 = 2,5 \text{ [m]}$$

$$b_2 = 2,5 [m]$$

$$h_1 = 1,1 [m]$$

$$h_2 = 0,4 [m]$$

$$h_3 = 0,15 [m]$$

$$b_1 = D + 2 * (\text{esp. p.} + \text{espacio}) = 1 [m]$$

$$a_2 = D + 2 * (\text{esp. p.} + \text{espacio}) = 1 [m]$$

Dónde:

esp.p. es el espesor de la pared de hormigón en donde se aloja el poste

espacio es la distancia que se deja en primera instancia entre el poste y la base, de manera tal que éste primero pueda ser nivelado fácilmente

$$\text{esp. p.} = 0,20 [m]$$

$$\text{espacio} = 0,10 [m]$$

(Las referencias pueden observarse en el diagrama que se encuentra al final del documento).

Volumen de hormigón de la base:

$$V_h = h_1 * b_1 * a_2 + h_2 * b_2 * a_1 + h_3 * (a_1 - a_2) * (b_2 - b_1) - \frac{\pi * d_{med}^2}{4} * 0,1 * h$$

$$V_h = 3,76 [m^3]$$

$$G = G_t + V_h * 2200 \left[ \frac{daN}{m^3} \right]$$

$$G = 9829,80 [daN]$$

Momento de vuelco

En el eje  $x - x$

$$M_{vx} = T_{max} * (h_1 + h_2 + h_3 + 0,9 * h)$$

$$M_{vx} = 5209,18 [daNm]$$

En el eje  $y - y$

$$M_{vy} = 0 [daNm]$$

Excentricidades:

$$e_x = \frac{M_{vy}}{G} = 0 \text{ [m]}$$

$$e_y = \frac{M_{vx}}{G} = 0,591 \text{ [m]}$$

$$\frac{e_x}{a_1} = 0$$

$$\frac{e_y}{b_2} = 0,236$$

Se cumple que:

$$\frac{e_x}{a_1} + \frac{e_y}{b_2} \geq \frac{1}{6}$$

(Lo que indica que parte del fondo de la base se despega del terreno y permanece inactivo)

Verificación de la presión máxima

La presión admisible por el terreno se adopta en:

$$\sigma_{adm} = 0,5 \left[ \frac{daN}{cm^2} \right]$$

De la tabla de coeficientes  $\mu$ , interpolando se obtiene:

$$\mu = 2,30$$

La presión máxima que ejercerá la estructura completa sobre el terreno es:

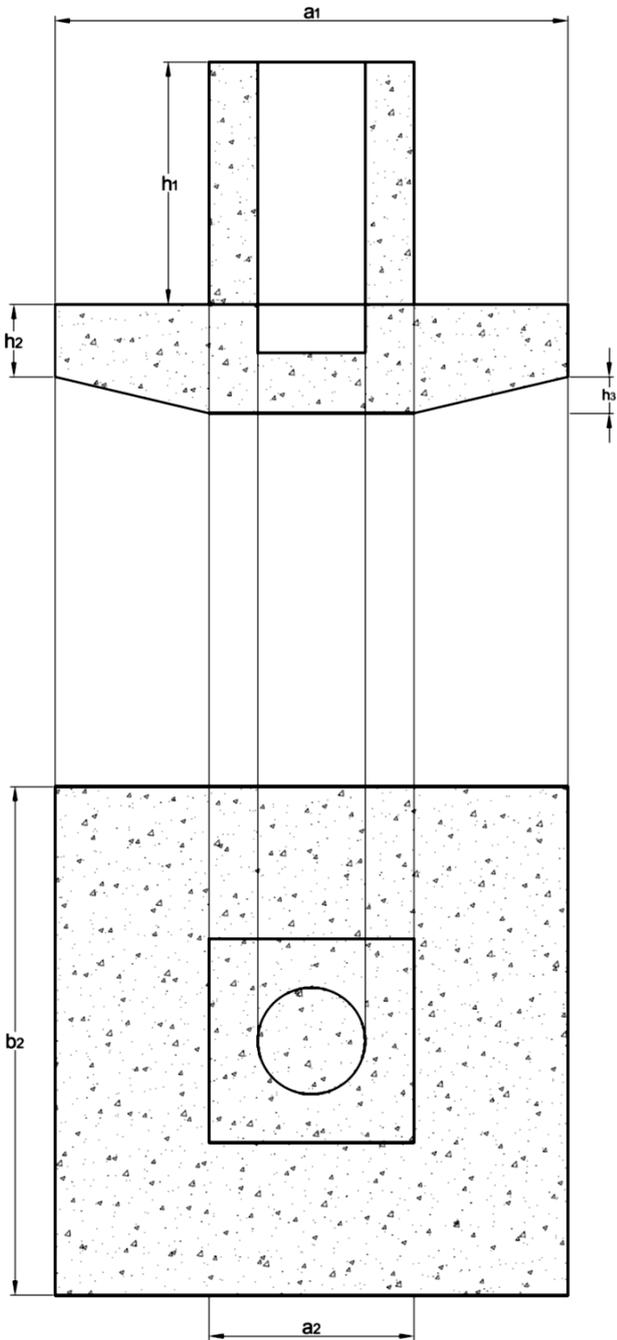
$$\sigma_{max} = \mu * \frac{G}{a_1 * b_2}$$

$$\sigma_{max} = 0,19 \left[ \frac{daN}{cm^2} \right]$$

Luego se verifica que:

$$\sigma_{max} < \sigma_{adm}$$

**La base con las dimensiones adoptadas verifica**



**Proyecto Final**

# Capítulo 7 - Selección de Descargadores



**Mariano Alonso**

Ingeniería Eléctrica

Universidad Tecnológica Nacional

Facultad Regional Concordia

## Tabla de Contenido

Introducción .....	2
Determinación de la tensión máxima de la instalación .....	2
Factor de puesta a tierra ( $C_e$ ).....	2
Tensión máxima de operación continua ( $U_c$ ).....	3
Tensión nominal del descargador ( $U_r$ ).....	3
Factor de sobrecarga temporaria ( $T_r$ ).....	4
Nivel básico de aislación ( $NBA$ ) .....	5
Ubicación del descargador .....	6

## Introducción

Puesto que las líneas del proyecto presentan tramos subterráneos y aéreos, se producen cambios de impedancias, es por ello que es conveniente la colocación de descargadores de sobretensiones en esos puntos con el fin de proteger la aislación de los cables ante eventuales sobretensiones

Para realizar el cálculo de los descargadores necesarios en el proyecto se utilizó el método brindado en la cátedra “Generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica” regido por las normas IEC 60099 e IEC 60071, como así también información provista por el catálogo del fabricante de los mismos.

## Determinación de la tensión máxima de la instalación

$$U_{max} = 1,05 * U_L$$

$$U_{max} = 1,05 * 33 \text{ kV} = 34,65 \text{ [kV]}$$

Se define el coeficiente de falla a tierra. Valor dado por la fórmula:

$$K_e = \frac{U_{f0}}{U_f} = \frac{27,00 \text{ [kV]}}{20,00 \text{ [kV]}} = 1,35$$

$K_e$  es el coeficiente de puesta a tierra

$U_{f0}$  es la mayor tensión en valor eficaz a la frecuencia de la red entre una fase sana y tierra, que puede producirse en el lugar para el cual se determina el coeficiente cuando una o las restantes fases fallan a tierra, independientemente del lugar donde ocurre la falla, en [kV]; en este caso se considerará menor al 35[%] por exceso de la tensión máxima supuesta

$U_f$  es la tensión eficaz máxima entre fase y tierra a la frecuencia de la red, en el lugar para el cual se determina el coeficiente si no existiera la falla, en [kV]

## Factor de puesta a tierra ( $C_e$ )

Según las características de la instalación, se define un factor de puesta a tierra  $C_e$  que su valor depende del tipo de neutro de la red. Para ello se define red con neutro a tierra.

Red con neutro a tierra: es una red cuyo punto neutro está unido a tierra, ya sea directamente o mediante una resistencia o reactancia de valor suficientemente pequeño para

reducir las oscilaciones transitorias de tensión y dejar pasar una corriente suficiente para la protección selectiva de tierra. Se clasifican en redes con neutros puestos efectivamente a tierra y redes con neutros no puestos efectivamente a tierra.

Debe verificarse que:  $C_e > K_e$

Donde  $C_e = 1,4$  en el caso de que el sistema esté rígidamente puesto a tierra (es lo que se cumple en este caso); y  $C_e = 1,73$  para el caso en el que el neutro esté aislado.

Esto significa que para admitir que el sistema está rígidamente puesto a tierra, se tolera hasta un 40[%] de sobretensión durante la falla.

En el caso de este proyecto, esta inecuación se cumple, por lo tanto se continúa con los cálculos.

### Tensión máxima de operación continua ( $U_c$ )

Se define la tensión máxima de operación continua  $U_c$

$$U_c = \frac{U_{max}}{\sqrt{3}} = \frac{34,65 [kV]}{\sqrt{3}} = 20,00 [kV]$$

A partir de este valor se procede a seleccionar el descargador adecuado, si se selecciona un descargador con un valor menor a éste, ocurrirá que el aparato drenará corriente a tierra en forma permanente (efecto no deseado). Por lo tanto, se debe adoptar un valor superior a  $U_c$ .

La tensión máxima de funcionamiento o tensión de operación continua  $U_c$ , a menudo abreviada  $COV$ , es el valor de tensión eficaz designado como admisible que al ser aplicado continuamente entre los terminales del descargador no debe generar su actuación. La corriente que fluye a través del mismo sometido a la tensión  $U_c$  es predominantemente capacitiva con una amplitud aproximada de 1 [mA] de pico.

### Tensión nominal del descargador ( $U_r$ )

Es igual a:  $U_r = 1,25 * U_c$  (para el caso de neutro a tierra)

$$U_r = 1,25 * 20,00 [kV] = 25 [kV]$$

El valor 1,25 es empírico y funciona, independiente del fabricante.

Es el valor de tensión máximo esperado por el sistema, este depende de si es un sistema con neutro rígido a tierra o aislado. Se define como el valor dado para una operación de parámetros nominales durante 10 [s]. Si la sobretensión es superior a este valor, el descargador no lo soportará por el mismo tiempo, sino por uno menor según la característica tensión-tiempo del mismo. Con ello se define el factor de sobrecarga temporaria.

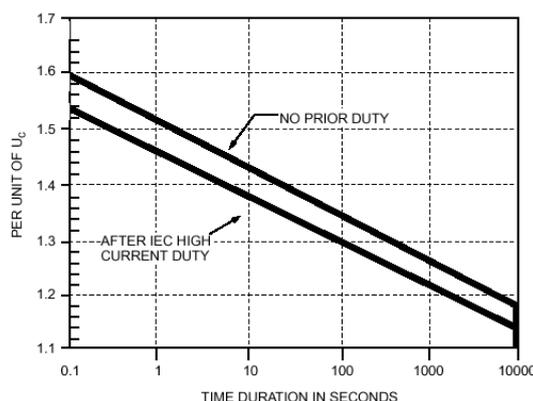
### Factor de sobrecarga temporaria ( $T_r$ )

Primero es necesario definir las sobretensiones temporarias ( $TOV$ ).

Éstas, a diferencia de las sobretensiones de descarga, son sobretensiones oscilatorias de relativamente larga duración y que no son drenadas a tierra, o que sólo lo son en forma tenue. El rango de frecuencia de las  $TOV$  varía desde unos pocos  $Hz$  a varios cientos y con duraciones de algunos milisegundos a varias horas, dependiendo del tiempo de despeje de la falla. La forma más común de aparición de las  $TOV$  ocurre sobre las fases sanas de un sistema durante una falla a tierra de una o más fases. Otras fuentes de  $TOV$  son la ferro-resonancia, recierres, etc.

Luego es necesario ya sí definir el factor de sobrecarga temporaria ( $T_r$ ).

Éste es el factor que define la capacidad del descargador para soportar las  $TOV$ . El mismo puede estimarse a partir del siguiente gráfico, e indica de forma aproximada qué sobretensión temporaria es capaz de soportar en un determinado periodo de tiempo un descargador.



Factor de sobrecarga temporaria.

Una vez obtenido los factores  $T_r$ , se realiza la siguiente verificación:

$$\frac{U_{tov}}{\frac{U_{max}}{\sqrt{3}}} > T_r$$

Donde para 1[s],  $U_{tov}$  vale:

$$U_{tov\ 1s} = \frac{U_{max} * C_e * T_{r\ 1s}}{\sqrt{3}} = \frac{34,65 [kV] * 1,4 * 1,52}{\sqrt{3}} = 42,57 [kV]$$

y para 10[s],  $U_{tov}$  vale:

$$U_{tov\ 10s} = \frac{U_{max} * C_e * T_{r\ 10s}}{\sqrt{3}} = \frac{34,65 [kV] * 1,4 * 1,44}{\sqrt{3}} = 40,33 [kV]$$

Realizando la verificación:

$$2,016 > 1,44$$

Es importante destacar que en la resistencia a las TOV, el coeficiente  $T_r$ , será un factor con el cual se eligen los descargadores, ya que los mismos pueden cumplir con el nivel de tensión requerido, pero no verificar alguna de las TOV que pueden aparecer en el sistema.

### Nivel básico de aislación (NBA)

Una vez escogido el aislador, se busca el Nivel Básico de Aislamiento (*NBA* o *BIL*). Éste es el nivel de aislación a impulso del equipo más importante de la red (comúnmente los transformadores de potencia y los reactores en aceites). Es un coeficiente de seguridad.

Se debe verificar que:

$$NBA > 1,25 * U_d$$

$$\frac{170\ kV}{1,25} > U_d \rightarrow U_d < 136 [kV]$$

Dónde:

170 [kV] es el valor de BIL del conductor subterráneo

$U_d$  es un valor de tensión residual máxima dado por el fabricante del descargador

Con estos datos se procede a verificar que:

$$U_{r\ descargador} > U_r$$

$$U_{c\ descargador} > U_c$$

$$U_{d\ descargador} < 136 [kV]$$

Por lo tanto se selecciona un descargador **DOSEN modelo PV 10/27** con las siguientes características:

$$I_N = 10 [kA]$$

$$U_r \text{ descargador} = 27 [kV]$$

$$U_c \text{ descargador} = 22,9 [kV]$$

$$U_d \text{ descargador} = 107 [kV] \text{ (Para una descarga de } 10 [kA])$$

$$U_d \text{ descargador} = 95,2 [kV] \text{ (Para una descarga de } 5 [kA])$$

$$U_d \text{ descargador} = 87,6 [kV] \text{ (Para una descarga de } 2,5 [kA])$$

$$U_d = 71,4 [kV] \text{ (Para sobretensiones de maniobra } 30 - 60 [\mu S] 500 [A])$$

### Ubicación del descargador

Si bien el descargador será colocado en la estructura en donde se realiza la acometida del cable subterráneo, se realizará el cálculo para verificar que la distancia está dentro de los valores correctos

$$L = \frac{v * \left( \frac{BIL}{1,15} - U_d \right)}{2 * S. O.}$$

Dónde:

$$v = 300 \left[ \frac{m}{\mu s} \right]$$

$S. O. = 900 [kV/\mu s]$  (es la pendiente del frente onda)

$$L = \frac{300 \left[ \frac{m}{\mu s} \right] * \left( \frac{170 kV}{1,15} - 107 [kV] \right)}{2 * 900 [kV/\mu s]} = 6,8 [m]$$

La puesta a tierra del descargador deberá ser menor de  $2 [\Omega]$  para que no se produzcan tensiones que dañen la aislación del cable.

**Proyecto Final**

**Capítulo 8 - Interruptores y Seccionadores**



**Mariano Alonso**

Ingeniería Eléctrica

Universidad Tecnológica Nacional

Facultad Regional Concordia

## Tabla de contenido

Selección de interruptores .....	2
Selección de seccionadores.....	4

## Selección de interruptores

En esta etapa se planteará el recambio de los interruptores existentes sobre las salidas 4 y 15 en la Central 2 de la CEC.

El reacondicionamiento de las líneas que se tratan en este proyecto responde al incremento de la demanda con un horizonte de más de 15 años (que puede observarse en el capítulo 11 (pp. 9-11)), proveniente de la urbanización de los sectores, el aumento de la densidad de la población y ampliaciones de emprendimientos madereros de la zona. Este incremento implica que los interruptores existentes en dicha central no responderán ante el nuevo estado de solicitudes eléctricas.

A continuación se realizarán los cálculos para la selección de los interruptores adecuados.

### Estimación de cargas a 15 años

Se estima que la demanda aumentará a 8,6 [MVA] por cada salida.

Corriente nominal:

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} * U_n} = \frac{8,6 [MVA]}{\sqrt{3} * 33 [kV]} \cong 150,5 [A]$$

Corriente dinámica de cortocircuito:

$$I''_{cc3} = 4,37 [kA]$$

La corriente dinámica de cortocircuito ha sido obtenida de estudios realizados en el sitio por parte de la empresa distribuidora y dicho valor puede respaldarse en el cálculo de corrientes de cortocircuito del capítulo 10 (pp. 9-14).

Potencia nominal mínima:

$$S_n = 8,6 [MVA]$$

Capacidad de cierre mínima:

$$S_c = \sqrt{3} * U_n * I''_{cc3} = \sqrt{3} * 33 kV * 4,37 kA = 249,78 [MVA]$$

Tensión máxima:

$$U_m = 1,05 * U_n = 1,05 * 33 [kV] = 34,65 [kV]$$

En función de las solicitudes eléctricas previstas se detallan las siguientes especificaciones:

Especificaciones de los interruptores a emplear	
Marca	<i>Schneider Electric</i>
Modelo	<i>SF2</i>
Medio aislante	<i>SF6</i>
Corriente nominal [A]	<i>630</i>
Corriente de cortocircuito [kA]	<i>31,5</i>
Corriente admisible de corta duración [kA/3 s]	<i>31,5</i>
Corriente de cresta [kA] (pico)	<i>78,75</i>
Capacidad de cierre [MVA]	<i>4501</i>
Tensión máxima [kV] (valor eficaz)	<i>36</i>
Tensión resistida de impulso atmosférico nominal [kV] (cresta)	<i>170</i>
Tensión resistida de corta duración a frecuencia industrial nominal [kV] (valor eficaz)	<i>70</i>
Frecuencia nominal [Hz]	<i>50/60</i>
Ciclos de operación	<i>O-0,3 s-CO-3 min-CO</i> <i>O-0,3 min-CO-3 min-CO</i>

Para la protección por sobrecarga, se regulará con tiempo definido instantáneo a los 150 [A], para lograr de esta forma la protección del conductor. De ser necesario se podrán regular las protecciones a gusto de los operadores tanto para la sobrecarga, como para la sobre frecuencia, sub frecuencia y niveles de tensión.

## Selección de seccionadores

Para lograr una mayor maniobrabilidad ante perturbaciones exteriores y ante la realización de tareas de mantenimiento es que se ha optado por la colocación de seccionadores en ciertos puntos de las líneas del proyecto, de esta manera se permite una alimentación desde distintos puntos no simultáneamente.

Estos seccionadores irán colocados sobre las mismas estructuras y su operación será manual.

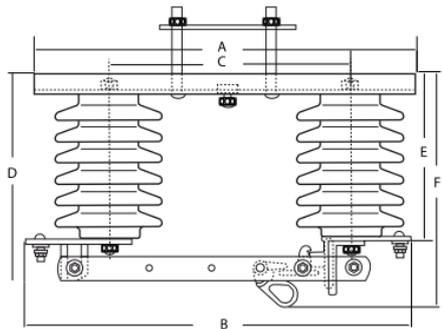
Se ha optado por la colocación de seccionadores de la marca DOSEN correspondientes al modelo UAC para 35 [kV].

