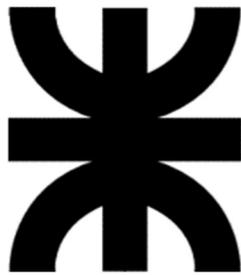


NICOLAS MARTIN GUTBROD



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

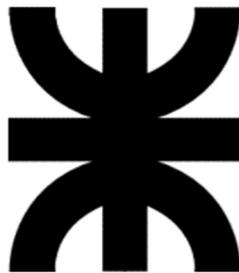
Facultad Regional Reconquista

**PROGRAMA PARA EL CÁLCULO ELÉCTRICO Y MECÁNICO DE LÍNEAS DE
TRANSMISIÓN AÉREA EN 132 kV EN LA PROVINCIA DE SANTA FE**

Reconquista

Año 2021

NICOLAS MARTIN GUTBROD



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

Facultad Regional Reconquista

**PROGRAMA PARA EL CÁLCULO ELÉCTRICO Y MECÁNICO DE LÍNEAS DE
TRANSMISIÓN AÉREA EN 132 kV EN LA PROVINCIA DE SANTA FE**

Proyecto Final presentado en cumplimiento de las exigencias de la Carrera Ingeniería Electromecánica de la Facultad Regional Reconquista, realizada por el estudiante Nicolás Martín Gutbrod.

Asesores: Ing. Cendra Claudio
Ing. Saucedo Nicolás
Dr. Martín Héctor

Reconquista, Santa Fe
República Argentina

Año 2021



DEDICATORIA

Dedico este logro académico y profesional a mi familia, por ser el mayor apoyo en mis estudios. Y también es para mis más cercanos amigos, por darme la motivación y el acompañamiento en mis años de carrera.



AGRADECIMIENTOS

A la comunidad de la Facultad Regional Reconquista, profesores y amigos. Quiero mencionar especialmente a todo el equipo que conforma y fueron parte del GRUDIM.

A los profesores que brindaron conocimiento en este trabajo, el Ing. Cendra Claudio, el Ing. Saucedo Nicolás y el Dr. Héctor Martín.

Por último, quiero agradecer a todos mis compañeros y a mi familia, por ayudarme aún cuando mis ánimos decaían. En especial, quiero hacer mención de mi padre, que siempre estuvo ahí para darme la ayuda necesaria para completar con éxito este proyecto.



RESUMEN

El presente trabajo final de carrera es el desarrollo de un programa informático que resuelve de manera rápida el cálculo del tendido eléctrico, obteniendo el conductor óptimo, para el transporte, los aisladores necesarios, el poste que se utiliza en cada tipo de estructura, las dimensiones y alturas en las que se encuentran las crucetas o ménsulas, en caso de tener dos o tres postes también se realiza el cálculo de la cantidad y la disposición que tienen los vínculos, y por último se determinan las dimensiones de las fundaciones. El usuario del programa debe contar con una base de datos con los diversos materiales a utilizar, como ser postes, conductores, hilos de guardia y aisladores. Luego debe introducir las características que va a tener el circuito, como ser la potencia para transmitir, la longitud de ésta, la cantidad de ternas y la disposición de las mismas. Con estos datos se realiza el cálculo eléctrico mediante el circuito Pi, y se obtiene el conductor a utilizar. Luego se le realiza el cálculo mecánico al conductor e hilo de guardia para ver si resiste mecánicamente, y si la flecha de estos no es muy próxima. A continuación se calculan los postes, que son las estructuras que van a sostener a los conductores. Luego se realiza el cálculo de las fundaciones que van a sostener toda la estructura, buscando el menor volumen de hormigón posible. Finalmente se calcula la franja de Seguridad y se realiza la tabla de tendido eléctrico.



CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. INGRESO DE DATOS	5
2.1. Datos para el cálculo eléctrico	6
3. CÁLCULO ELÉCTRICO DE LOS CONDUCTORES.....	9
3.1. Potencia nominal de la línea	9
3.2. Densidad de corriente permisible	9
3.3. Cálculo de sección nominal del conductor	10
3.4. Cálculo de la densidad de corriente	10
3.5. Cálculo de la resistencia	11
3.6. Cálculo de la resistencia efectiva.....	12
3.7. Cálculo de la reactancia inductiva	13
3.8. Cálculo de la reactancia capacitiva.....	18
3.9. Cálculo del circuito Pi.....	19
3.9.1. Cálculo de potencias	22
3.9.2. Pérdidas y Rendimiento.....	23
3.9.3. Regulación de tensión.....	24
3.9.4. Cálculo de la aislación	24
3.9.5. Cálculo de la cantidad de aisladores	25
4. DATOS PARA EL CÁLCULO MECÁNICO	26
5. CALCULO MECÁNICO DE LOS CONDUCTORES	29
5.1. Cálculos realizados.	29
5.1.1. Condiciones Climáticas	30
5.1.2. Características de los conductores	30
5.1.3. Cargas específicas aplicadas a conductores e hilo de guardia.	31
5.1.4. Cálculo del estado básico de conductores e hilo de guarda.....	33
5.1.5. Cambio de estado.....	35