# DOSEN

**SECCIONADOR UNIPOLAR A CUCHILLA, PARA MEDIA TENSIÓN**

Modelo UAC

	A	B	C	D	E	F	Embalaje
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	Unidad
15 kV	435	470	300	245	195	285	1
24 kV	540	580	380	300	250	340	1
35 kV	540	580	380	365	315	405	1



**Datos garantizados**

Denominación	Unidad	UAC
Tensión nominal	kVef	15    35
Intensidad nominal		600    600
Intensidad máx. admisible durante 1 segundo	kVef	20    20
Tensión de ensayo a frecuencia industrial durante 1 minuto		
bajo lluvia:		
Seccionador cerrado	kVef	45    75
Seccionador abierto	kVef	60    100
Tensión de ensayo a impulso, onda 1,2/50 useg, sin descarga:		
bajo lluvia:		
Seccionador cerrado	kVc	95    170
Seccionador abierto	kVc	110    190
Peso	kg	8,9    12,7

Al solicitar su compra o cotización:

Coneccionado	Nomenclatura
Morseto	M
Plano para Terminal	P
Fijación	Nomenclatura
Horizontal	H
45 grados	A
Coneccionado	Nomenclatura
Sin tope ni traba	O
Tope de recorrido	R
Traba contra cierre	CC

**Ejemplo:**  
 UAC - M - H - O = UAC confeccionado con morseto, fijación horizontal, sin tope ni traba



**Proyecto Final**

## Capítulo 9 - Línea Subterránea



**Mariano Alonso**

Ingeniería Eléctrica

Universidad Tecnológica Nacional

Facultad Regional Concordia

## Tabla de contenido

Introducción .....	2
Tipo de cable .....	2
Verificación del cable .....	2
Colocación .....	3

## Introducción

El proyecto está compuesto por dos tramos de línea subterránea.

El primer tramo se dispone en la esquina Noreste de la intersección de calles Presidente Illia y Bv. Yuquerí, interconectando ambas estructuras de retención existentes.

El motivo por el cual se ha decidido colocar este tramo de línea subterránea es eliminar el primer tramo de la línea aérea existente, evitando de este modo la traza sobre el espacio verde recreativo existente. La longitud de este tramo es de 10 [m].

El segundo tramo de línea subterránea corresponde al cruce ferroviario ubicado en calle Paula Albarracín de Sarmiento entre calles Ing. Nogueira y De los Viñedos. La longitud de este tramo es de 200 [m].

## Tipo de cable

Se han seleccionado cables unipolares de la marca IMSA para 33 [kV] de categoría I con una sección nominal en Aluminio de 70 [mm<sup>2</sup>].

## Verificación del cable

En el caso más desfavorable por el cable circularán 167 [A], siendo la máxima admisible del mismo de 192 [A] por lo tanto se puede concluir que el conductor verifica ante la corriente nominal del mismo.

También se puede concluir que el cable verifica a la caída de tensión puesto que en los puntos más alejados de las líneas en cuestión, no se alcanzan los valores de caída de tensión permitidos.

Para verificar el cable ante la corriente de cortocircuito se utilizará la siguiente ecuación:

$$I_{cc adm} = \frac{92 \left[ \frac{A * s^{1/2}}{mm^2} \right] * 70 [mm^2]}{\sqrt{0,1[s]}} = 20,36 [kA]$$

Siendo 92 un factor que engloba a los conductores de Aluminio con aislación en XLPE y 0,1 [s] es un supuesto tiempo de actuación de las protecciones.

Recordando que la máxima corriente de cortocircuito que se tiene en la central es de 5,58 [kA], se concluye que el cable verifica perfectamente.

## Colocación

Los cables unipolares mencionados se colocarán directamente enterrados en una zanja de 0,40 [m] de ancho por 1,20 [m] de profundidad. En la parte inferior de la misma se colocará una capa de no menos de 5 [cm] de arena cribada donde se apoyará el cable. El objetivo de esta capa es el de proteger la cobertura del mismo. Por encima de éste se coloca otra capa de arena cuyo espesor será de 10 [cm]. Encima de esta última, se colocará una camada de ladrillos que protege al cable de posibles excavaciones de terceros. Arriba de todo esto se coloca la tierra de la excavación de la zanja, la cual se compacta y se deja al nivel del suelo. Además se coloca una cinta que advierte la presencia del cable, esta cinta se ubica luego de la capa de ladrillos a una distancia de aproximadamente 10[cm] de los mismos.

Se colocará un cable más como reserva ante una posible falla.

El detalle del zanqueo se indica en los planos adjuntos a este documento.

La acometida de los cables se realizará mediante un caño de hierro galvanizado de 160 [mm] de diámetro y los empalmes se realizarán mediante botellas de termocontraíbles dadas por el fabricante del mismo.

Además se colocarán descargadores de sobretensiones, para proteger los cables ante sobretensiones atmosféricas. Se decidió colocar los descargadores en este punto crítico de la línea porque es donde se produce el cambio de impedancia.

El montaje del cable debe hacerse teniendo cuenta las recomendaciones que brinda el fabricante y la norma AEA95101 (Reglamentación para líneas eléctricas exteriores en general - Instalaciones subterráneas y telecomunicaciones).

**Proyecto Final**

# Capítulo 10 - Estudios Eléctricos



**Mariano Alonso**

Ingeniería Eléctrica

Universidad Tecnológica Nacional

Facultad Regional Concordia

## Tabla de contenido

Parámetros característicos de las líneas .....	3
Características del conductor .....	4
Determinación de las constantes .....	5
Determinación de las capacidades de secuencias directa e inversa .....	5
Determinación de la capacidad de secuencia homopolar .....	5
Determinación de las reactancias de secuencias directa e inversa .....	6
Determinación de la reactancia de secuencia homopolar .....	6
Impedancia característica de la línea .....	6
Potencia natural de las líneas.....	7
Potencia máxima transferible por límite térmico .....	7
Cálculo de cortocircuito en central N°2 CEC.....	8
Cálculo.....	10
Selección de bases.....	10
Obtención de los valores expresados en por unidad.....	10
Circuitos de secuencia.....	11
Determinación de potencias de cortocircuito.....	12
Determinación de corrientes de cortocircuito .....	12
Flujos de potencias y caídas de tensión .....	13
Flujo de potencia en funcionamiento normal de cada salida .....	14
Flujo de potencia con maniobra 1.....	16
Flujo de potencia con maniobra 2.....	18
Flujo de potencia con maniobra 3.....	20



Flujo de potencia con maniobra 4.....22

Flujo de potencia con maniobra 5.....24

Flujo de potencia con maniobra 6.....26

Flujo de potencia con maniobra 7.....28

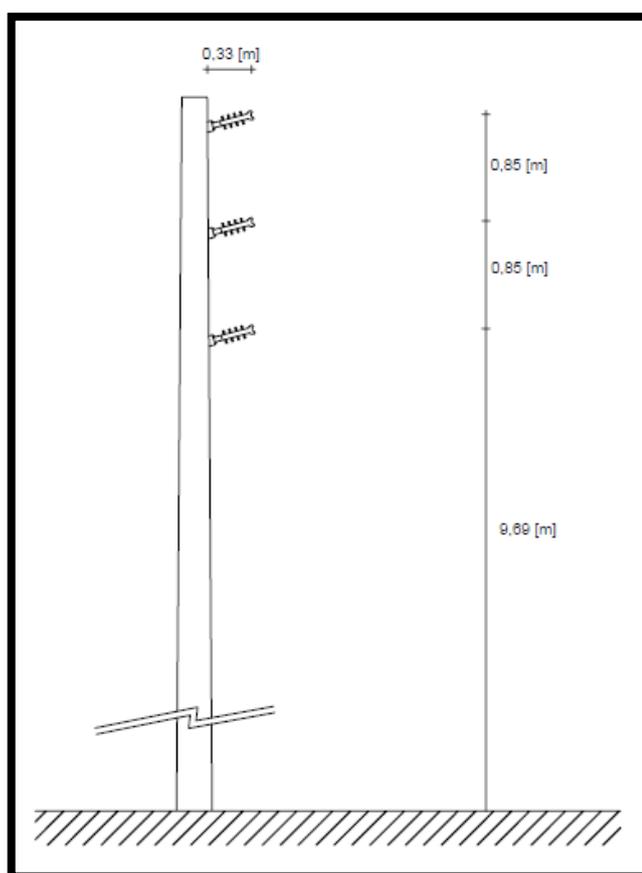


## Parámetros característicos de las líneas

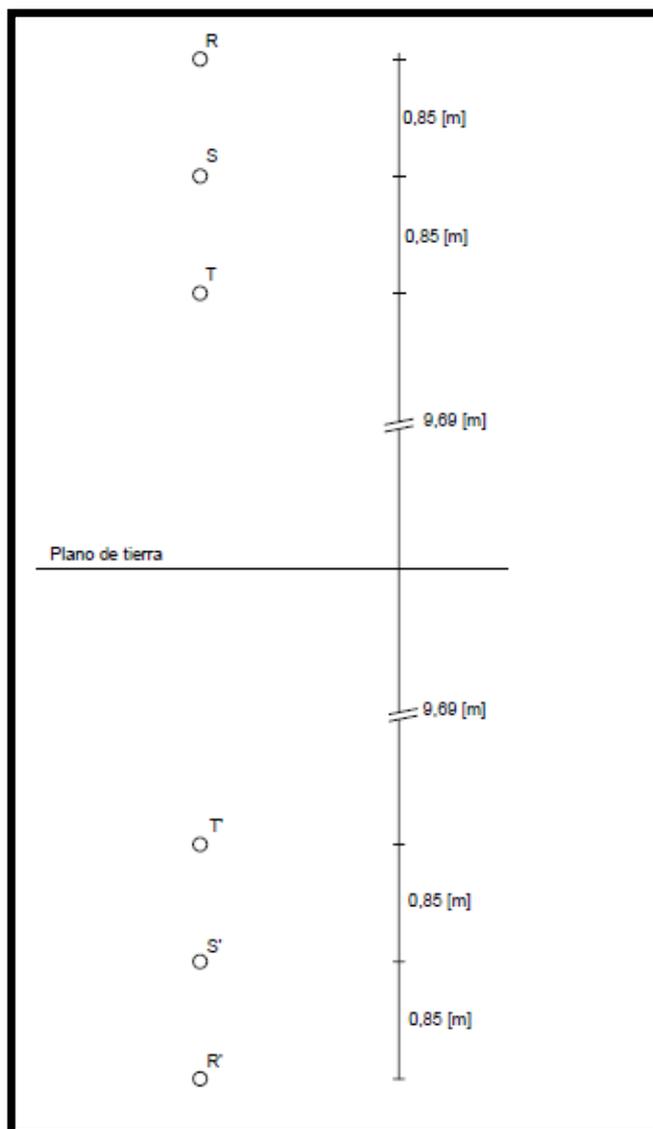
Se procede a determinar los parámetros característicos de las líneas en cuestión, los datos obtenidos en esta instancia son necesarios para calcular las pérdidas, caídas de tensión, cálculos de cortocircuitos y flujos de potencia posteriores.

Si bien no existe una uniformidad exacta entre los postes y las alturas libres de los vanos, debido a las diferencias en el terreno, se consideran los valores promedios.

Esquemáticamente, considerando una altura libre al centro del vano de 9 [m] y una flecha máxima de 0,69 [m] (siendo esta flecha la que predomina en el proyecto), el corte de una estructura queda dispuesto de la siguiente manera:



Para el cálculo de los parámetros característicos de las líneas se considerará nula la resistividad del terreno (conductividad infinita), aplicando el método de las imágenes. Modelando a cada conductor como una carga puntual que a su vez tiene una imagen respecto a la línea de referencia de la tierra. El corte representado en la figura anterior puede verse modelado de la siguiente manera:



### Características del conductor

Material: Aleación de Aluminio

Sección nominal: 50 [mm<sup>2</sup>]

Diámetro aproximado: 9,3 [mm]

Resistencia eléctrica a 20 [°C]: 0,654[Ω/km]

Resistencia eléctrica a 80 [°C]: 0,795[Ω/km]

Coefficiente  $K_c = 1$

$K_c$  es un coeficiente que depende del efecto pelicular provocado por una distribución no homogénea de la corriente en el conductor. En este caso se cumple que  $K_c = 1$  porque el conductor no posee alma de acero.

### Determinación de las constantes

Altura media geométrica  $HMG = \sqrt[3]{h_R * h_S * h_T}$

$$HMG = \sqrt[3]{11,39[m] * 10,54[m] * 9,69[m]}$$

$$\mathbf{HMG = 10,52 [m]}$$

Distancia media geométrica  $DMG = \sqrt[3]{D_{RS} * D_{ST} * D_{TR}}$

$$DMG = \sqrt[3]{0,85[m] * 0,85[m] * 1,70[m]}$$

$$\mathbf{DMG = 1,07 [m]}$$

Distancia media geométrica a imagen  $DMG' = \sqrt[3]{D_{RS'} * D_{ST'} * D_{TR'}}$

$$DMG' = \sqrt[3]{21,93[m] * 20,23[m] * 21,08[m]}$$

$$\mathbf{DMG' = 21,07 [m]}$$

Radio medio geométrico del conductor  $Rmg_i = r * e^{-\frac{kc}{4}}$

$$Rmg_i = 0,00465 [m] * e^{-\frac{1}{4}}$$

$$\mathbf{Rmg_i = 0,00362 [m]}$$

### Determinación de las capacidades de secuencias directa e inversa

$$C_1 = C_2 = \frac{2 * \Pi * \epsilon_0}{\ln\left(\frac{2 * HMG * DMG}{r * DMG'}\right)}$$

$$C_1 = C_2 = \frac{2 * \Pi * \epsilon_0}{\ln\left(\frac{2 * 10,52 [m] * 1,07 [m]}{0,00465 [m] * 21,07 [m]}\right)}$$

$$\mathbf{C_1 = C_2 = 10,23 \left[\frac{nF}{km}\right]}$$

### Determinación de la capacidad de secuencia homopolar

$$C_0 = \frac{2 * \Pi * \varepsilon_0}{\ln\left(\frac{2 * HMG * DMG'^2}{r * DMG^2}\right)} = \frac{2 * \Pi * \varepsilon_0}{\ln\left(\frac{2 * 10,52 [m] * (21,07 [m])^2}{0,00465 [m] * (1,07 [m])^2}\right)}$$

$$C_0 = 3,87 \left[ \frac{nF}{km} \right]$$

### Determinación de las reactancias de secuencias directa e inversa

$$x_1 = x_2 = \frac{\mu_0 * \omega}{2 * \Pi} * \ln\left(\frac{2 * HMG * DMG}{Rmg_i * DMG'}\right) = \frac{\mu_0 * \omega}{2 * \Pi} * \ln\left(\frac{2 * 10,52 [m] * 1,07 [m]}{0,00362 [m] * 21,07 [m]}\right)$$

$$x_1 = x_2 = 0,36 \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

### Determinación de la reactancia de secuencia homopolar

$$x_0 = \frac{\mu_0 * \omega}{2 * \Pi} * \ln\left(\frac{2 * HMG * DMG'^2}{Rmg_i * DMG^2}\right) = \frac{\mu_0 * \omega}{2 * \Pi} * \ln\left(\frac{2 * 10,52 [m] * (21,07 [m])^2}{0,00362 [m] * (1,07 [m])^2}\right)$$

$$x_0 = 0,91 \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

### Impedancia característica de la línea

La impedancia característica de las líneas en cuestión queda determinada por la siguiente ecuación:

$$|Z_0| = \sqrt{\frac{|z|}{|y|}}$$

En donde:

$$|z| = |r_{med} + jx| = \sqrt{r_{med}^2 + x^2}$$

El valor de  $r_{med}$  se obtiene a partir de una interpolación lineal con el fin de determinar la resistencia eléctrica del conductor a una temperatura media entre los valores datos.

$$r_{med} = 0,654 \left[ \frac{\Omega}{km} \right] + \frac{0,795 \left[ \frac{\Omega}{km} \right] - 0,654 \left[ \frac{\Omega}{km} \right]}{80[^\circ C] - 20[^\circ C]} * (50[^\circ C] - 20[^\circ C])$$

$$r_{med} = 0,724 \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Entonces:

$$|z| = \sqrt{\left(0,724 \left[\frac{\Omega}{km}\right]\right)^2 + \left(0,36 \left[\frac{\Omega}{km}\right]\right)^2}$$

$$|z| = 0,808 \left[\frac{\Omega}{km}\right]$$

$$|y| = |g + jb| = 10,23 \left[\frac{nF}{km}\right] * 2 * \pi * 50[Hz]$$

$$|y| = 3,21 * 10^{-6} \left[\frac{S}{km}\right]$$

$$|Z_0| = \sqrt{\frac{|z|}{|y|}} = \sqrt{\frac{0,808 \left[\frac{\Omega}{km}\right]}{3,21 * 10^{-6} \left[\frac{S}{km}\right]}}$$

$$|Z_0| = 501 [\Omega]$$

### Potencia natural de las líneas

Se entiende por potencia natural de una línea a la potencia transferida en el caso de que en su extremo se conecte una resistencia con igual valor al de la impedancia característica. De esta forma no existe una onda reflejada. La potencia natural de la línea queda determinada por la siguiente expresión:

$$P_n = \frac{U^2}{|Z_0|} = \frac{(33[kV])^2}{501[\Omega]}$$

$$P_n = 2,17 [MW]$$

### Potencia máxima transferible por límite térmico

De ecuación:

$$I_{m\acute{a}x} = 17,4 * (50[mm^2])^{0,64} = 212,7 [A]$$

De catálogo:

$$I_{m\acute{a}x} = 195 [A]$$

Para determinar la potencia máxima se utiliza la corriente máxima brindada por el fabricante del conductor:

$$P_{m\acute{a}x} = \sqrt{3} * U * I_{m\acute{a}x} * \cos(\varphi) = \sqrt{3} * 33[kV] * 195[A] * 0,85$$