5.1.6. Flecha.....	36
6. CÁLCULO DE ESTRUCTURAS	37
6.1. Distancia admisible entre conductores	37
6.2. Altura de las crucetas	37
6.3. Ángulo de inclinación de la cadena de aisladores	38
6.4. Cálculo de la longitud de la cruceta.....	39
6.4.1. Verificación de la distancia mínima a tierra	40
6.4.2. Criterio de ubicación del cable de guardia.....	40
6.5. Carga del viento sobre estructuras	41
6.6. Altura total de los postes.....	41
6.7. Vínculos	42
6.8. Coeficiente de seguridad.....	42
6.9. Hipótesis de carga para el cálculo de estructuras	42
6.10. Algoritmo de selección de postes	49
7. DATOS PARA EL CÁLCULO DE FUNDACIONES.....	51
8. CÁLCULO DE FUNDACIONES.....	53
8.1. Datos necesarios para realizar el cálculo	54
8.2. Dimensiones mínimas.....	56
8.3. Fórmulas utilizadas para el cálculo de fundaciones.....	60
8.3.1. Volúmenes y Pesos	60
8.3.2. Cálculo de momentos actuantes en la estructura	63
8.4. Coeficiente de Seguridad	64
8.5. Tensiones	65
8.6. Angulos límites	66
8.7. Verificaciones	66
8.8. Dimensionamiento de las fundaciones	67
8.9. Resultados de las fundaciones	71



9. FRANJA DE SEGURIDAD.....	73
10. TABLAS DE TENDIDO ELÉCTRICO.....	75
11. CONCLUSIONES.....	79
12. REFERENCIAS	80
ANEXO I TABLAS	81
ANEXO II CÓDIGOS DE IMPORTACIÓN DE DATOS.....	87
ANEXO III CÓDIGOS DE CARGA DE DATOS POR EL USUARIO	89
ANEXO IV CÓDIGOS DE CÁLCULOS GENERALES	92
ANEXO V CÓDIGOS DE CÁLCULOS DE HIPÓTESIS DE CARGA	100
ANEXO VI CÓDIGOS DE CÁLCULOS ESPECÍFICOS	106
ANEXO VII CÓDIGOS DE DIMENSIONAMIENTO FINAL.....	108
ANEXO VIII EJEMPLO DE USO DEL PROGRAMA.....	111
ANEXO IX PLANO PARA EL EJEMPLO DE USO DEL PROGRAMA.....	123



1. INTRODUCCIÓN

El motivo del presente Trabajo Final de Carrera es elaborar un programa informático, direccionado al cálculo de estructuras utilizadas en el transporte de la energía eléctrica de alta tensión.

El trabajo se encuentra intergramente enmarcado bajo las normativas estipuladas en la “Empresa Provincial de la Energía de Santa Fe” (de aquí en adelante EPE), y en “Condiciones para el cálculo y diseño de líneas de media y alta tensión” (ETN N° 160). Por lo antes dicho, el mismo se encuentra direccionado a instalaciones que se realicen dentro de la geografía de la provincia de Santa Fe.

A los fines de analizar la estructura para que resista todos los esfuerzos a los cuales estará sometido, se implementa: un cálculo mecánico de conductores, un cálculo de resistencia de materiales en los postes y un cálculo de las diferentes fundaciones.

En el algoritmo de cálculo que se ha elaborado se ha utilizado un programa de matemática simbólica.

Este programa informático para el cálculo de líneas aéreas pretende ser intuitivo y de fácil utilización, a los fines que un ingeniero proyectista pueda observar y seleccionar, con su buen criterio y conocimientos, los resultados que mejor se adapten al trabajo que se encuentra realizando. Por otro lado, se pretende que tenga un carácter didáctico y pueda ser utilizado por docentes y alumnos de las últimas asignaturas de Ingeniería, como ser “Centrales y Sistemas de Transmisión”, que se dicta en 5to año de la carrera de Ingeniería Electromecánica en la Facultad Regional Reconquista.

Hasta donde llegan los conocimientos del autor de este proyecto, actualmente un ingeniero que realice este tipo de cálculos se elabora sus propias planillas y realiza manualmente los procesos iterativos a los fines de encontrar las óptimas soluciones. Otra opción son los programas envasados, en donde el algoritmo es una caja cerrada, en la cual el proyectista no tiene acceso a controlar los procesos que se realizan y por otro lado los costos suelen ser elevados.