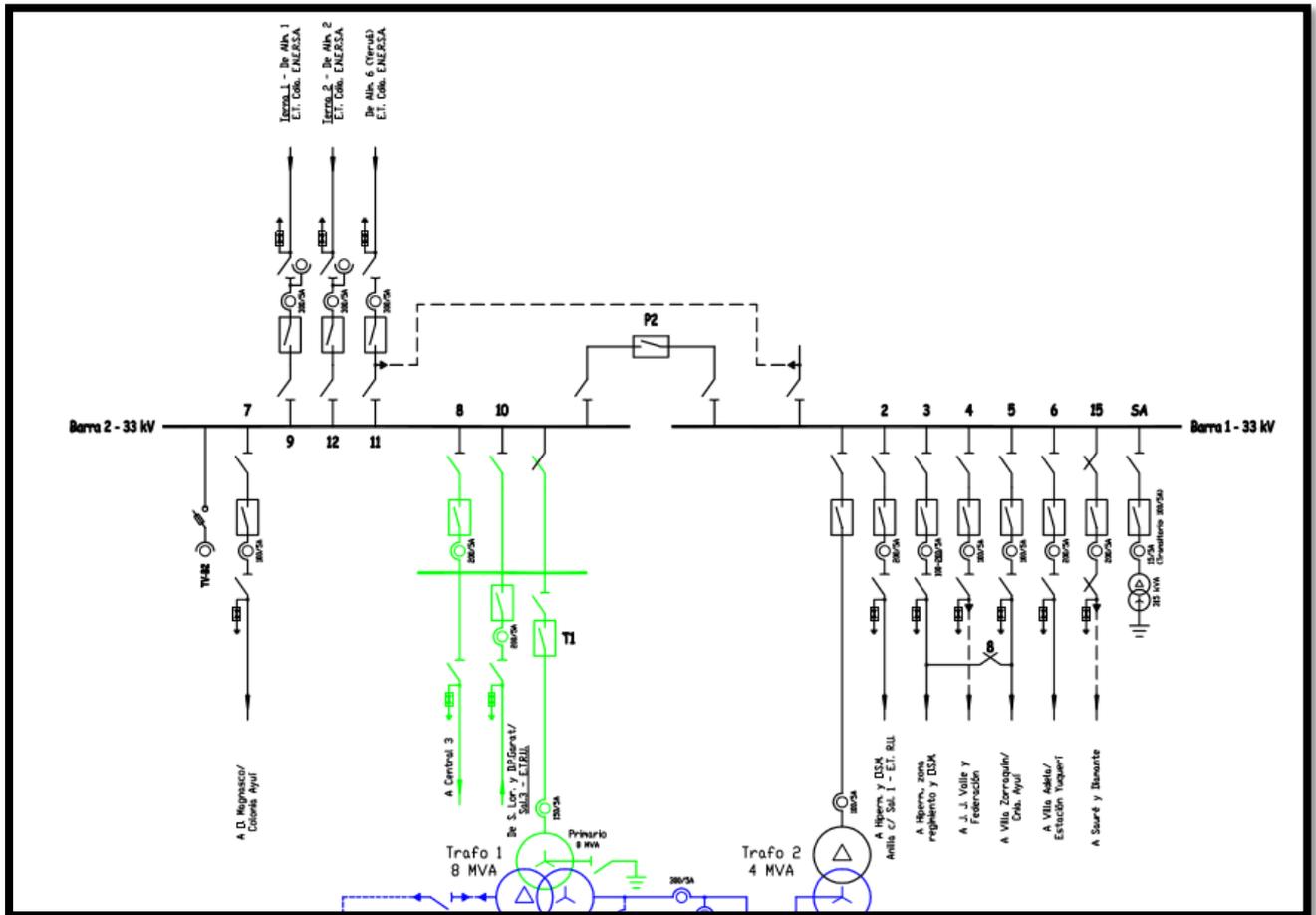
$$P_{m\acute{a}x} = 9,47 [MW]$$

### Cálculo de cortocircuito en central N°2 CEC

Para el cálculo de las potencias y corrientes de cortocircuito en barras de 33 [kV] de la Central N° 2 de la CEC, se procede de la siguiente manera:

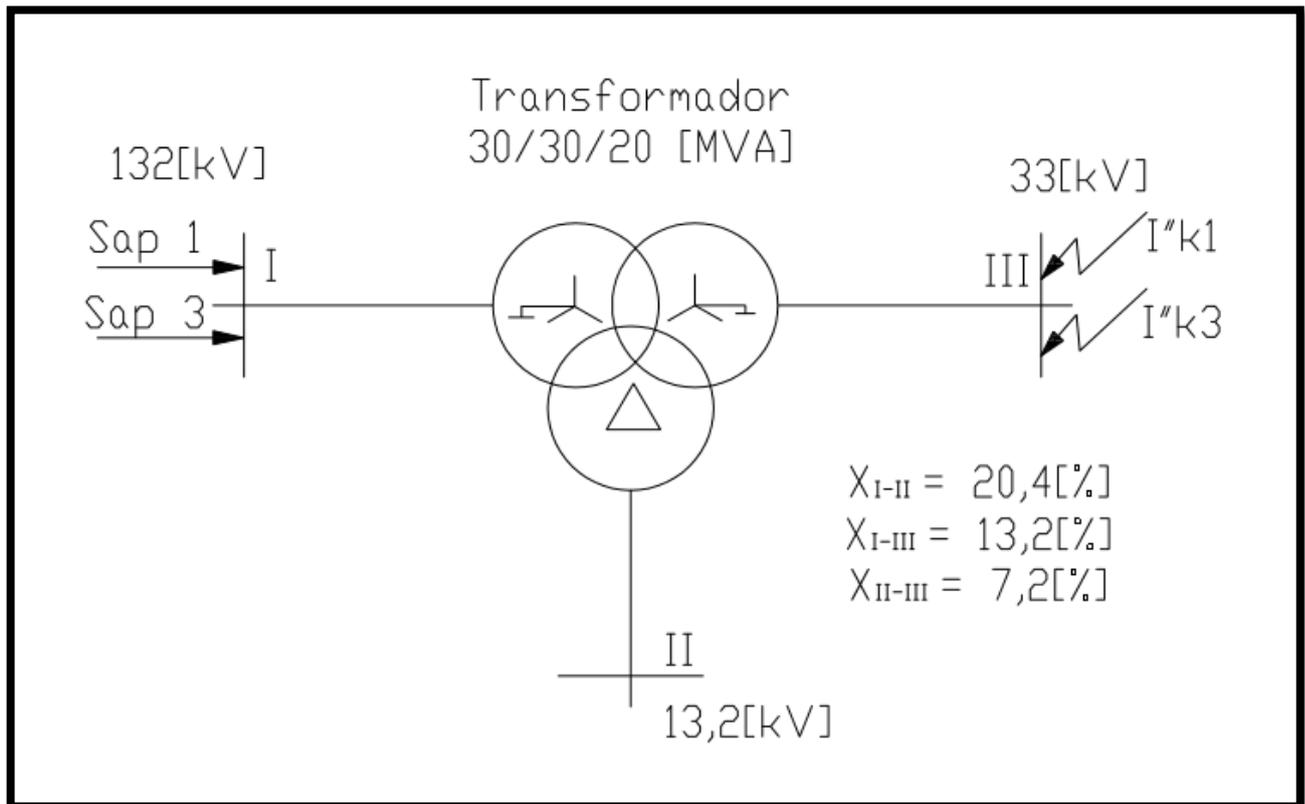
La central citada es alimentada a través de dos (y eventualmente tres) líneas de 33[kV] provenientes de la Estación Transformadora 132/33/13,2 [kV] "E. T. Concordia" perteneciente a ENERSA. Estas líneas, se encuentran dispuestas en una semi barra a la cual la provee de energía un transformador de 30[MVA] con conexión "Estrella" (con centro estrella rígido a tierra) en 132 [kV], "Estrella" (con centro estrella rígido a tierra) en 33[kV] y "triángulo" en 13,2 [kV].

De este transformador se tienen datos de reactancias, pero no así de los parámetros de las líneas que se dirigen a la Central 2. Por lo tanto, se limitó el cálculo considerando nulas las impedancias de las líneas. Esta forma de modelar puede que no sea tan precisa, pero es la única viable con los datos que se tienen. Los valores de potencia de cortocircuito serán mayores a los que se tendrían en la realidad.



Si bien el diagrama no está completo, se puede apreciar básicamente que la Central 2 cuenta con 2 semi-barras que trabajan siempre acopladas y dos alimentaciones en 33[kV] (entradas 9 y 12) provenientes de la Estación Transformadora “E.T. CONCORDIA”. Existe una tercer posibilidad de alimentación (entrada 11) que sólo se habilita cuando la demanda es elevada. Por otro lado se ven las distintas salidas a los alimentadores (incluyendo las que intervienen en este estudio), así como también las destinadas a un rebaje y al transformador de servicios auxiliares.

Con los datos nombrados, se confeccionó el siguiente modelo eléctrico para poder determinar la potencia y corrientes de cortocircuito sobre las semi-barras de 33[kV] en la Central.



Dónde:

Potencia nominal del transformador:  $S_n = 30$  [MVA]

Impedancias:  $X_{I-II} = 20,4$  [%] ;  $X_{I-III} = 13,2$  [%] ;  $X_{II-III} = 7,2$  [%]

Se desprecian impedancias propias de los conductores de las conexiones cortas en la central.

## Cálculo

### Selección de bases

$$S_b = 10$$
 [MVA]

$$U_I = 132$$
 [kV]

$$U_{II} = 33$$
 [kV]

$$U_{III} = 13,2$$
 [kV]

### Obtención de los valores expresados en por unidad

Primero se procede a calcular las reactancias correspondientes al transformador para su modelo equivalente estrella:

$$X_{I\%} = \frac{X_{I-II} + X_{I-III} - X_{II-III}}{2} = \frac{20,4 [\%] + 13,2 [\%] - 7,2 [\%]}{2} = 13,2 [\%]$$

$$X_{II\%} = \frac{X_{I-II} + X_{II-III} - X_{I-III}}{2} = \frac{20,4[\%] + 7,2[\%] - 13,2[\%]}{2} = 7,2[\%]$$

$$X_{III\%} = \frac{X_{I-III} + X_{II-III} - X_{I-II}}{2} = \frac{13,2[\%] + 7,2[\%] - 20,4[\%]}{2} = 0[\%]$$

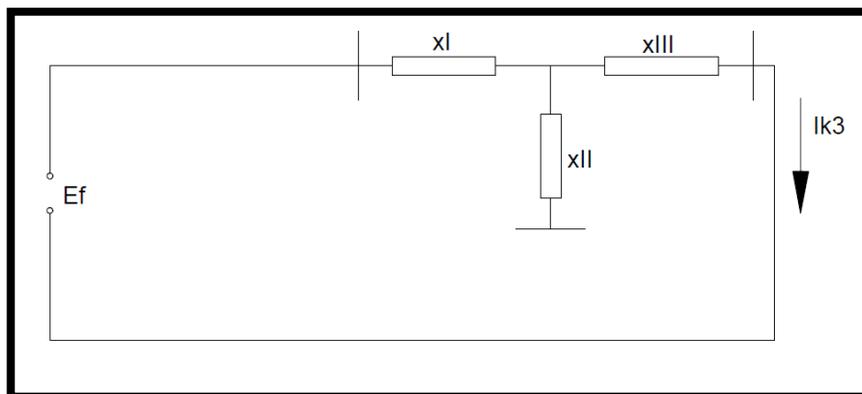
$$x_I = \frac{X_{I\%} * S_b}{100 * S_t} = \frac{13,2[\%] * 10[MVA]}{100 \left[ \frac{\%}{p.u.} \right] * 30[MVA]} = \mathbf{0,044 [p.u.]}$$

$$x_{II} = \frac{X_{II\%} * S_b}{100 * S_t} = \frac{7,2[\%] * 10[MVA]}{100 \left[ \frac{\%}{p.u.} \right] * 30[MVA]} = \mathbf{0,024 [p.u.]}$$

$$x_{III} = \frac{X_{III\%} * S_b}{100 * S_t} = \frac{0[\%] * 10[MVA]}{100 \left[ \frac{\%}{p.u.} \right] * 30[MVA]} = \mathbf{0 [p.u.]}$$

### Circuitos de secuencia

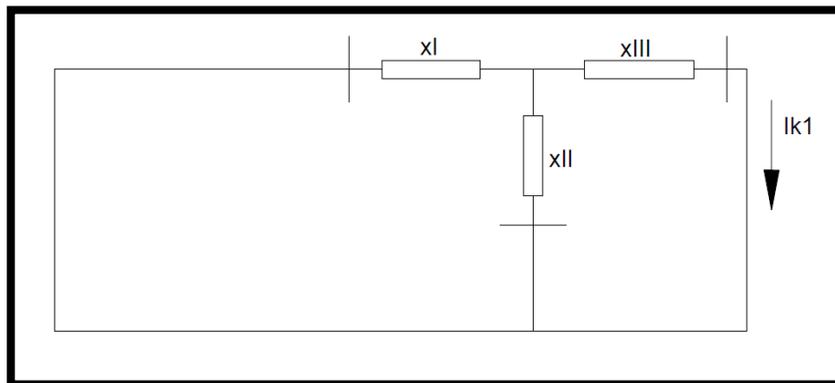
#### Circuito equivalente de secuencia directa e inversa:



$$z_1 = z_2 = x_I + x_{III} = 0,044 [p.u.] + 0 [p.u.] = \mathbf{0,044 [p.u.]}$$

#### Circuito equivalente de secuencia homopolar:

Se realiza la aclaración de que el circuito correspondiente a esta secuencia no contiene fuente.



$$z_{ho} = \frac{x_I * x_{II}}{x_I + x_{II}} = \frac{0,044 [p. u.] * 0,024 [p. u.]}{0,044 [p. u.] + 0,024 [p. u.]}$$

$$z_{ho} = \mathbf{0,0155 [p. u.]}$$

### Determinación de potencias de cortocircuito

$$S_{cc3} = \frac{1,1 * S_b}{z_D}$$

$$S_{cc3} = \frac{1,1 * 10 [MVA]}{0,044 [p. u.]}$$

$$S_{cc3} = \mathbf{250 [MVA]}$$

$$S_{cc1} = \frac{3 * 1,1 * S_b}{Z_D + Z_I + z_{ho}}$$

$$S_{cc1} = \frac{3,3 * 10 [MVA]}{2 * 0,044 [p. u.] + 0,0155 [p. u.]}$$

$$S_{cc1} = \mathbf{318,8 [MVA]}$$

### Determinación de corrientes de cortocircuito

$$I''_{k3} = \frac{S_{cc3}}{\sqrt{3} * U_n}$$

$$I''_{k3} = \frac{250 [MVA]}{\sqrt{3} * 33 [kV]}$$

$$I''_{k3} = 4,37[kA]$$

$$I''_{k1} = \frac{S_{cc1}}{\sqrt{3} * U_l}$$

$$I''_{k1} = \frac{318,8[MVA]}{\sqrt{3} * 33[kV]}$$

$$I''_{k1} = 5,58[kA]$$

### Flujos de potencias y caídas de tensión

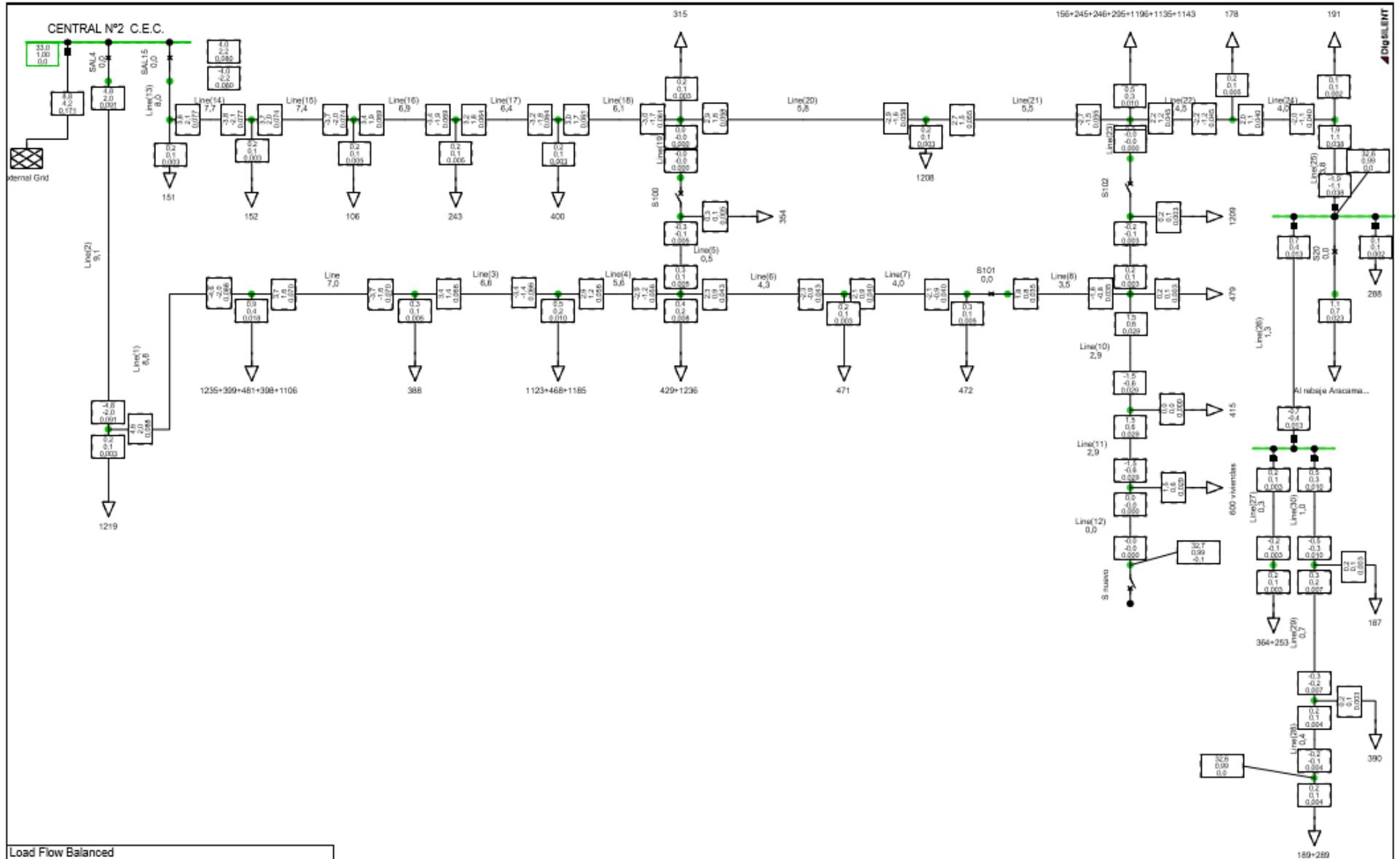
Para este estudio se utilizó el software Power Factory 15.1 y se simuló los distintos escenarios posibles.

Estos distintos escenarios brindan una mayor flexibilidad de interconexiones entre las líneas, ya sea ante perturbaciones externas o para realizar tareas de mantenimiento. Pudiendo de esta manera seccionar tramos y poder alimentar los mismos de distintas salidas, dejando la menor cantidad de cargas (o nula) fuera de servicio.

Para plantear las distintas maniobras posibles se hizo hincapié que en ningún caso se sobrepase la potencia máxima transferible en cada salida, así como también se controló que no se supere más de un 5[%] de caída de tensión en las cargas alejadas.

Como las salidas 15 y 4 son las que pertenecen al proyecto en cuestión, fueron modeladas con mayor precisión, en cambio a las otras intervinientes indirectamente se las ha modelado con menor precisión pero de forma tal que se pueda entender que se verifican las condiciones de potencias máximas transferibles así como también la caída de tensión mencionada.