El orden en que se desarrolla este trabajo es el siguiente:

Primero se indican la forma en que se ingresan los datos al programa para cada elemento estructural, luego se mencionan los cálculos internos de cada una de las partes estructurales y se explican los algoritmos utilizados para finalmente mostrar, con ejemplos, de que manera el usuario puede observar los resultados obtenidos.



2. INGRESO DE DATOS

Es necesario que el el usuario ingrese, al comienzo, una serie de datos característicos del tendido eléctrico que se desea calcular.

El programa está preparado para tomar los datos de las diferentes planillas de cálculo Excel, por lo que siempre está la posibilidad de agregar o quitar filas de elementos.

Se muestran a continuación ejemplos de las planillas (Tablas 1 y 2), en donde el usuario debe ingresar los datos que utilizará en su proyecto. Es importante destacar que no se deben cambiar de lugar las columnas, debido a que, en el algoritmo de programación, la ubicación de cada elemento es tan importante como su valor. Los algoritmos de importación de datos se visualizan en el Anexo II, “Códigos de importación de datos”.

N°	Conductor	Sección Nominal	Seccion Real	Diámetro Exterior	Masa	Módulo de Elasticidad	Normativa
		[mm ²]	[mm ²]	[mm]	[Kg/km]	[daN/mm ²]	
5	Al/Ac	300/50	353,7	24,5	1230	7700	IRAM 2187
11	Al Mg Si	300	300	22,7	840	6950	IRAM 2212
15	Cu	240	240	20	2118	12000	IRAM 2004

Tabla 1: Ejemplo de un sector de planilla en donde se muestra el formato que posee y la distribución de sus características en columnas de algunos datos de conductores.

Los datos utilizados para la programación del algoritmo desarrollado que se obtienen de la Tabla 2 son solamente los que se encuentran en la columna 5, “Vano”, los demás datos son complementarios al proyecto que el operario este ejecutando.

Piquete	Estructura	Desvio	Referencia	Vano	Tramo	Progresiva
			Tramo desde ET	0,00		0,00
1	T	90°	Arranque en	80,10	80,10	80,10
2	S			223,20		303,30
3	S		Cruce camino	223,20		526,50
4	S		Cruce camino	223,20		749,70
5	S			223,20		972,90

Tabla 2: Ejemplo en donde se muestra el formato que posee y la distribución de sus características en columnas de algunos datos de Planilla Replanteo.



En el caso de que el usuario quisiera agregar mas datos para complementar sus estudios, no puede insertar columnas, ya que el algoritmo no esta preparado para esta acción, solo esta permitido agregar columnas a la derecha y se pueden adicionar todas las filas que se deseen.

2.1. Datos para el cálculo eléctrico

El usuario debe ingresar los datos característicos de la línea que desea calcular, a saber:

- L : Longitud total de la línea, en kilómetros
- P_b : Potencia base, en MW
- n : Vida útil, en años
- t : Tasa anual de crecimiento porcentual
- $\cos\varphi$: Factor de potencia.
- V_n : Tensión nominal, la cual, para este proyecto está preestablecida en 132kV.
- Vano: distancia general entre los postes, medida en metros.

El ingreso de estos valores, dentro del programa elaborado, se pueden observar en la Figura 1.

Vida util	25
Tasa anual de crecimiento	3
Cos φ	0.8

Potencia base en MW	150
Longtud Total en kilometros	40
Vano en metros	240

Figura 1: Captura de pantalla del programa elaborado en donde se muestra el ingreso de datos que debe realizar el usuario referente al tendido eléctrico que se desea calcular.

Es necesario que el usuario realice la selección de los siguientes datos:

-Tipo de conductor utilizado, los cuales pueden ser: aleación de aluminio con alma de acero según IRAM 2187-1, aleación de aluminio Magnecio Silicio (AlMgSi) según IRAM



2212 y Coble electrolítico según IRAM 2004. Lo mismo se puede observar como ejemplo en la Figura 2.

- Cantidad de conductores por fase, se muestra un ejemplo en la Figura 3.

-Tipo de Aisladores utilizados, los cuales pueden ser de suspensión o los line post, el mismo se observa en la Figura 4.

- Cantidad de ternas, en caso de seleccionar una doble terna, solamente se podrá utilizar una disposición coplanar vertical, como se ve en el ejemplo de la Figura 5, en caso de seleccionar una simple terna, puede ser con aisladores de suspensión, por lo que se habilita la opción de seleccionar la disposición: coplanar vertical, triángulo equilátero o coplanar vertical, como se observa en la Figura 6, y en caso de ser una simple terna con aisladores del tipo line post, se debe seleccionar entre entre la disposiciones coplanar vertical o triángulo equilátero, así como se observa en la Figura 7.