### Flujo de potencia en funcionamiento normal de cada salida



Aquí se presenta una ampliación sobre la barra de la central para que se pueda apreciar que no se exceden las potencias máximas transferibles en ninguna salida. En los recuadros que están sobre las líneas figuran valores de potencia activa [ $MW$ ], potencia Reactiva [ $MVar$ ] e intensidad de corriente [ $kA$ ], respectivamente sobre cada línea. Y sobre la barra o en los recuadros que hacen referencia a un punto determinado se puede apreciar tensión en [ $kV$ ], tensión en [ $p.u.$ ] y ángulo en [ $^\circ$ ]

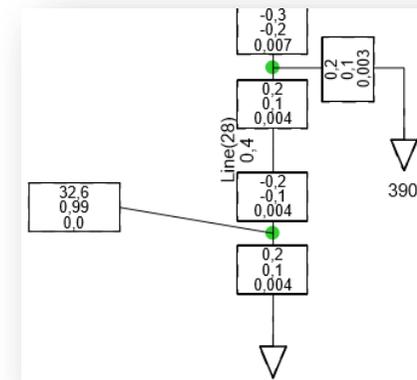
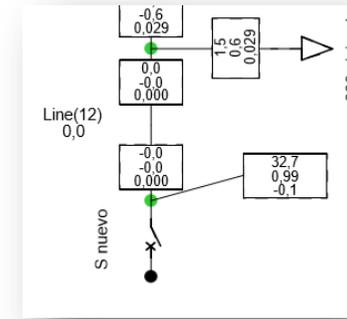
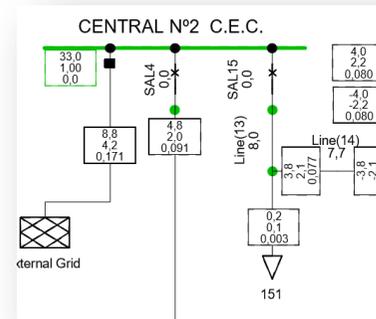
Cabe aclarar que la línea proveniente de la red externa (así se simuló pero son líneas provenientes de “E.T. Concordia” de ENERSA), consta de dos líneas de 33 [ $kV$ ] paralelas y eventualmente se suma una tercera ante grandes demandas.

En la figura de arriba a la derecha, se puede observar la “Line 12” cuyos valores son nulos, esto se debe a que por allí no hay circulación de corriente. Los valores que aparecen luego corresponden a valor de tensión en [ $kV$ ], valor de tensión en [ $p.u.$ ] y el ángulo de la tensión en [ $^\circ$ ]

En las siguientes maniobras propuestas, se nombrarán distintas acciones sobre los seccionadores presentes, en tales casos debe entenderse que los seccionadores de los cuales no hace referencia, deben quedar en la posición correspondiente al esquema

unifilar de funcionamiento normal de cada salida que se muestra en la página anterior.

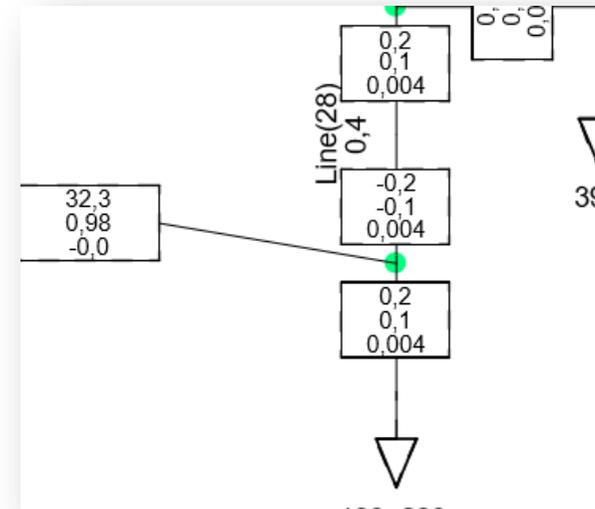
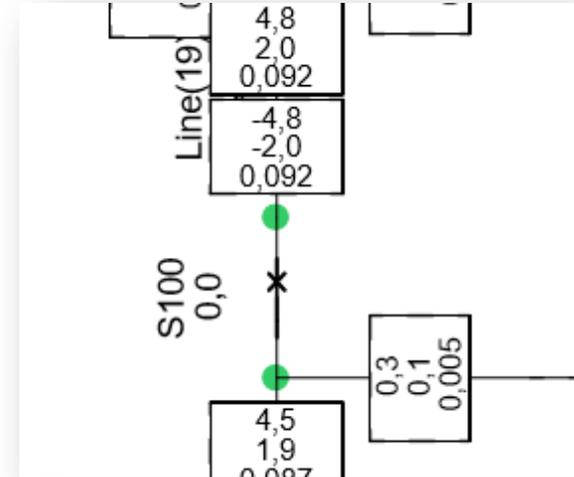
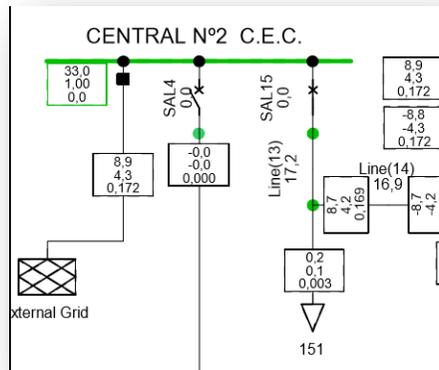
Todos los flujos de potencia corresponden a máxima demanda en verano del año 2016.



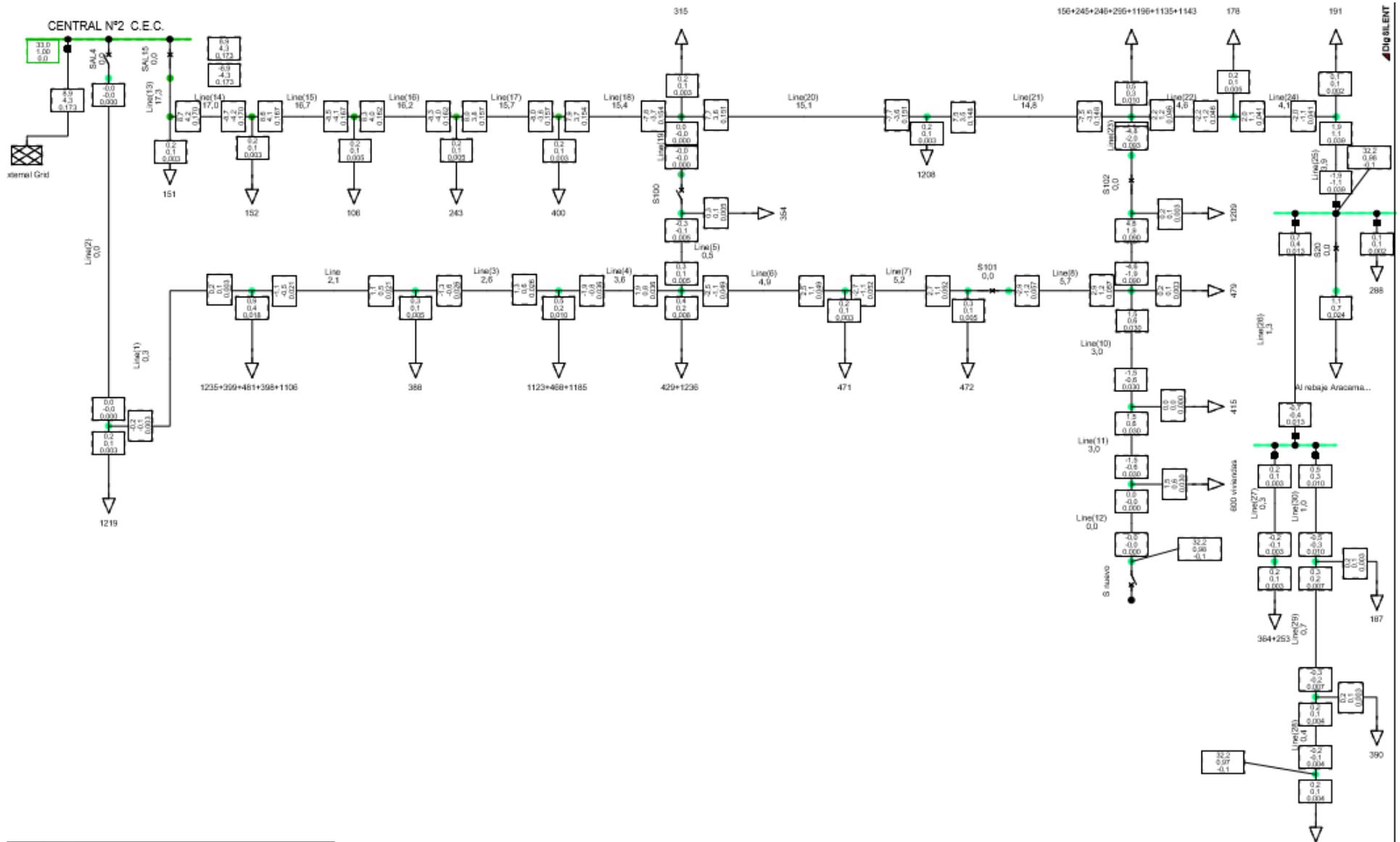


Esta maniobra consiste en abrir el seccionador **SAL4** (Desvinculando la salida 4 de la barra de la central 2), y cerrar el seccionador **S100**. De esta manera toda la salida 4 queda alimentada a través de la salida 15. Esta maniobra, realizada en horas y estaciones de gran consumo puede ser crítica, puesto que la salida 15 queda muy cerca de su límite térmico. Si bien no llega al límite, es importante prestar mucha atención y desconectar cargas o realizar otras maniobras si fuera necesario.

Aquí se pueden apreciar algunas ampliaciones de importancia sobre el unifilar. Nótese que en una de las cargas más alejadas, la caída de tensión es del 2[%].

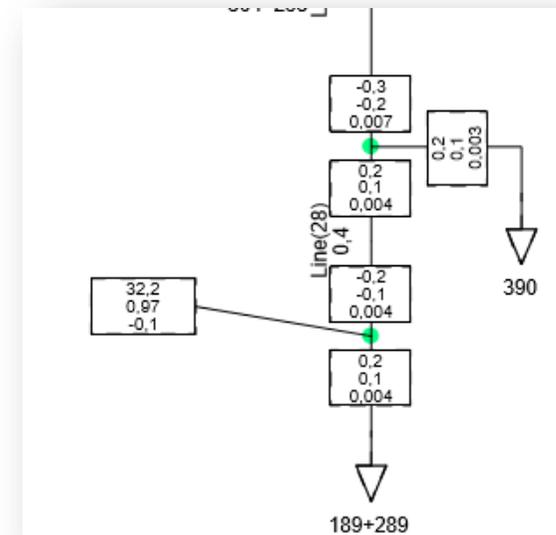
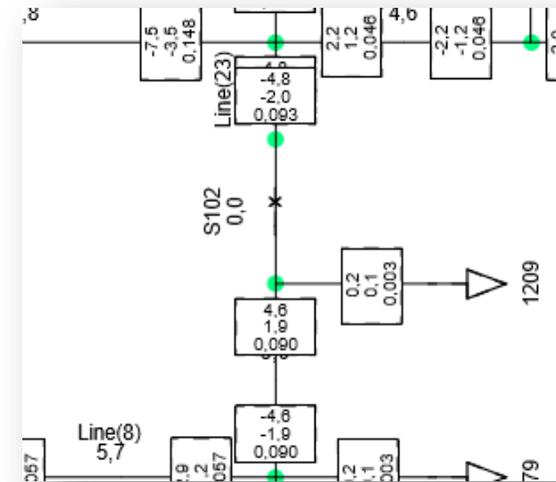
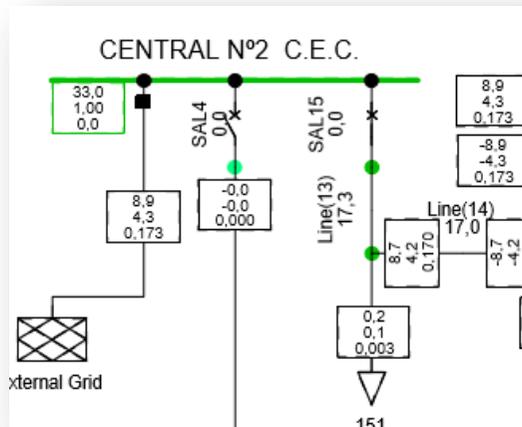


## Flujo de potencia con maniobra 2

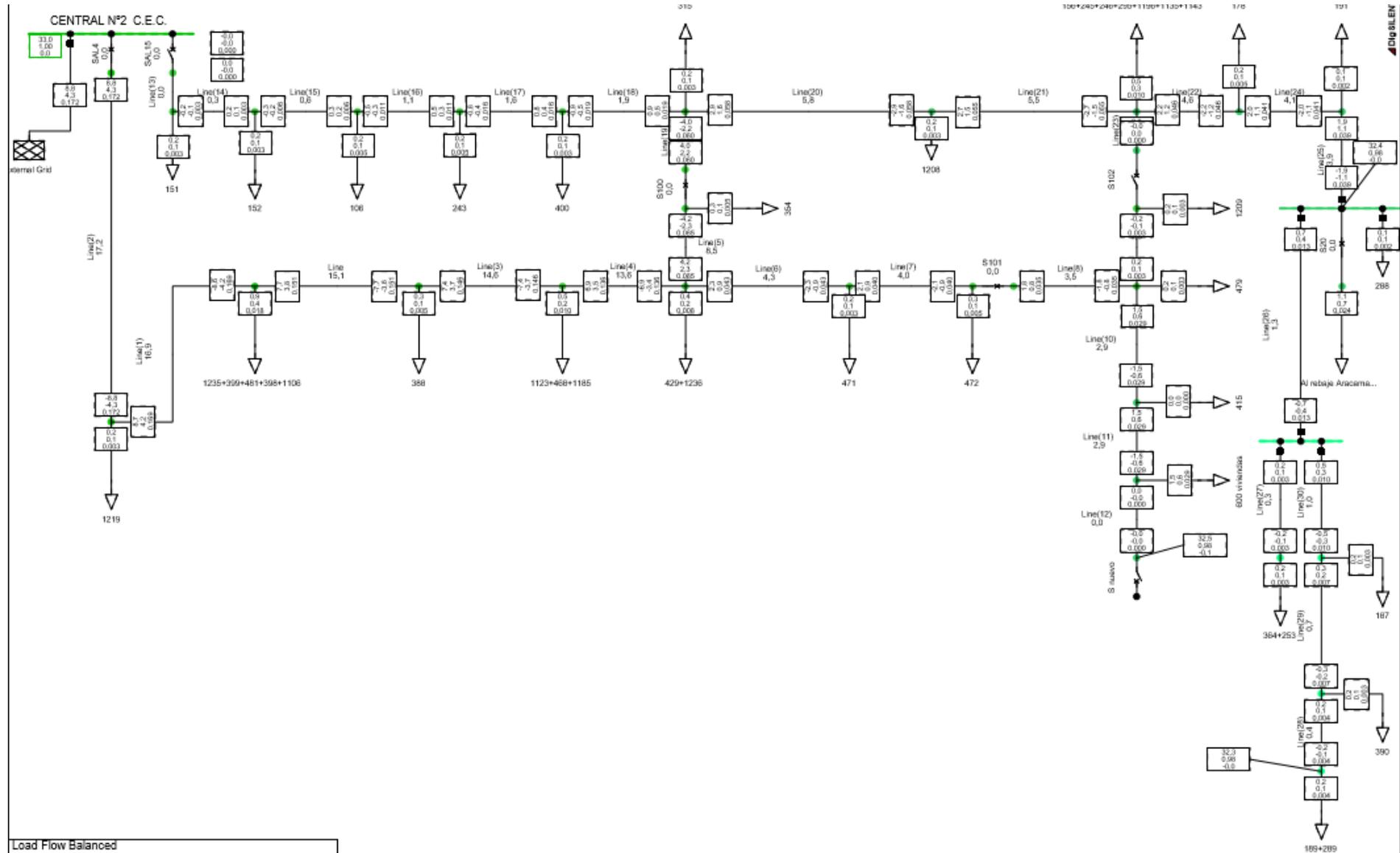


Esta maniobra es idéntica a la anterior, con la diferencia que en vez de cerrarse el seccionador **S100**, se debe cerrar el **S102**. Las precauciones que deben tomarse son las mismas que el caso anterior y podrá observarse que en ningún caso se exceden los valores de potencias máximos.

Si bien los valores de caída de tensión están entre los valores admisibles, puede verse que en este caso, a diferencia de la maniobra anterior que la caída es del 2[%], se produce una caída de tensión del 3[%] en la carga más alejada.

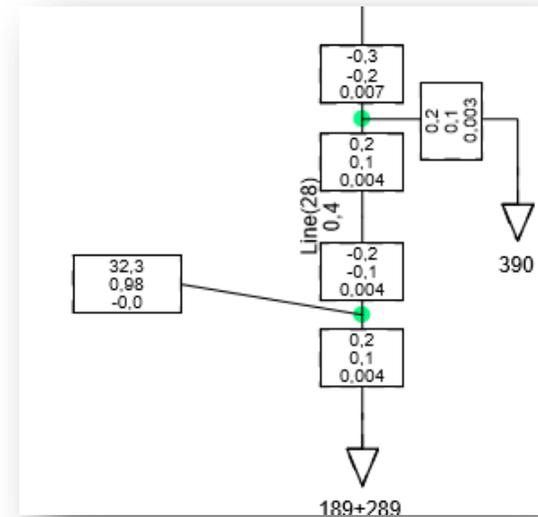
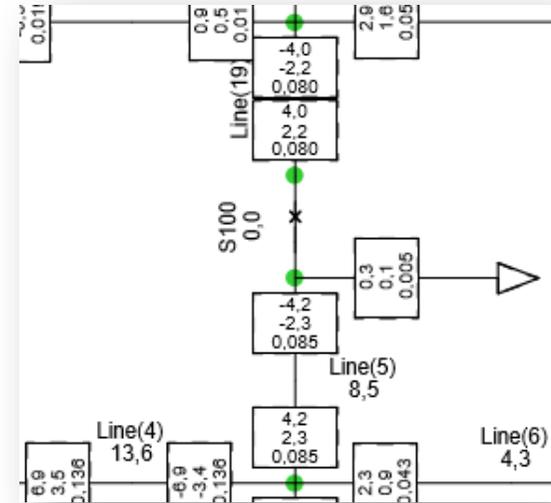
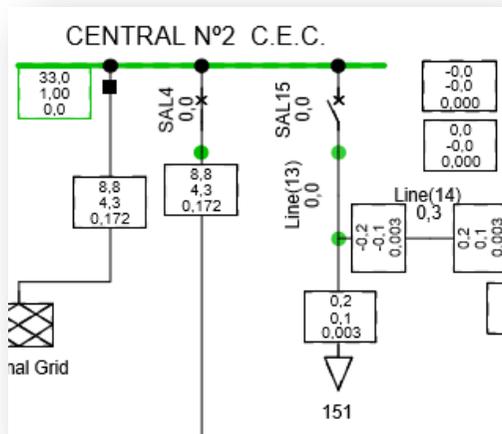


### Flujo de potencia con maniobra 3

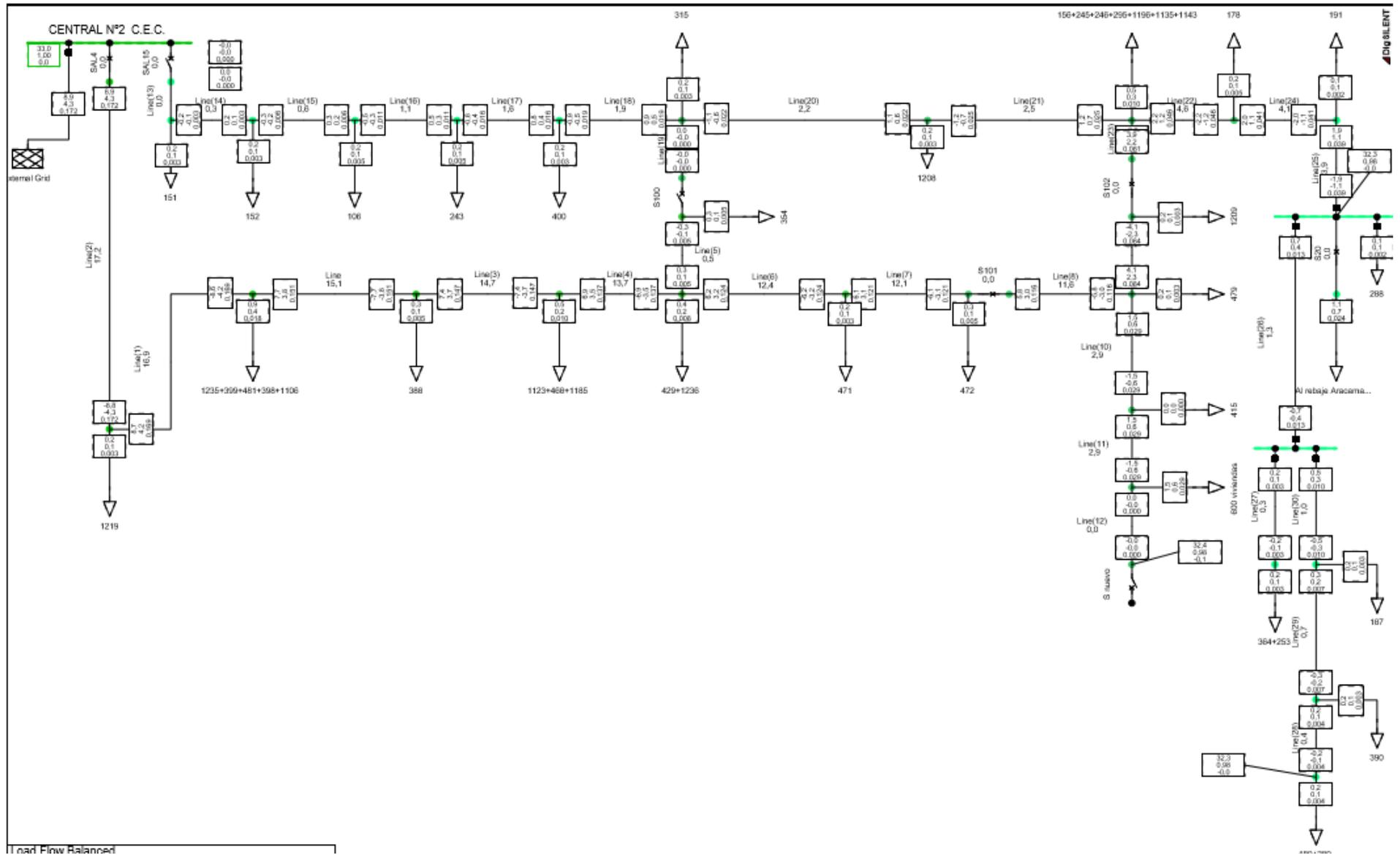


La maniobra 3 consiste en abrir el seccionador **SAL15**, desvinculando la salida 15 de la barra de la central 2 y cerrar el seccionador **S100**. De esta manera la salida 15 queda alimentada a través de la salida 4. Tanto esta maniobra como las anteriores son viables ante la aparición de fallas cercanas a la central, de esta manera se pueden abrir tramos y alimentar por otra salida dejando la menor cantidad de cargas fuera de servicio.

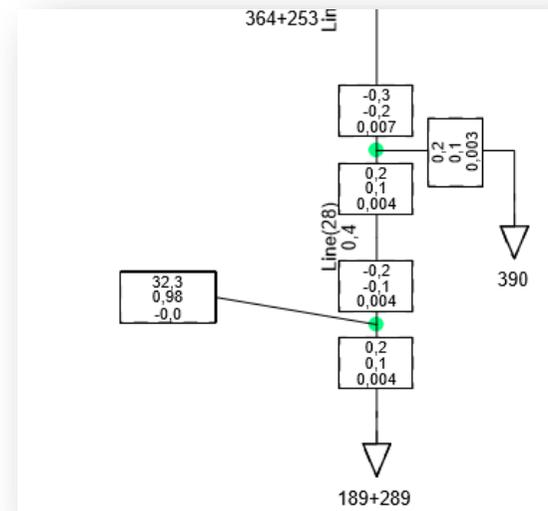
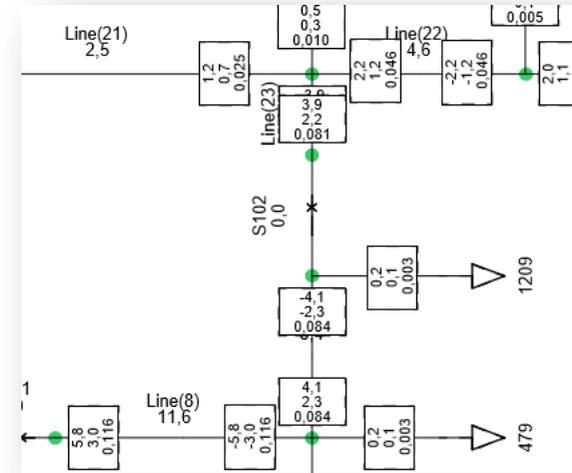
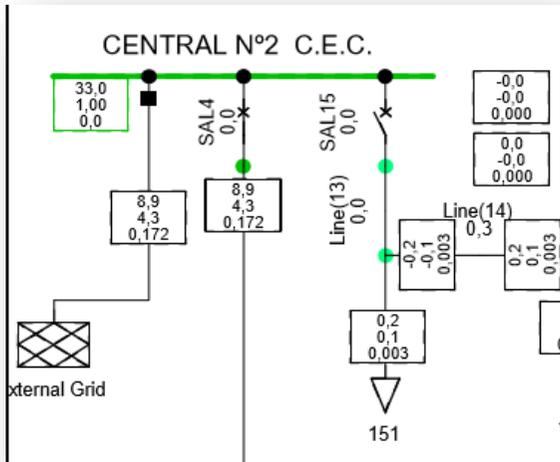
Esta maniobra también es crítica puesto que se trabaja muy próximo al límite térmico de las líneas.



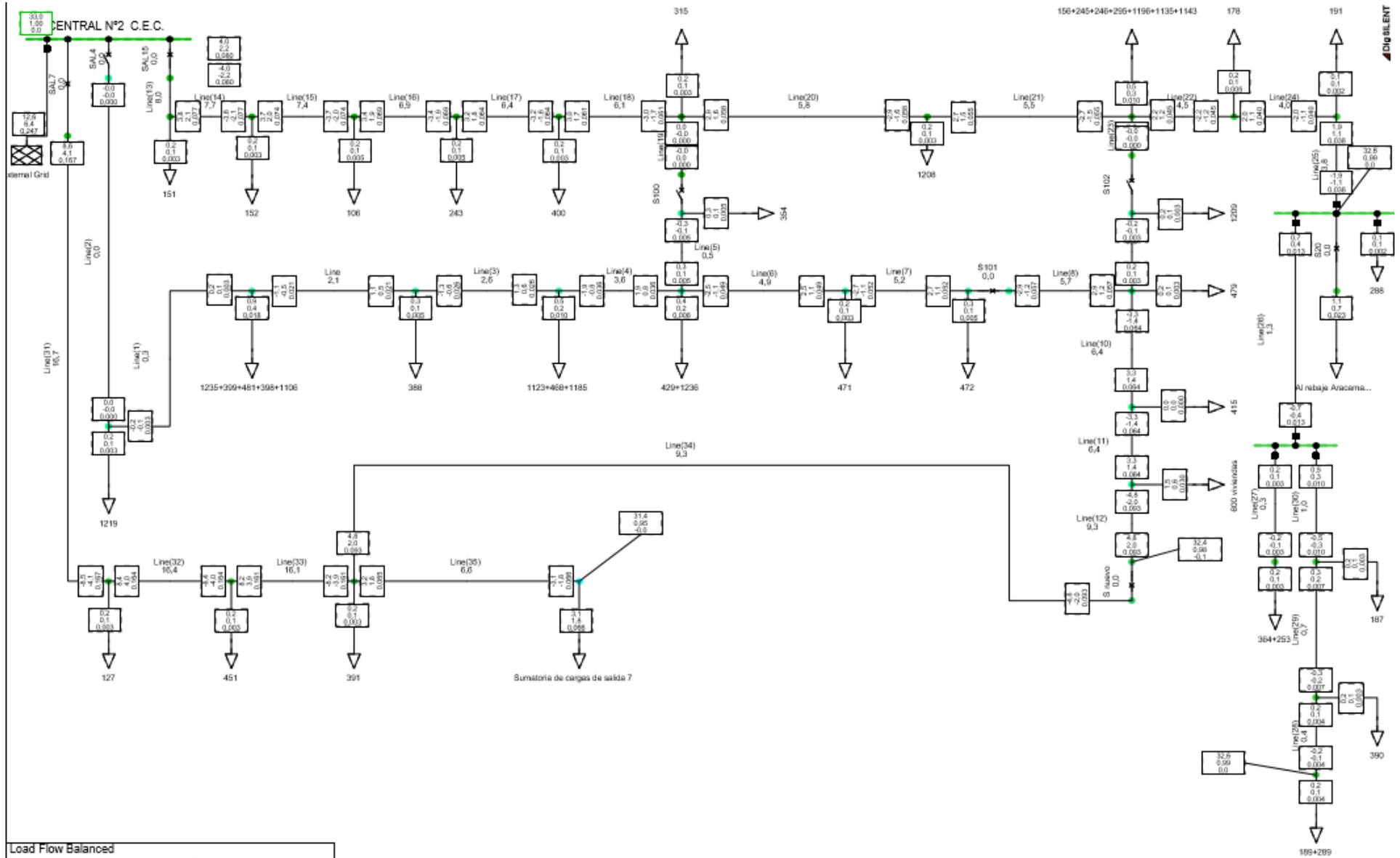
### Flujo de potencia con maniobra 4



La maniobra 4 es idéntica a la maniobra 3, con la diferencia que en vez de cerrar el seccionador **S100**, se debe cerrar el seccionador **S102** (dejando **S100** en posición abierto). En este caso las caídas de tensión para las maniobras 3 y 4 en las cargas más alejadas son las mismas: 2[%].



### Flujo de potencia con maniobra 5

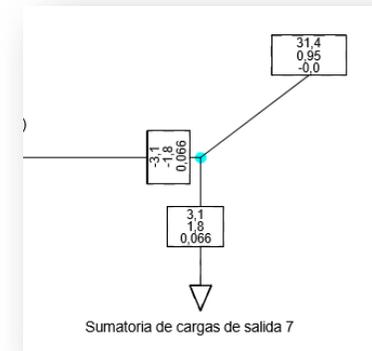
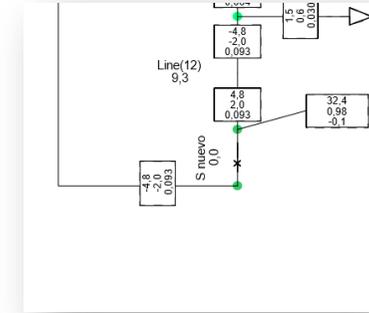
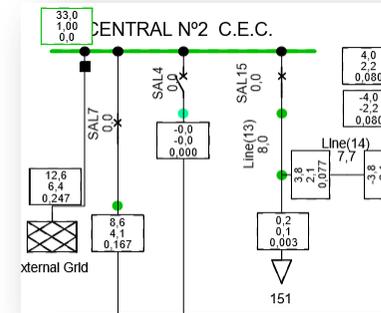


En este caso puede notarse que el diagrama unifilar es más complejo, esto se debe a que se incluye otra de las salidas de la Central 2. Si bien esta salida no interviene directamente en el proyecto, puesto que sobre ella no se realizan ningún tipo de reformas o ampliaciones, sí se la debe tener en cuenta a la hora de realizar maniobras y los correspondientes flujos de carga.

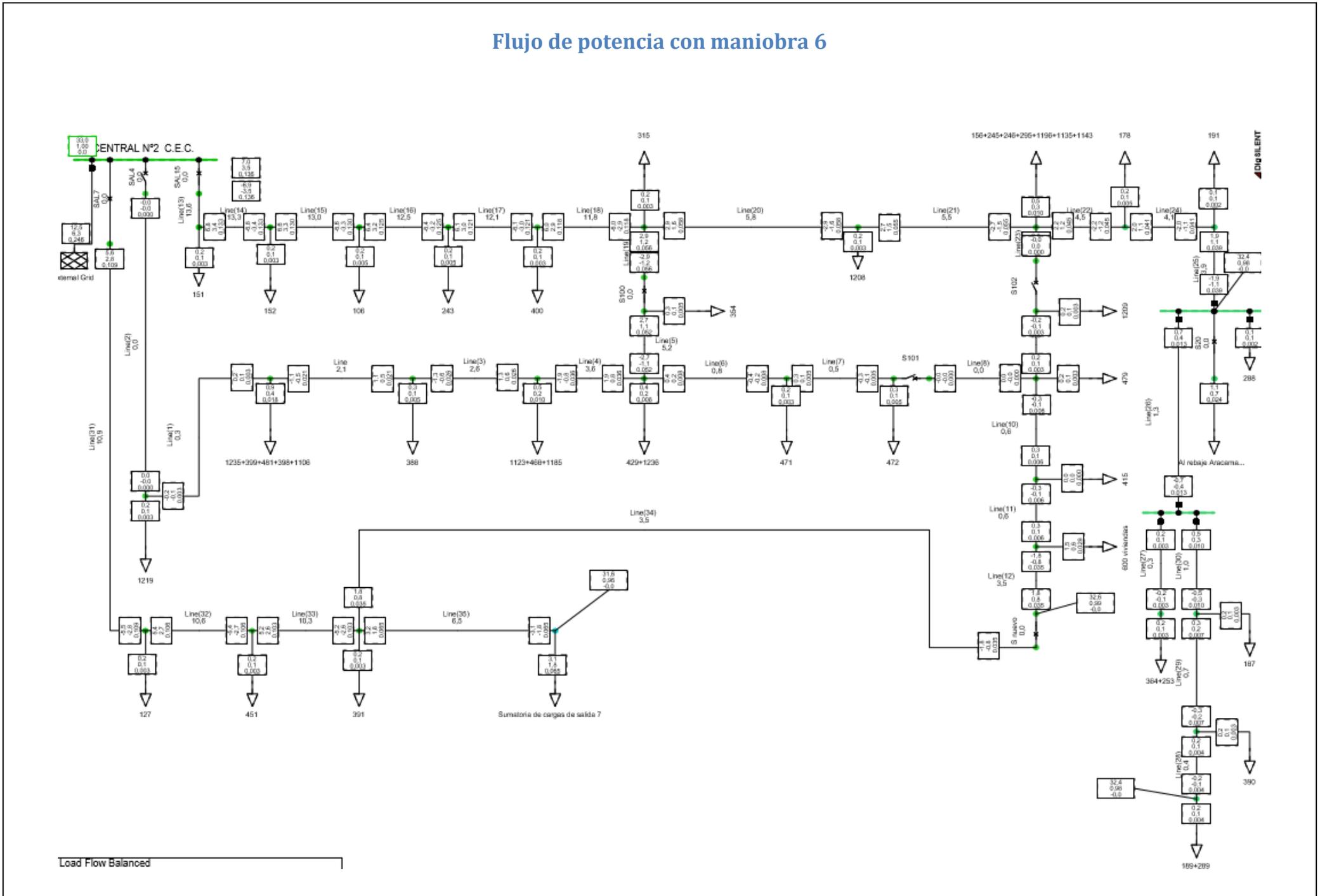
Se trata de la salida 7, que se encarga básicamente de abastecer energéticamente la zona noroeste de Concordia y tiene la particularidad de ser la salida más aliviada en carga de la central.

La maniobra 5 consiste en abrir el seccionador **SAL4** y cerrar el seccionador **S – NUEVO**. De esta forma se deja alimentada la salida 4 mediante la salida 7 (Observar diagrama unifilar de la página anterior).

Se aclara que la salida 7 se simula como toda su carga conectada en su extremo más lejano (caso irreal), pero aun así la caída de tensión es del 5[%]. Por lo tanto se concluye que si se la hubiera modelado en forma real, con sus cargas distribuidas, la caída de tensión sería menor. Debe tenerse en cuenta también que la línea queda operando con valores de potencia cercanos a su límite térmico.

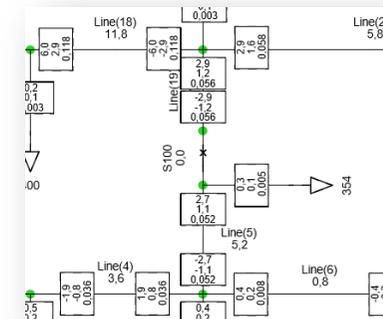
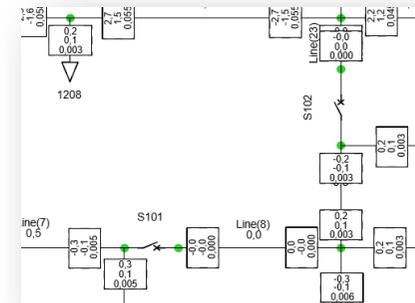
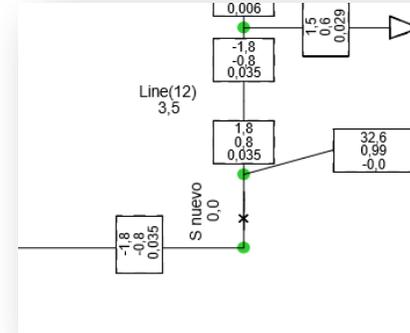
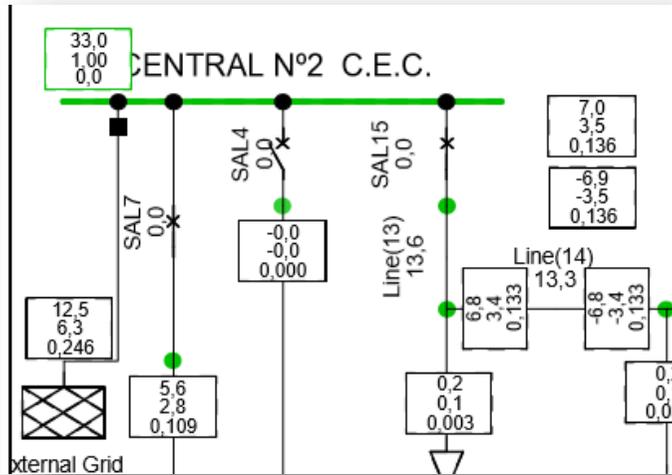


### Flujo de potencia con maniobra 6

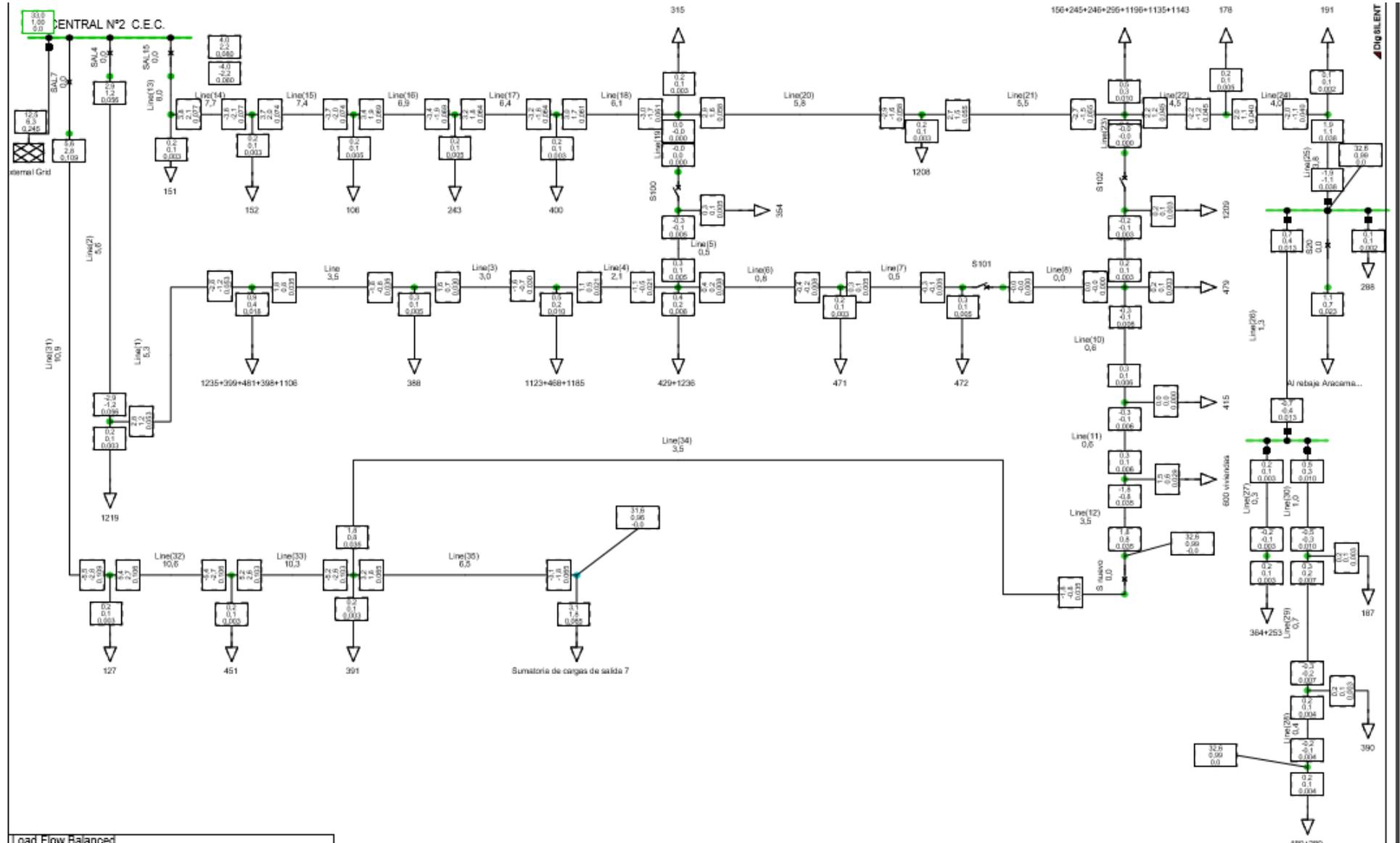


Esta maniobra consiste en alimentar parte de la salida 4 mediante la salida 15 y otra parte de la salida 4 a través de la salida 7. De esta forma se reparte la carga en las salidas nombradas para que no trabajen en una zona alarmante.