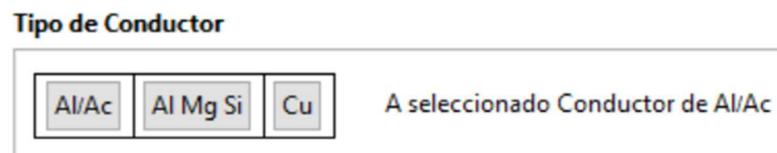


Figura 2: Captura de pantalla del programa elaborado en donde se muestra el ingreso del tipo de conductor.

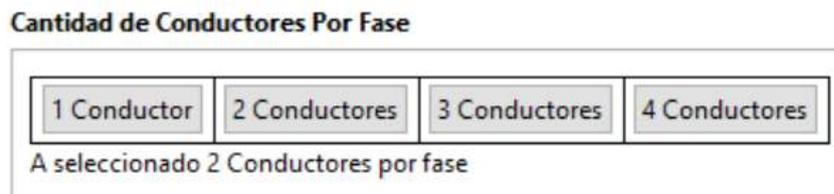


Figura 3: Captura de pantalla en donde se muestra el ingreso de la cantidad de conductores por fase.



Figura 4: Captura de pantalla del programa elaborado en donde se muestra el ingreso del tipo de aislador.



Cantidad de Ternas y Disposición

Cantidad de Ternas		Disposición
Simple Terna	Doble Terna	Doble Terna, Coplanar vertical

Figura 5: Captura de pantalla del programa elaborado en donde se muestra el ingreso de la cantidad de ternas y la disposición, en caso de seleccionar doble terna, únicamente admite la disposición coplanar vertical.

Cantidad de Ternas y Disposición

Cantidad de Ternas		Disposición			
Simple Terna	Doble Terna	Coplanar vertical	Triángulo equilátero	Horizontal	Triángulo Equilátero

Figura 6: Captura de pantalla en donde se muestra el ingreso de la cantidad de ternas, en caso de la selección de simple terna con aisladores tipo suspensión, se debe especificar la disposición de esta.

Cantidad de Ternas y Disposición

Cantidad de Ternas		Disposición		
Simple Terna	Doble Terna	Coplanar vertical	Triángulo equilátero	Simple terna, coplanar vertical

Figura 7: Captura de pantalla en donde se muestra el ingreso de la cantidad de ternas, en caso de la selección de simple terna con aisladores tipo line post, se debe especificar la disposición de la misma.



3. CÁLCULO ELÉCTRICO DE LOS CONDUCTORES

3.1. Potencia nominal de la línea

En primera instancia se debe realizar el cálculo de la potencia nominal de la línea, la cual representa la potencia máxima que soportará la línea teniendo en cuenta una tasa de crecimiento y una vida útil de la línea, la misma se calcula con la siguiente Fórmula:

$$P_n = P_b (1 + t)^n \quad (1)$$

En donde:

P_n : Potencia nominal de la línea en Kw.

P_b : Potencia base de la línea en Kw.

t : tasa de crecimiento en porcentaje.

n : vida útil medida en años.

3.2. Densidad de corriente permisible

Se realiza el cálculo de la densidad de corriente permisible mediante la siguiente fórmula:

$$j = \frac{U_L * \gamma * \alpha * \text{Cos } \varphi}{\sqrt{3} * L} \quad (2)$$

Siendo:

j : Densidad de corriente en A/mm^2 .

U_L : Tensión de línea en Kw.

γ : Conductividad del conductor en m/mm^2 .

α : Porcentaje de pérdidas admisible.

φ : Factor de potencia.

L : Longitud de la línea en Km.



3.3. Cálculo de sección nominal del conductor

Se realiza el cálculo de la sección nominal del conductor mediante la siguiente expresión:

$$S_n = \frac{P_n * L}{\alpha * \gamma * n * U_L^2 * \text{Cos}^2 \varphi} \quad (3)$$

En la cual:

S_n : Sección nominal del conductor en mm^2 .

P_n : Potencia nominal de la línea calculada en la Fórmula (1).

n : Cantidad de conductores por fase.

Una vez determinada la sección mínima necesaria del conductor se realiza una selección de un conductor con una sección mayor. El código para realizar esta acción se encuentran en el Anexo IV, Código 1.

3.4. Cálculo de la densidad de corriente

En primera medida se realiza el cálculo de la corriente

$$i_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} * U_L * \text{Cos} \varphi * n} \quad (4)$$

En donde:

i_n : Intensidad de corriente medida en A.

n : Cantidad de conductores por fase.

Luego se realiza el cálculo de la densidad de corriente

$$J = \frac{i_n}{S} \quad (5)$$

Siendo:

J : Densidad de corriente medida en A/mm^2 .

i_n : Intensidad de corriente medida en A determinada en la Fórmula (4).

S : Sección del conductor seleccionado, en mm^2 .



3.5. Cálculo de la resistencia

En los conductores cableados cilíndricos, para tener en cuenta el aumento de longitud de los hilos por el trenzado, se debe aumentar la resistencia en un 2%, en el caso de los conductores huecos el aumento es de 3 a 5%

La fórmula que se utiliza para realizar el cálculo de la resistencia a los 20 grados centígrados es la siguiente:

$$R_{20^{\circ}\text{C}} = \frac{\rho * l * C}{S} \quad (6)$$

Donde:

$R_{20^{\circ}\text{C}}$: Resistencia óhmica a 20 grados centígrados, obtenida en $\frac{\Omega}{\text{km}}$.

ρ : Resistividad del material medida en $\Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$.

l : Longitud estándar tomada igual a 1000 m.

C : Aumento porcentual en función de si es un conductor cableado cilíndrico o hueco.

S : Sección del conductor medida en mm^2 .

Luego se realiza el cálculo de la resistencia a la temperatura en condiciones de trabajo, la cual se considera igual a 50 grados centígrados, la fórmula utilizada es la siguiente:

$$R_{50^{\circ}\text{C}} = R_{20^{\circ}\text{C}} * (L * \alpha * \Delta t) \quad (7)$$

En el cual:

$R_{50^{\circ}\text{C}}$: Resistencia óhmica a 50 grados centígrados obtenida en $\frac{\Omega}{\text{km}}$.

$R_{20^{\circ}\text{C}}$: Resistencia óhmica a 20 grados centígrados obtenida en la Fórmula (6).

L : Longitud de la línea medida en Km.

α : Coeficiente de dilatación del material.

Δt : Variación de temperatura, para el caso estamos trabajando de 20 a 50 grados, por lo que este valor es igual a 30 grados.



Una vez obtenidas las resistencias de los conductores a 50 grados centígrados, si el cable cuenta con más de un material, se debe utilizar el siguiente cálculo para obtener la resistencia total.

$$R_{50^{\circ}\text{C}} = \frac{R_{50^{\circ}\text{CM1}} * R_{50^{\circ}\text{CM2}}}{R_{50^{\circ}\text{CM1}} + R_{50^{\circ}\text{CM2}}} \quad (8)$$

Siendo:

$R_{50^{\circ}\text{C}}$: Resistencia óhmica a 50 grados centígrados del conductor con dos materiales.

$R_{50^{\circ}\text{CM1}}$: Resistencia óhmica a 50 grados de un material (M1).

$R_{50^{\circ}\text{CM2}}$: Resistencia óhmica a 50 grados del otro material (M2).

El código para calcular las resistencias a 20°C y 50°C se encuentran en el Anexo IV, Código 2, y la selección de la resistencia total en función del material se encuentra en el mismo anexo, Código 3.

3.6. Cálculo de la resistencia efectiva

Debido al efecto pelicular o Skin, en conductores de corriente alterna se produce lo que es equivalente a una disminución de su sección, lo que se traduce en un aumento de la resistencia, la cual es llamada resistencia efectiva. La misma puede ser calculada a partir de la resistencia óhmica, para ello primero se calcula la variable “X”, y luego por medio de una tabla se obtiene el valor al cual modifica a la resistencia óhmica.

El valor de “X” es calculado mediante la siguiente Fórmula:

$$X = 0.05013 * \sqrt{\frac{f * \mu}{R_{50^{\circ}\text{C}}}} \quad (9)$$

Donde:

X: Variable necesaria para ingresar en la Tabla 3.

f: Frecuencia, la cual en Argentina es igual a 50 Hz.

μ : permeabilidad relativa del material.

$R_{50^{\circ}\text{C}}$: Resistencia óhmica, la cual es calculada en la Fórmula (7) para conductor de un solo material, y en la Fórmula (8) para conductor de varios materiales.



Una vez obtenido el valor de “X”, se procede a obtener el valor de “K” mediante la interpolación con los valores de la Tabla 3

X	K	X	K	X	K
0.0	1.00000	1.0	1.00519	2.5	1.17538
0.1	1.00000	1.1	1.00758	2.6	1.20056
0.2	1.00002	1.2	1.01071	2.7	1.22753
0.3	1.00004	1.3	1.01470	2.8	1.25620
0.4	1.00013	1.4	1.01969	2.9	1.28644
0.5	1.00032	1.5	1.02582	3.0	1.31809

Tabla 3: valor del coeficiente “K” en función del coeficiente “X”.

Una vez obtenido el coeficiente “K” se obtiene el valor de la resistencia efectiva mediante la Fórmula:

$$R_e = K * R_{50^{\circ}\text{C}} \quad (10)$$

En el cual:

R_e : Resistencia efectiva medida en $\frac{\Omega}{\text{km}}$.

k : valor obtenido de la Tabla 3.