El procedimiento de esta maniobra consiste en abrir el seccionador **SAL4**, abrir el seccionador **S101**, cerrar el seccionador **S100** y cerrar el seccionador **Snuevo**. (Ver diagrama unifilar de la página anterior).

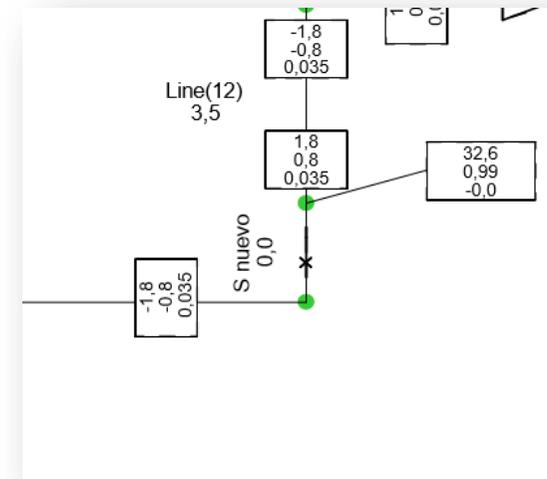
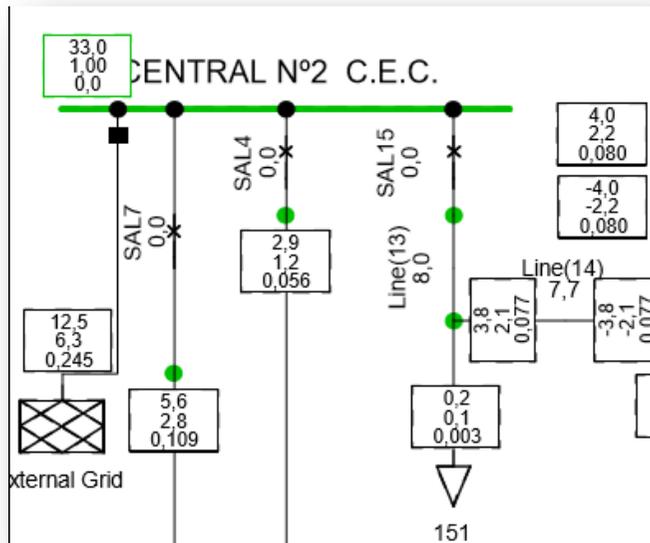
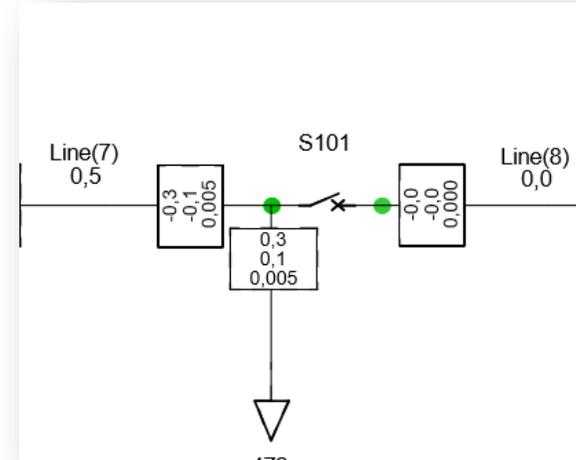


### Flujo de potencia con maniobra 7



La maniobra 7 consiste en alimentar parte de la salida 4 con la salida 7.

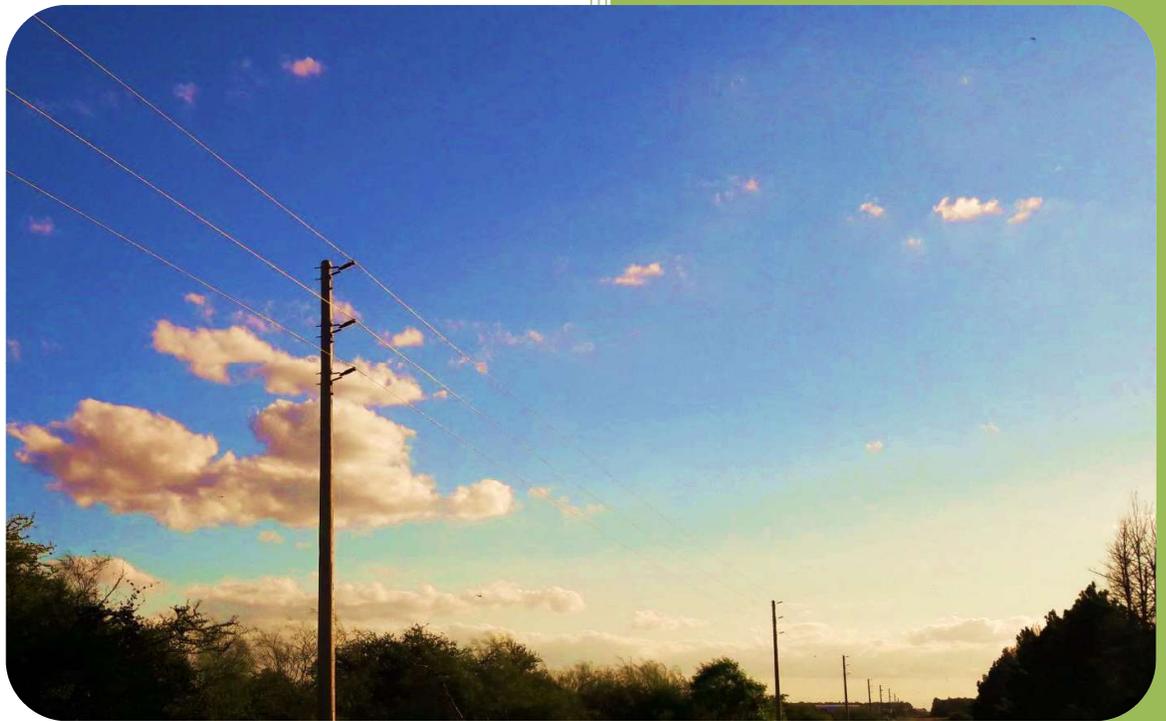
Para efectuar la maniobra se debe abrir el seccionador **S101** y cerrar el seccionador **Snuevo**. (Ver diagrama unifilar de la página anterior).





**Proyecto Final**

# Capítulo 11 - Plan de Negocios



**Mariano Alonso**

Ingeniería Eléctrica

Universidad Tecnológica Nacional

Facultad Regional Concordia

## Tabla de contenido

Resumen ejecutivo .....	3
Descripción de la problemática .....	5
Tramo 1. Planteo de la problemática .....	5
Tramo 2. Planteo de la problemática .....	5
Antecedentes .....	6
Proyección de la demanda .....	7
Proyección de la salida 4 .....	8
Proyección de la salida 15 .....	9
Soluciones propuestas.....	10
Solución propuesta al tramo 1 .....	11
Solución propuesta al tramo 2 .....	12
Planificación de las actividades y cronograma.....	13
Misión, visión, objetivos y justificación .....	15
Misión.....	15
Visión .....	15
Objetivos .....	15
Justificación .....	15
Leyes y normativas vigentes.....	16
Análisis FODA.....	17
Mercadotecnia .....	17
Mercado .....	17
Segmentación.....	18

Diferenciación .....	18
Posicionamiento .....	18
Comunicación .....	18
Análisis económico y financiero .....	18
Recupero de la inversión .....	18
Estructuras por tramo .....	18
Presupuesto y cómputo .....	19
Flujos de fondos .....	19
Ingresos .....	20
Egresos .....	20

## Resumen ejecutivo

Año tras año, junto con el crecimiento de población en la región y su mejora en la calidad de vida, viene acompañado el aumento del consumo de energía eléctrica. Éste no es un aspecto menor puesto que es de vital importancia tenerlo en cuenta para poder realizar una planificación de las obras y mantenimientos en las instalaciones de la Cooperativa Eléctrica de Concordia.

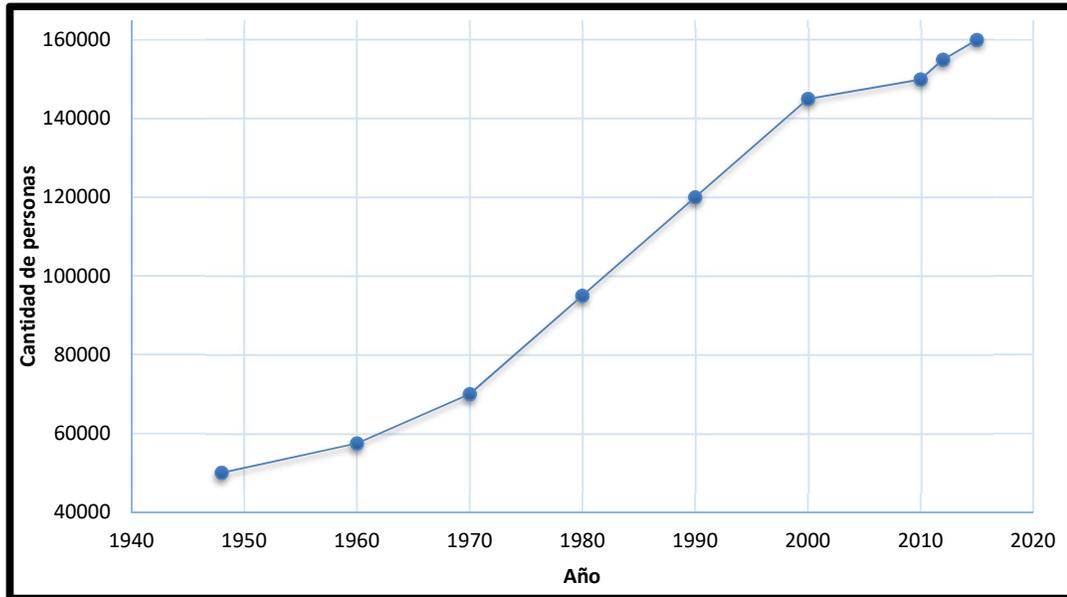
En este proyecto se apunta a la zona Oeste de la ciudad de Concordia, en estos barrios se encuentra una densidad de población muy elevada y sigue en aumento constante debido a que es un punto cardinal que lo permite.

Actualmente las líneas que abastecen energía a estos barrios se encuentran en condiciones precarias, pueden notarse postes de madera en muy mal estado y con confiabilidad muy reducida, bases de hormigón comprometidas por aguas superficiales, conductores con muchos empalmes, etc..

Con el proyecto que se presenta se buscará aumentar la capacidad de distribución, así como también la confiabilidad en el sistema, optando por las mejores opciones técnico-económicas.

El proyecto ha de ejecutarse en la zona Oeste de la ciudad de Concordia (Entre Ríos – Argentina) con el fin de ofrecer una mejor calidad de vida a sus ciudadanos, atraer inversiones que generen fuentes de trabajo, y mejorar la estabilidad y confiabilidad en el servicio de distribución eléctrica.

La energía eléctrica es un servicio indispensable para el bienestar y el desarrollo de las personas. Es por ello que se insiste en este documento en que tener líneas de distribución acordes a las necesidades de la gente, confiables y seguras, es de una importancia destacable.

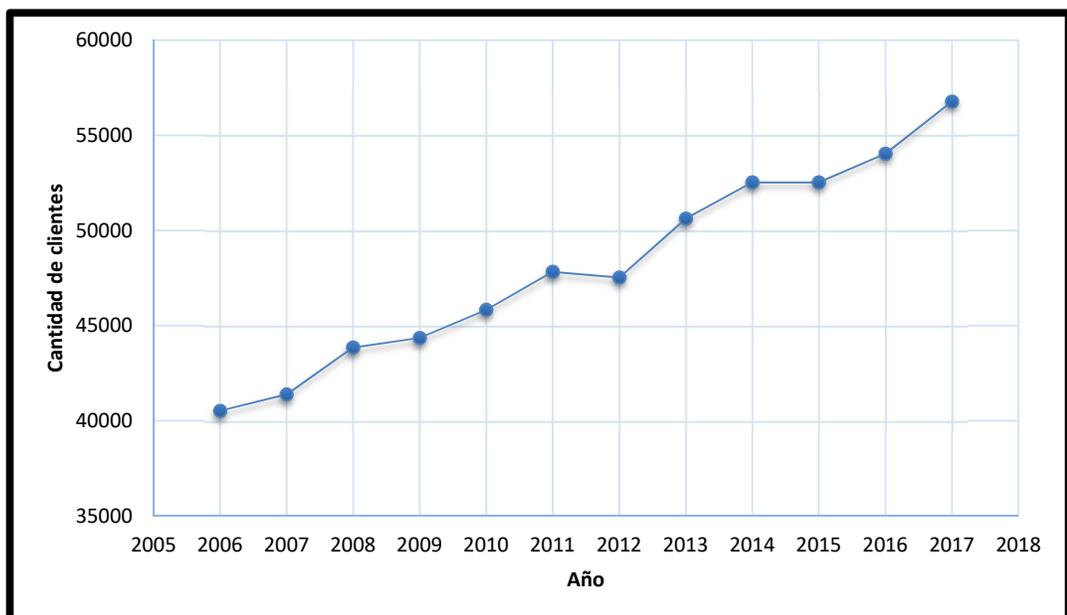


Cantidad de población en función de los años en la ciudad de Concordia.

En la siguiente tabla se puede apreciar el aumento de clientes que ha tenido la Cooperativa Eléctrica de la ciudad de Concordia, que responde a una tasa de crecimiento promedio anual de 3,14[%].

Clientes de la Cooperativa Eléctrica de Concordia												
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Total de clientes	40518	41378	43844	44351	45828	47820	47524	50629	52523	52523	54035	56781
Variación anual		2,12%	5,96%	1,16%	3,33%	4,35%	-0,62%	6,53%	3,74%	0,00%	2,88%	5,08%
Variación promedio	3,14%											

Gráfico correspondiente a la tabla anterior:



Cantidad de clientes en función de los años en la CEC.



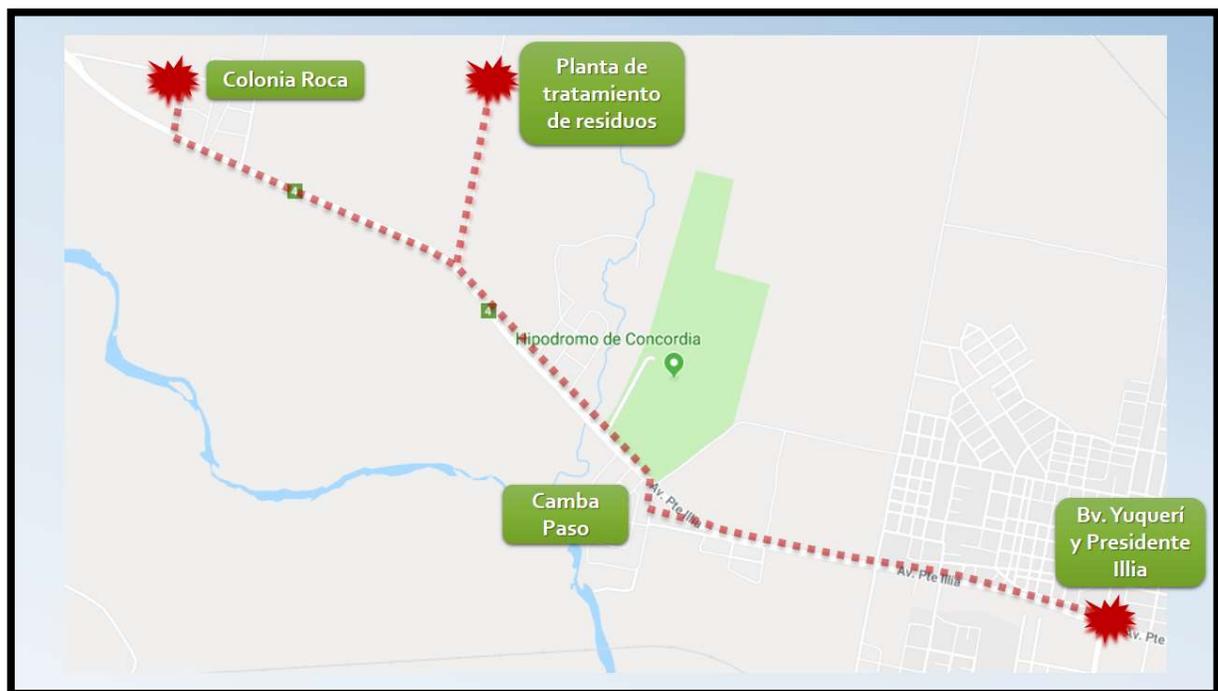
## Descripción de la problemática

Para una mejor interpretación del lector, se ha dispuesto la obra por tramos o partes.