El código para determinar la resistencia efectiva se encuentra en el Anexo IV, Código 4.

3.7. Cálculo de la reactancia inductiva

Para poder determinar la reactancia inductiva se debe realizar el cálculo de la Distancia Media Geométrica (DMG) y del Radio Medio Geométrico (RMG).

Distancia Media Geométrica de una simple terna

La distancia media geométrica se calcula en función de la cantidad de ternas y la disposición de estas, ya que depende de la distancia a la que se encuentran cada conductor respecto de los otros, en caso de tener una simple terna se realiza el siguiente cálculo:

$$\text{DMG} = \sqrt[3]{l_{ab} * l_{ac} * l_{bc}} \quad (11)$$

Siendo:

DMG: Distancia media geométrica, medida en metros.



l_{ab} : Distancia mínima entre el conductor "a" y el conductor "b".

l_{ac} : Distancia mínima entre el conductor "a" y el conductor "c".

l_{bc} : Distancia mínima entre el conductor "b" y el conductor "c".

Se observa a continuación, las distintas disposiciones de los conductores de una simple terna:

Disposición de Aisladores de Suspensión:

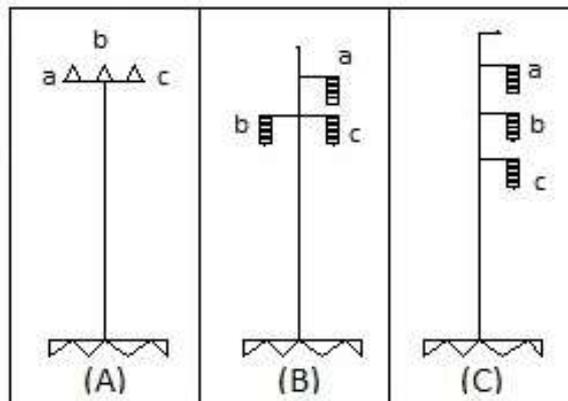


Figura 8: Circuito simple terna, con aisladores tipo suspensión con disposición: (A) coplanar horizontal, (B) Triangular, (C) Coplanar vertical.

Disposición de Aisladores tipo Line Post:

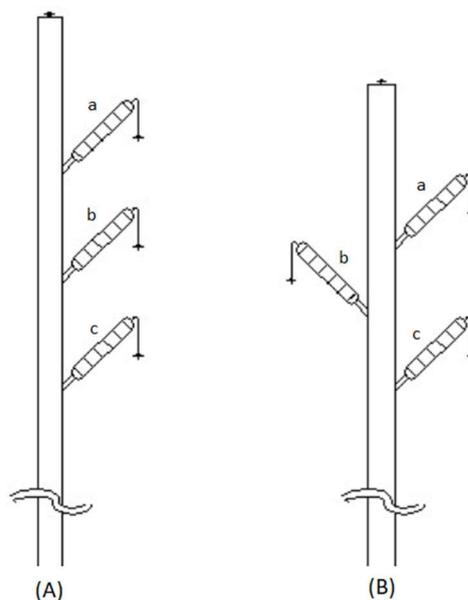


Figura 9: Circuito simple terna, con aisladores tipo line post con: (A) disposición coplanar vertical, (B) disposición Triangular.



Distancia Media Geométrica de una doble terna

En caso de seleccionar doble terna, únicamente existe la disposición coplanar vertical, el esquema de la ubicación de los cables se puede apreciar en la Figura 10 y se realiza la fórmula de los diámetros medios geométricos se la siguiente manera:

$$DMG_{ab} = \sqrt[4]{l_{ab} * l_{ab'} * l_{a'b} * l_{a'b'}} \quad (12)$$

$$DMG_{ac} = \sqrt[4]{l_{ac} * l_{ac'} * l_{a'c} * l_{a'c'}} \quad (13)$$

$$DMG_{bc} = \sqrt[4]{l_{bc} * l_{bc'} * l_{b'c} * l_{b'c'}} \quad (14)$$

Los valores que se encuentran dentro de la raíz son las distancias correspondientes entre cada conductor, el subíndice indica a que conductor corresponde.

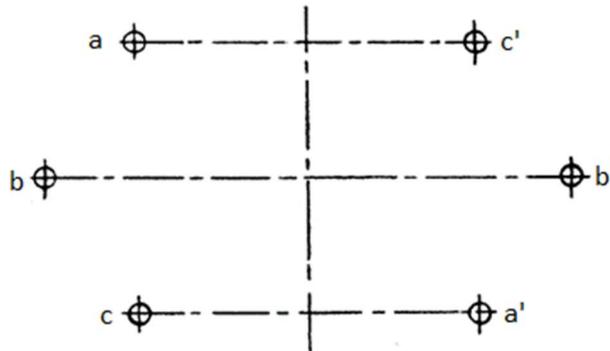


Figura 10: Disposición de un circuito con doble terna.

Radio Medio Geométrico de una simple terna

Se puede definir el radio medio geométrico de un conductor no magnético de cualquier forma como el radio exterior de un conductor tubular de espesor infinitesimal (de manera que todo el flujo sea exterior al conductor) que, para la misma corriente, produce el mismo flujo total que el conductor real al cual sustituye. Este valor depende de la formación de los conductores y se puede determinar para cada una de ellas, en la Tabla 4 se muestran los valores.



Alambre cilíndrico		0.779 r
Cable de un solo material		
7 hilos		0.726 r
19 hilos		0.758 r
37 hilos		0.768 r
61 hilos		0.772 r
91 hilos		0.774 r
127 hilos		0.776 r
Conductor de aluminio con alma de acero (ACSR)		
30 hilos (2 capas)		0.826 r
26 hilos (2 capas)		0.809 r
54 hilos (3 capas)		0.810 r
1 capa		0.55 r a 0.70 r

Tabla 4: Valor del radio medio geométrico.

Radio Medio Geométrico de una doble terna

En el caso de tener una doble terna de conductores, considerando que los conductores de los dos circuitos son iguales, que es lo que ocurre generalmente, se obtiene el radio medio geométrico de cada conductor mediante las siguientes Expresiones:

$$RMG_A = \sqrt{r_a * d_{aa'}} \quad (15)$$

$$RMG_B = \sqrt{r_B * d_{bb'}} \quad (16)$$

$$RMG_C = \sqrt{r_c * d_{cc'}} \quad (17)$$

En el cual:

r_a : Radio medio geométrico del conductor “a”.

r_a : Radio medio geométrico del conductor “b”.

r_a : Radio medio geométrico del conductor “c”.

$d_{aa'}$: distancia entre el conductor “a” y el “a'” en metros.

$d_{bb'}$: distancia entre el conductor “b” y el “b'” en metros.

$d_{cc'}$: distancia entre el conductor “c” y el “c'” en metros.



Reactancia inductiva para una simple terna

El cálculo de la reactancia inductiva se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$X_L := 0.00289 * f * \text{Log}_{10} \left[\frac{\text{DMG}}{\text{RMG}} \right] \quad (18)$$

Donde:

X_L : Reactancia inductiva medida en $\frac{\Omega}{\text{km}}$.

f : Frecuencia medida en Hz.

Reactancia inductiva para una doble terna

En el caso de una doble terna se debe realizar el cálculo de la reactancia inductiva mediante la siguiente fórmula:

$$X_L := 0.00289 * f * \text{Log}_{10} \left[\frac{\sqrt[3]{\text{DMG}_{AB} * \text{DMG}_{AC} * \text{DMG}_{BC}}}{\sqrt[3]{\text{RMG}_A * \text{RMG}_B * \text{RMG}_C}} \right] \quad (19)$$

Dos conductores por Fase

En el caso de que la línea tenga dos conductores por fase se realiza el cálculo del radio medio geométrico mediante la siguiente fórmula:

$$\text{RMG}_A = \text{RMG}_B = \text{RMG}_C = \sqrt{2 * R * r_1} \quad (20)$$

Siendo:

R : Distancia entre los dos conductores de la misma fase.

r_1 : Radio medio geométrico de cada conductor.

Para determinar la distancia media geométrica se considera la distancia lineal a la que se encuentran los conductores, por lo que las formulas utilizadas son:

$$\text{DMG}_{AB} = d_{AB} \quad (21)$$

$$\text{DMG}_{AC} = d_{AC} \quad (22)$$

$$\text{DMG}_{BC} = d_{BC} \quad (23)$$



Tres conductores por Fase

Considerando que los tres conductores son iguales, los radios medios geométricos están dados por la siguiente expresión:

$$\text{RMG} = \sqrt[3]{3 * r * R^2} \quad (24)$$

Las distancias medias entre fases considerando que los conductores son iguales, son las mismas que las utilizadas en las Fórmulas (21), (22) y (23).

Por lo que el cálculo de la reactancia inductiva es igual a la siguiente Fórmula:

$$X_L = 0.00289 * f * \text{Log}_{10} \left[\frac{\sqrt[3]{d_{AB} * d_{AC} * d_{BC}}}{\sqrt[3]{3 * r * R^2}} \right] \quad (25)$$

Cuatro conductores por Fase

El radio medio geométrico para cada conjunto de cuatro conductores es igual a:

$$\text{RMG}_A = \text{RMG}_B = \text{RMG}_C = \sqrt[4]{4 * r * R^3} \quad (26)$$