### Tramo 1. Planteo de la problemática

En este caso, se trata de una línea de 33[kV] (Salida N°15 de la central 2 de la CEC) ya existente pero con un gran deterioro de postes de madera, aisladores, conductores, hilo de guardia, crucetas y algunas bases comprometidas por corrientes superficiales de agua. Cabe destacar que esta línea es la que se encarga de abastecer eléctricamente, entre otras cargas tales como aserraderos, apícolas, barrios alejados, fábrica de ladrillos, etc., a la planta de tratamiento de residuos sólidos urbanos de toda la ciudad de Concordia, la cual también tiene prevista una ampliación para mejorar su funcionamiento.

Al encontrarse la línea existente en mal estado se genera un potencial riesgo de fallas provocando la desenergización de la planta de tratamiento, de las empresas que allí operan y afectando a las familias que allí viven. Además ocasionando un riesgo inminente a los ciudadanos que transitan la zona diariamente.



Tramo 1 de líneas a reacondicionar. En trazo punteado las líneas de MT a restaurar.

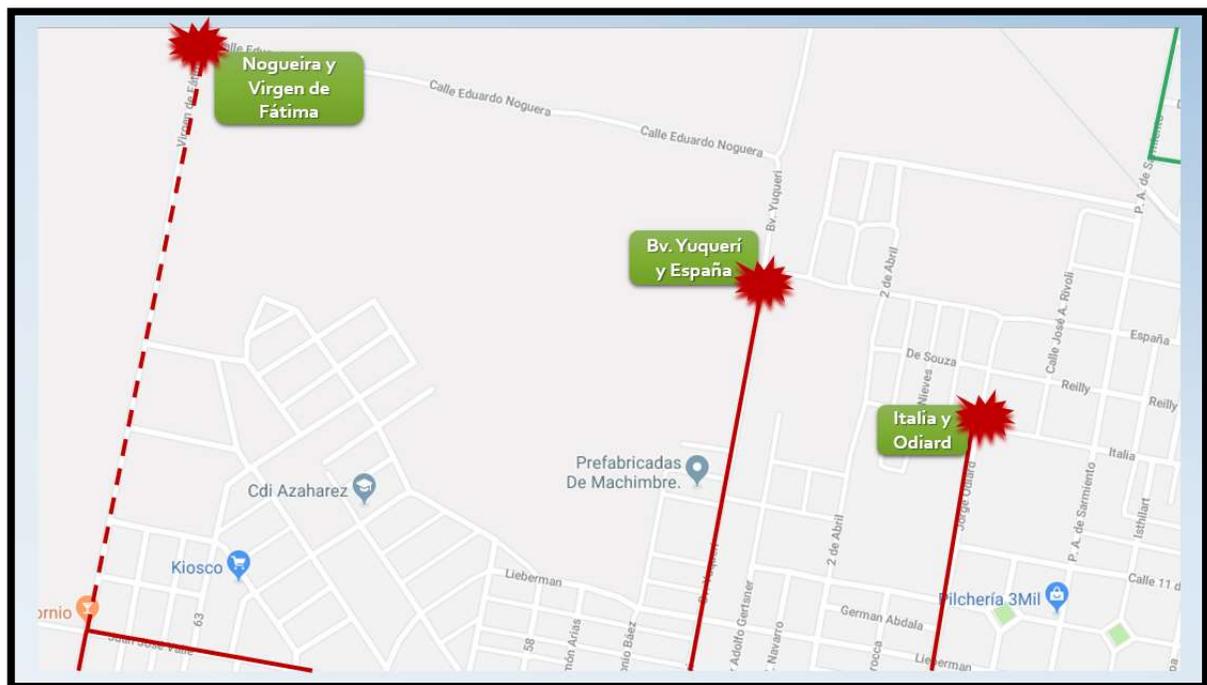
### Tramo 2. Planteo de la problemática

En este caso también se trata de una línea de 33[kV] perteneciente a la Central 2 de CEC.

El tramo que requiere modificación se encuentra en calle Virgen de Fátima entre Juan José Valle y Eduardo Nogueira, más específicamente el alimentador comprendido entre las subestaciones 479 y 415. La problemática que genera este tramo de alimentador es que es monofásico y la planta de elevación de residuos cloacales a instalarse en la intersección de las calles Eduardo Nogueira y Virgen de Fátima requiere una alimentación trifásica. Este requerimiento por parte de la planta no es debido a la potencia a instalar, ya que no es una carga de gran consideración, sino que es debido a que las bombas son trifásicas.

En este tramo, también existe el problema de una carencia energética a las nuevas viviendas allí dispuestas así como también un faltante de sistema mallado.

Si se observa el siguiente mapa se puede apreciar que las líneas de media tensión dejan hacia al norte varias manzanas con posibilidades de alcance sólo en baja tensión y sin posibilidades de interconexiones con otros tramos en media tensión. Es ésta una problemática importante ya que en esta zona están proyectadas alrededor de 600 viviendas nuevas.



Tramo 2 de líneas a reacondicionar. Representadas en rojo las líneas de MT intervinientes.

## Antecedentes

La empresa a cargo de la distribución en la ciudad de Concordia es la Cooperativa Eléctrica y Otros Servicios de Concordia Ltda. la cual cuenta en la zona Oeste con la Central

2, siendo ésta la encargada de abastecer de energía a las líneas que intervienen en este proyecto.

Esta central a su vez es alimentada desde la Estación transformadora Concordia (Propiedad de ENERSA).

Las líneas que se tratarán en este proyecto son las salidas 15 y 4 de la citada central.

### **Proyección de la demanda**

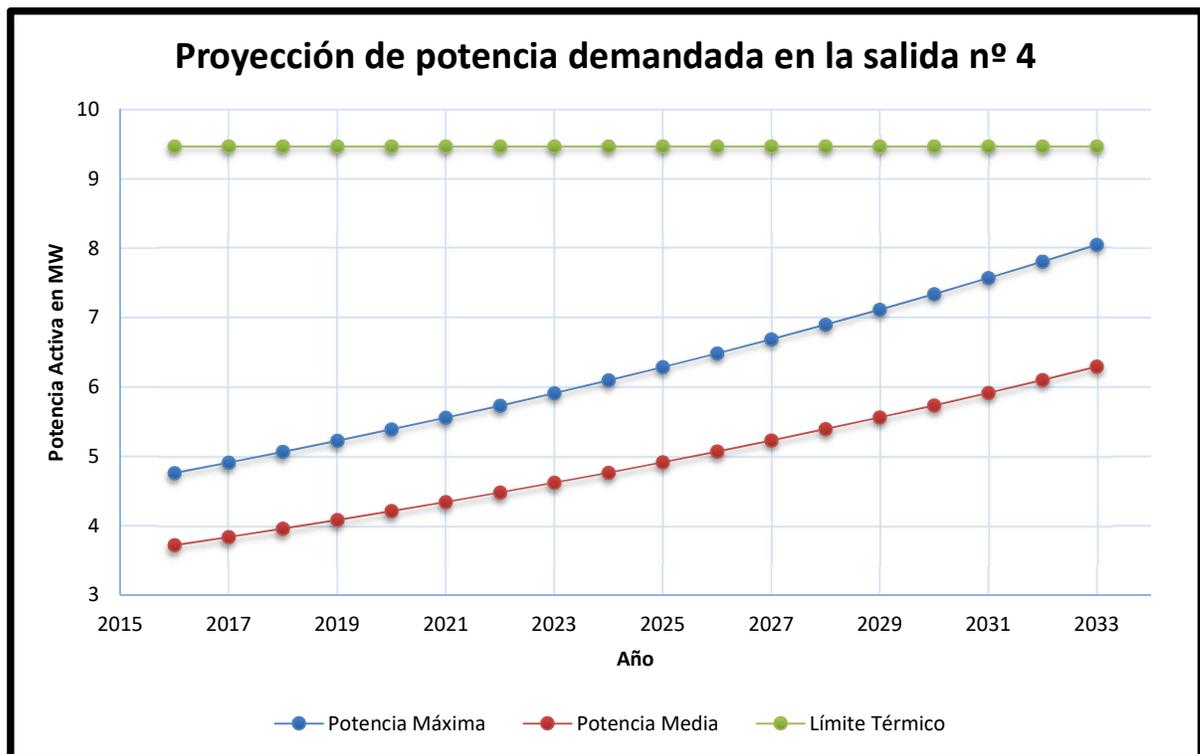
Para analizar la proyección de la demanda en las salidas que intervienen en el proyecto se ha tomado en cuenta la medición de potencia durante todo el año 2016 de cada salida y se las ha proyectado en una tabla con una tasa de crecimiento anual del 3,14%.

De esta forma y si se tienen en cuenta las potencias máximas de las líneas, se puede apreciar que el proyecto tiene una vida útil de más de 15 años, ya que recién para el 2033 la potencia comienza a acercarse al límite térmico del conductor. Pero si se tiene en cuenta los valores medios de potencia, la vida útil es mucho mayor, de esta forma se podrían realizar maniobras para alimentar los picos de demanda con líneas más aliviadas.

### Proyección de la salida 4

Año	Potencia máxima [MW]	Potencia media [MW]
2016	4,76	3,72
2017	4,91	3,84
2018	5,06	3,96
2019	5,22	4,08
2020	5,38	4,21
2021	5,55	4,34
2022	5,73	4,48
2023	5,91	4,62
2024	6,09	4,77
2025	6,28	4,92
2026	6,48	5,07
2027	6,68	5,23
2028	6,89	5,39
2029	7,11	5,56
2030	7,33	5,74
2031	7,56	5,92
2032	7,80	6,10
2033	8,05	6,29
<b>Tasa de crecimiento anual</b>		<b>3,14%</b>

Proyección de la demanda con horizonte de 15 años

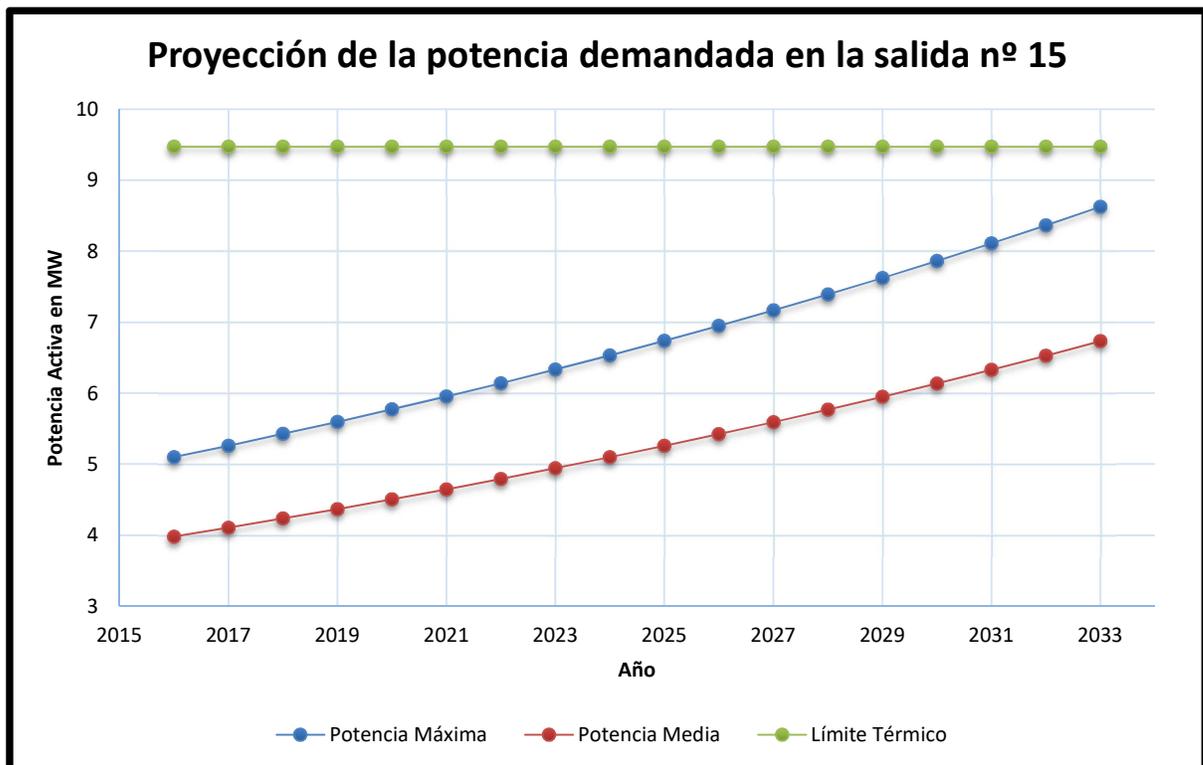


Proyección de la demanda con horizonte de 15 años

### Proyección de la salida 15

Año	Potencia máxima [MW]	Potencia media [MW]
2016	5,10	3,98
2017	5,26	4,10
2018	5,43	4,23
2019	5,60	4,36
2020	5,77	4,50
2021	5,95	4,64
2022	6,14	4,79
2023	6,33	4,94
2024	6,53	5,09
2025	6,74	5,25
2026	6,95	5,42
2027	7,17	5,59
2028	7,39	5,76
2029	7,62	5,94
2030	7,86	6,13
2031	8,11	6,32
2032	8,37	6,52
2033	8,63	6,73
<b>Tasa de crecimiento anual</b>		<b>3,14%</b>

Proyección de la demanda con horizonte de 15 años



Proyección de la demanda con horizonte de 15 años



## Soluciones propuestas

En el proyecto se utilizarán aisladores del tipo Line-post los cuales permiten conformar líneas más compactas con menor impacto visual y reducir el electroducto. Tendrán una inclinación de  $12[^\circ]$  respecto de la horizontal, ubicando el conductor en la posición lateral y utilizando como elemento de fijación una atadura elástica.

También debido a la elección de este tipo de aisladores se obtienen columnas de menor porte y costo que las determinadas por ménsulas de hormigón armado.

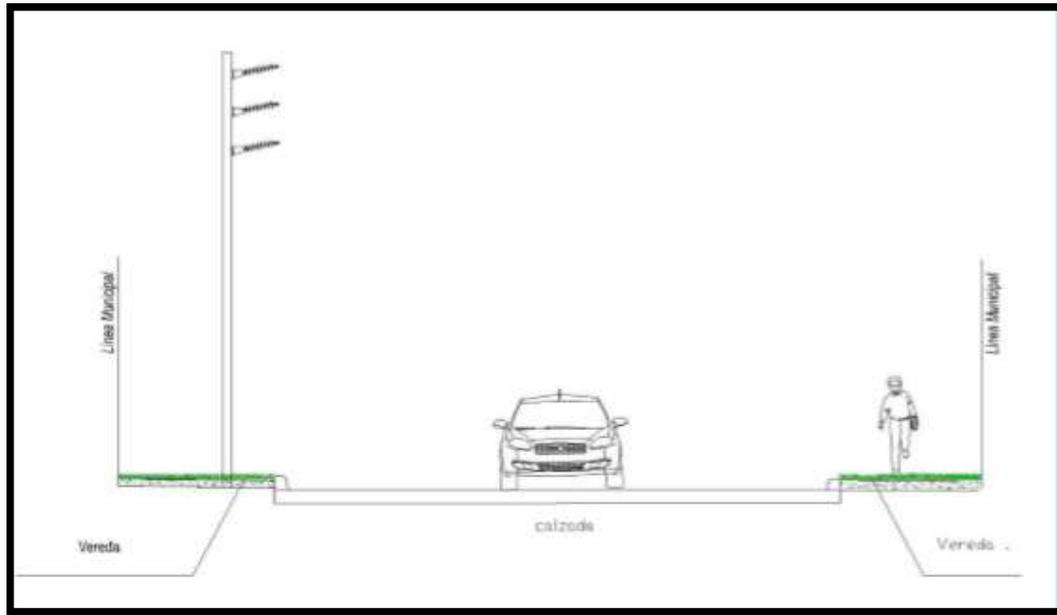
La altura libre se determinó a  $9[m]$ , teniendo en cuenta el valor brindado por la tabla 7.4-a (Norma AEA 95301, pp. 27) , la flecha máxima y considerando que, al tratarse de una línea del tipo urbana, deberá permitir el emplazamiento de otras instalaciones por debajo, así como contemplar futuras construcciones lindantes con dichas líneas .

El vano promedio fue planteado igual a  $90 [m]$  a modo de lograr una distribución uniforme y sin impacto visual sobre las calles promedio de la ciudad.

Todos los postes de madera existentes serán reemplazados por postes de hormigón troncocónicos normalizados para tal fin.

Los postes existentes de hormigón y en condiciones óptimas así como los soportes de las estaciones transformadoras distribuidas a través de la traza se mantendrán emplazados en los lugares originales de instalación.

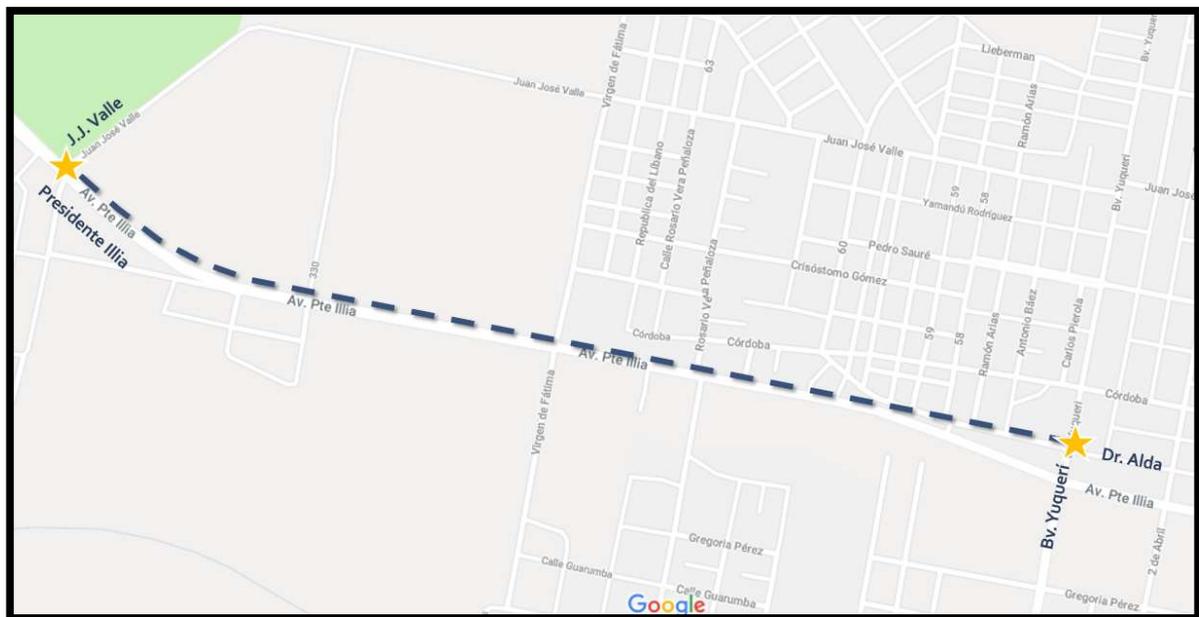
Los conductores utilizados en las líneas de este proyecto son de la marca Prysmian Prysal de Aleación Aluminio desnudo de  $50 [mm^2]$  de sección, compuesto por 19 hilos de sección circular. Este conductor fue elegido debido a que la mayor parte de la red de de media tensión de la CEC está construida con ese tipo de conductor, el cual cumple con los requerimientos de transmisión de potencia de la distribuidora mencionada.



Esquema de la configuración adoptada

### Solución propuesta al tramo 1

Verificar las bases existentes, reformando o rehaciendo aquellas que no respondan a las solicitudes, cambiar los postes de madera por postes de H<sup>9</sup>A<sup>0</sup> con aisladores tipo Line-post y modificando la traza en donde sea conveniente. Se busca utilizar la mayor cantidad de elementos existentes para reducir los costos. Esta nueva línea garantizará la seguridad, estabilidad y operación continua del sistema de distribución, además de contribuir con la estética del lugar.



Tramo 1.1 de línea a reparar y reemplazar.





Tramo 1.2 de línea a reparar y reemplazar.

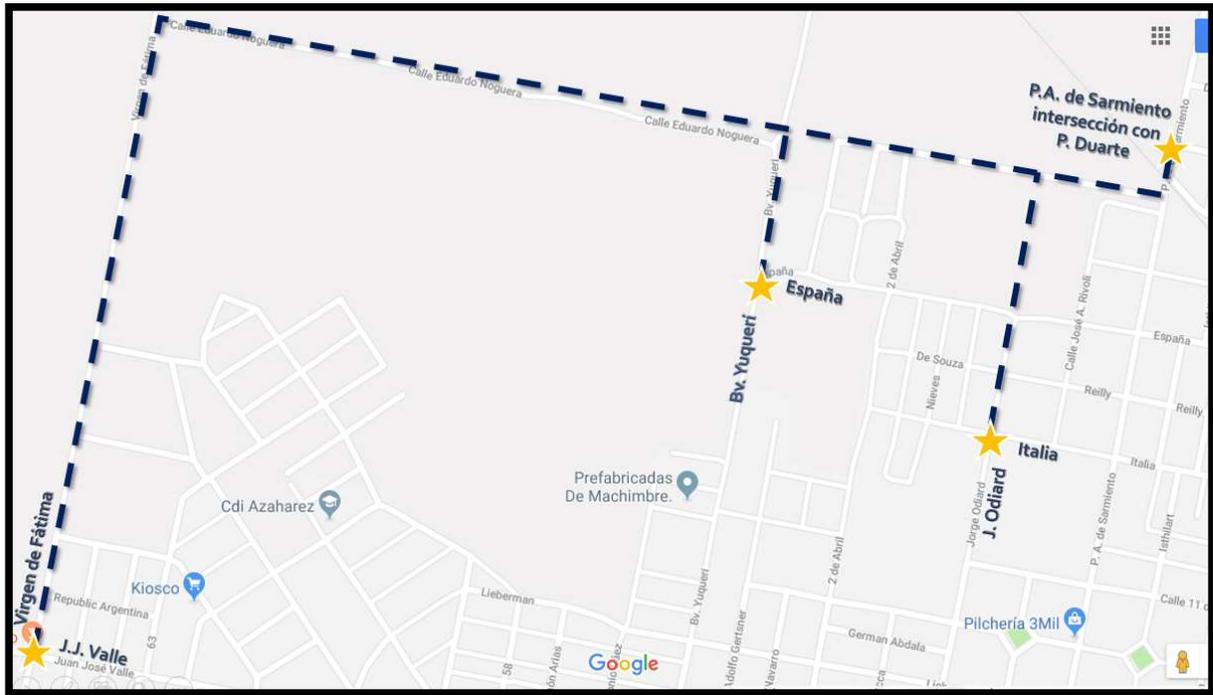
### Solución propuesta al tramo 2

Se propone extender la línea existente (salida N°4 de la central 2 de la CEC) por Virgen de Fátima hasta llegar a Ing. Eduardo Nogueira. Allí realizar un quiebre perpendicular hasta Paula Albarracín de Sarmiento en donde la nueva traza vuelve a realizar un quiebre a 90[°] hasta De los Viñedos, para encontrarse con la salida N°7 de la central 2 de la CEC.

Por otro lado, también se propone continuar con las líneas que se encuentran en calles Boulevard Yuquerí y Odiard respectivamente hasta encontrarse con la nueva traza sobre calle Ing. Eduardo Nogueira.

Cabe destacar que por calle Paula Albarracín de Sarmiento se encuentra otro alimentador de 33 [kV], la razón por la cual no se lo involucra en este mallado es porque éste es un alimentador troncal que comunica la Central 2 de la CEC con la Estación Transformadora Concordia de ENERSA.

En las siguientes imágenes se puede apreciar la ampliación propuesta y como quedaría el sistema mallado, proporcionando una mayor seguridad, estabilidad, mejor calidad del servicio brindado y una mayor maniobrabilidad ante perturbaciones externas.



Tramo 2 de línea a ampliar.

## Planificación de las actividades y cronograma

- ✓ Definición de la traza, estudios de suelos y planialtimetrías
- ✓ Programación de cortes y seccionamientos pertinentes
- ✓ Alimentación de tramos desafectados desde otras salidas
- ✓ Desplazamiento de postes de madera
- ✓ Construcción de bases de H°S°
- ✓ Construcción de base Pohl en reemplazo de la híbrida existente
- ✓ Montaje de columnas de H°A° en la ubicación especificada
- ✓ Tendido de nuevos conductores
- ✓ Reconexión de transformadores con sus respectivas protecciones
- ✓ Preparación de las zanjas
- ✓ Tendido de los cables
- ✓ Tapado de las zanjas y nivelado del terreno
- ✓ Montaje de acometida de subterráneos
- ✓ Revisión general y normalización de seccionadores
- ✓ Puesta en servicio

**Cronograma de actividades - Planilla Gantt**

Actividad	Cronograma de actividades - Planilla Gantt							
	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero
	1 5 10 15 20 25 31	1 5 10 15 20 25 31	1 5 10 15 20 25 30	1 5 10 15 20 25 31	1 5 10 15 20 25 30	1 5 10 15 20 25 31	1 5 10 15 20 25 31	1 5 10 15 20 25 28
<b>S</b> <b>a</b> <b>l</b> <b>i</b> <b>d</b> <b>a</b>  <b>1</b> <b>5</b>	Definición de traza y estudios de suelo	█						
	Programar cortes y seccionar							
	Alimentar tramos desafectados							
	Desplazamiento de postes de madera							
	Construcción de bases de H°S°		█					
	Construcción de base monobloque		█					
	Montaje de columnas de H°A°			█				
	Colocación de herrajes y aisladores			█				
	Tendido de nuevos conductores				█			
	Revisión general					█		
	Reconexión de transformadores						█	
	Puesta en servicio							█
<b>S</b> <b>a</b> <b>l</b> <b>i</b> <b>d</b> <b>a</b>  <b>4</b>	Definición de traza y estudios de suelo	█						
	Programar cortes y seccionar							
	Alimentar tramos desafectados							
	Construcción de bases de H°S°							
	Montaje de columnas de H°A°							
	Colocación de herrajes y aisladores							
	Tendido de nuevos conductores							
	Revisión general							
	Reconexión de transformadores							
	Puesta en servicio							
	Preparación de zanja					█		
	Tendido de cable					█		
	Tapado de la zanja y nivelado del terreno						█	
	Montaje de acometida de subterráneos						█	
	Revisión general							█
Normalización de seccionadores							█	
Puesta en servicio							█	



## Misión, visión, objetivos y justificación

### Misión

Fortalecer la red de media tensión de la zona Oeste de la ciudad, garantizando una mejora en la calidad de energía para posibilitar el desarrollo de las diversas actividades en la zona. Garantizar la seguridad de los transeúntes y maximizar la confiabilidad del servicio eléctrico apuntando directamente al fomento del progreso, tanto en materia educativa, laboral, ambiental, institucional y salud.



### Visión

Aportar soluciones que apunten directamente al bienestar de la región a través de la prestación de un servicio eléctrico de calidad que satisfaga las necesidades de las personas aumentando su nivel de vida, logrando de esta forma que los grupos sociales puedan expresar y poner en práctica sus valores cooperativos y talentos humanos.

### Objetivos

El objetivo de este proyecto es lograr que el sistema en la zona Oeste de la ciudad quede conformado en forma segura tanto para los transeúntes como para el personal de mantenimiento de las líneas, brindando el servicio a aquellos futuros ciudadanos que pueblen el lugar, garantizando la estabilidad del sistema ante perturbaciones exteriores, y favoreciendo el desarrollo social y el bienestar de la sociedad.

### Justificación

Esta inversión traerá consigo beneficios de índoles social, económico y técnico, que se depositarán directamente en los consumidores finales y en la misma empresa de distribución de energía eléctrica.

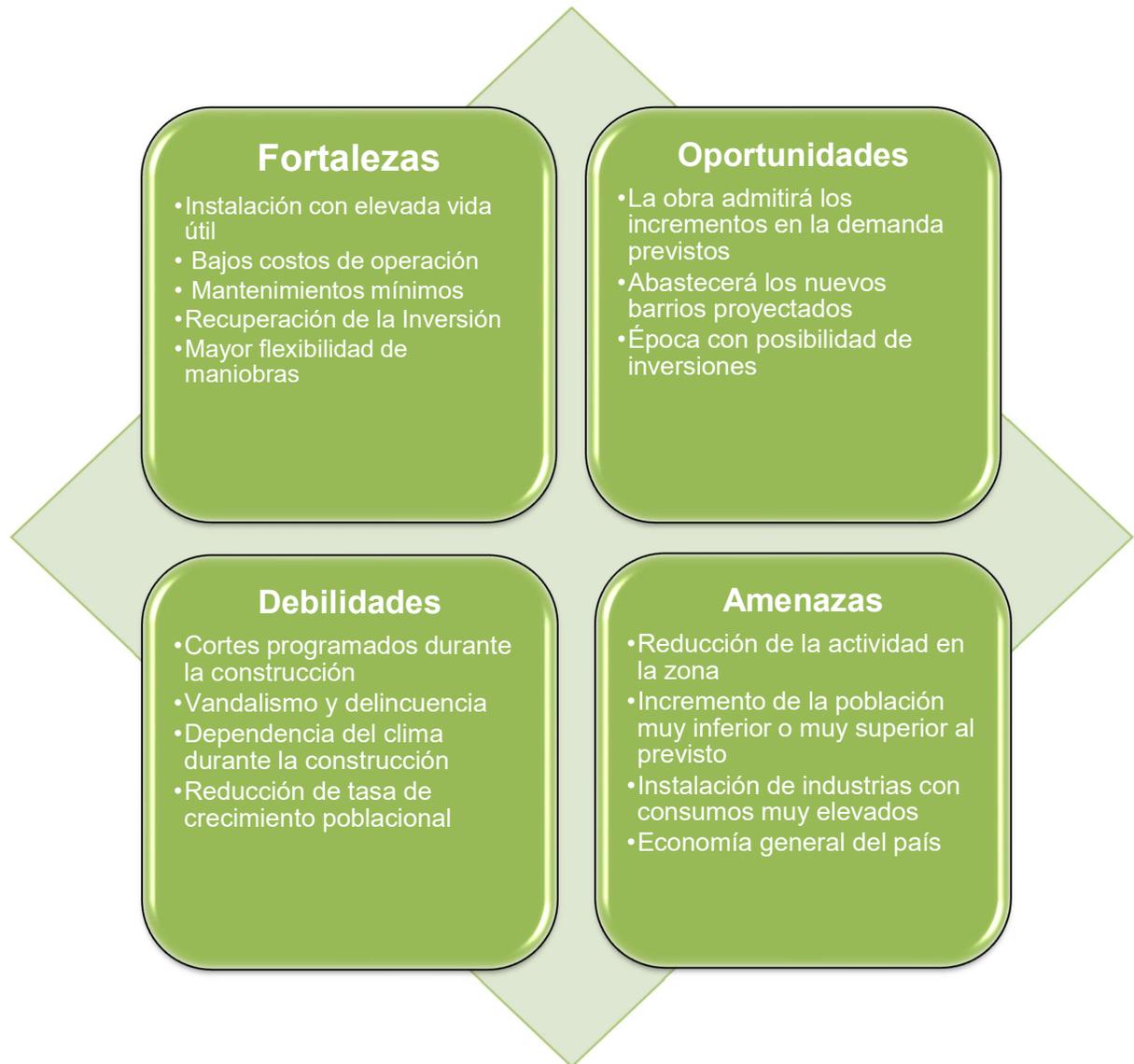
La utilización de postes de H<sup>º</sup>A<sup>º</sup> caracterizará a las líneas por su perduración en el tiempo gracias a que estas estructuras se ven menos alteradas por los agentes naturales que los postes de madera, de esta manera también se evita la necesidad de realizar grandes mantenimientos o recambios.

Por otra parte, la utilización de aisladores del tipo Line-post, genera un impacto visual menor que otras configuraciones y además son menos afectados por el vandalismo.

### **Leyes y normativas vigentes**

- ✓ Ley N° 24065 – Régimen de la energía eléctrica
- ✓ Resolución N° 77/1998 SE Nación
- ✓ Resolución SEE 1091/2017. Boletín Oficial n° 33.763
- ✓ Resolución N° 010/17 EPRE - Cuadro tarifario provincial
- ✓ Resolución N° 11 EPRE – EXPTE. EPRE N° 005/18 – Cuadro tarifario provincial
- ✓ AEA 95301 – Reglamentación de líneas aéreas exteriores de media y alta tensión
- ✓ AEA 95101 – Reglamentación sobre líneas subterráneas exteriores de energía y telecomunicaciones

## Análisis FODA



## Mercadotecnia

### Mercado

En los últimos años la zona en estudio ha aumentado notablemente la cantidad de población y junto con este aumento se ha incrementado la demanda de energía eléctrica. Para satisfacer las necesidades de todos es que habría que ampliar líneas de media tensión que abastecen energéticamente los barrios y reparar las existentes que se encuentren en mal estado.

El estudio que se realiza en este proyecto no tiene como objetivo obtener una ganancia al respecto sino que su finalidad es poder brindar una energía confiable y de calidad para poder satisfacer las necesidades de los habitantes.

### **Segmentación**

El proyecto está dirigido a la pequeña y mediana demanda, puesto que en la zona no existen grandes usuarios.

### **Diferenciación**

El proyecto garantizará la continuidad del servicio y la pronta reposición ante las fallas, las tareas de mantenimiento serán muy reducidas por la robustez y calidad de los componentes del sistema. Las facilidades de maniobras, no sólo aportan mayor grado de maniobrabilidad ante perturbaciones sino que también la posibilidad de alimentar tramos desde distintos puntos (no simultáneos) según sea necesario para poder responder ante máximos en el incremento de la demanda.

### **Posicionamiento**

La ejecución del proyecto permitirá abastecer la demanda actual y a mediano plazo cumpliendo con las normativas de servicio que exige el ente regulador.

### **Comunicación**

Se publicarán los rasgos generales de la obra, beneficios y costos en los medios audiovisuales de incumbencia de la Cooperativa Eléctrica de Concordia.

## **Análisis económico y financiero**

### **Recupero de la inversión**

El monto total invertido en el proyecto será recuperado por medio de la energía comercializada en la zona además de un ingreso por ahorros en mantenimiento.

El período de amortización en el escenario pesimista será de 12 años y 11 meses; en el escenario intermedio será de 10 años; y en el escenario optimista será de 4 años y 4 meses.

### **Estructuras por tramo**

Tramo	Suspensiones simples			Suspensiones angulares			Retenciones			Terminales		Longitud de conductores por fase [m]	Longitud total de conductores [m]							
	S		S+1	S+2		S	S+1	S+2	RS		RA			T						
	E	N	E	N	E	N	E	N	E	N	E			N	E	N				
By Yuquerí	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	182	546	
Colonia Roca	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	270	810
Nogueira	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1620	4860
Odiard	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	400	1200	
Presidente Illia Este	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	1	1930	5790
Presidente Illia Oeste	0	11	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	3	0	0	1	1800	5400
Virgen de Fátima	0	8	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	980	2940	
Abasto	0	8	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1170	3510
<b>Totales</b>	<b>1</b>	<b>67</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>9</b>	<b>8352</b>	<b>25056</b>

En la tabla se pueden apreciar las estructuras que pertenecen a cada tramo del proyecto, tanto las recuperadas o existentes (E) y las nuevas a colocar (N).

### Presupuesto y cómputo

El presupuesto del proyecto es de \$7.326.993,88 y el cómputo se encuentra adjunto en planillas de formato A3 en el capítulo 12 de este proyecto.

### Flujos de fondos

A la hora de realizar el flujo de fondos, se plantearon 3 escenarios. El escenario pesimista, el cual se aleja bastante de la realidad y se considera un aumento de clientes del 1,5[%] anual; el escenario intermedio se encuentra levemente por debajo de la tasa de crecimiento actual de clientes, esto es un 3[%] anual; y el escenario optimista considera un incremento de los clientes de 6[%] anual. Si se tienen en cuenta los barrios proyectados con más de 600 viviendas nuevas en la zona, se puede concluir que los dos últimos escenarios planteados no son descabellados.

En el escenario pesimista se registró un VAN negativo igual a \$3.072.373,48y una TIR del 5[%]

En el escenario intermedio se registró un VAN positivo igual a \$234.474,45 y una TIR del 13[%]

En el escenario optimista se registró un VAN positivo igual a \$11.729.868,12 y una TIR del 41[%]

Las planillas con los flujos se encuentran adjuntas en formato A3 en el capítulo 12 de este proyecto.

## Ingresos

Los ingresos vienen dados por la venta de energía a los usuarios y también ha de considerarse el ahorro de mantenimiento que se tiene ante la utilización de postes de H<sup>º</sup>A<sup>º</sup>.

Se han planteado 3 escenarios que son reflejados en los respectivos flujos de fondos y se confeccionaron las tablas a partir de las tarifas vigentes a la fecha (Junio de 2018) cuya resolución es la n<sup>º</sup>: **11** y el n<sup>º</sup> de expediente es el **005/18** del EPRE. Estas tarifas permiten y/o aumentan las posibilidades de realizar inversiones por parte de la distribuidora.

La tabla de ingresos se encuentra adjunta en planillas de formato A3 en el capítulo 12 de este proyecto.

En el escenario pesimista se obtendría en el año 2020 una diferencia de facturación en ascenso de \$844.057,84 y una diferencia de compra de energía de \$264.376,64 con respecto al año anterior.

En el escenario intermedio se obtendría en el año 2020 una diferencia de facturación en ascenso de \$1.451.288,92 y una diferencia de compra de energía de \$475.252,50 con respecto al año anterior.

En el escenario optimista se obtendría en el año 2020 una diferencia de facturación en ascenso de \$3.104.631,39 y una diferencia de compra de energía de \$897.004,23 con respecto al año anterior.

## Egresos

Los egresos en primera instancia vienen dados por un 25[%] del monto de la inversión que lo provee la cooperativa eléctrica, y un 75[%] que viene financiado por el Banco de Inversión y Comercio Exterior (BICE).

La compra de energía se realiza directamente en el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM), según resolución **SEE 1091/2017** de la secretaría de energía eléctrica de la República Argentina. Esta resolución establece distintos precios según la condición de los consumidores finales, para poder representar esto de la mejor forma posible es que se ha realizado un modelo estimativo que puede verse en las planillas adjuntas del capítulo 12.

Los gastos de operación, mantenimiento y facturación se estiman cada uno como un 1[%] del beneficio de venta de energía.

El pago del financiamiento se realizará en pesos argentinos y tendrá un plazo máximo de siete años con cuotas semestrales sin período de gracia.

El crédito tendrá las características de 70[%] a tasa fija del 25,72[%] y un 30[%] a tasa variable del 36,50[%].

Los egresos se encuentran adjuntos en planillas de formato A3 en el capítulo 12 de este proyecto.