Las distancias medias geométricas son las mismas que para el caso de tres conductores por fase, y el cálculo de la reactancia inductiva es igual a la siguiente Fórmula:

$$X_L = 0.00289 * f * \text{Log}_{10} \left[\frac{\sqrt[3]{d_{AB} * d_{AC} * d_{BC}}}{\sqrt[4]{4 * r * R^3}} \right] \quad (27)$$

3.8. Cálculo de la reactancia capacitiva

Para realizar el cálculo de la reactancia capacitiva primero se debe determinar el valor del radio medio geométrico de un haz de “n” conductores iguales por fase, considerando que se utilizará el radio exterior de cada conductor y no el radio medio geométrico de cada conductor, ya que la carga de los conductores está en la parte superficial de éstos, la misma se determina mediante la Fórmula:

$$\text{RMG}_C = \sqrt[n]{n * r_e * R^{n-1}} \quad (28)$$



Donde:

n : Cantidad de conductores por fase.

r_e : radio del conductor.

Luego se realiza el cálculo de la reactancia capacitiva mediante la Fórmula:

$$X_C = \frac{6.596}{f * k} * \text{Log}_{10} \left[\frac{\text{DMG}}{\text{RMG}_C} \right] \quad (29)$$

3.9. Cálculo del circuito Pi

Para determinar las características que tiene el circuito se utiliza un modelo equivalente denominado “circuito Pi”. Esta equivalencia es empleada en el estudio de longitudes medias que van entre 20km a 80km. El circuito consta de una inductancia comprendida a lo largo de la línea, y de una capacitancia ubicada en cada extremo de la línea. La figura 11 se muestra el esquema correspondiente a lo mencionado anteriormente.

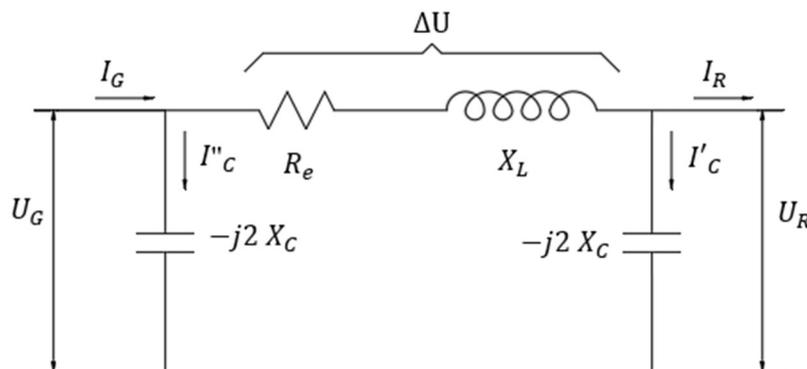


Figura 11: Circuito equivalente Pi.

Se calcula la tensión de fase en los extremos del receptor mediante la Expresión:

$$U_R = \frac{U_L}{\sqrt{3}} = \frac{132 \text{ kV}}{\sqrt{3}} = 76210.2 \text{ V} \quad (30)$$

Se realiza el cálculo de la impedancia que se produce en la línea, debido a la resistencia, y la reactancia capacitiva e inductiva.



$$Z = (R_e + j * X_L) * L \quad (31)$$

En el cual:

Z : Impedancia del circuito Pi.

R_e : Resistencia efectiva, obtenida de la Fórmula (10).

X_L : Reactancia Inductiva, obtenida de la Fórmula correspondiente, en función de la cantidad de ternas y la cantidad de conductores por fase, explicado anteriormente.

X_C : Reactancia capacitiva obtenida de la Fórmula (29).

L : Longitud de la línea, medida en kilómetros.

$$I'_C = \frac{U_R}{-j2 X_C} \quad (32)$$

Se calcula la corriente capacitiva del circuito Pi mediante la Fórmula:

$$I'_C = \frac{U_R}{-j * 2 * X_C} \quad (32)$$

Siendo:

U_R : Tensión de fase, medida en V.

X_C : Reactancia capacitiva obtenida de la Fórmula (29).

Se calcula la corriente resistiva del circuito Pi mediante la Expresión:

$$I_R = \frac{P_n}{\sqrt{3} * U * \text{Cos}[\varphi]} \quad (33)$$

Donde:

I_R : Corriente resistiva del circuito Pi, medida en Amper

P_n : Potencia nominal de la línea, calculada en la Fórmula (1)

U : Tensión de la línea, la cual para este proyecto es 132 kV.

$\text{Cos}\varphi$: Factor de potencia, obtenido en el punto 2.1: "Datos para el cálculo eléctrico y mecánico".



Luego se realiza el cálculo de la corriente total circundante por el circuito Pi, la cual es la suma entre las dos corrientes obtenidas en las Fórmulas (32) y (33):

$$I_{\pi} = I'_C + I_R \quad (34)$$

Luego se realiza el cálculo de la caída de tensión en el circuito mediante la Fórmula:

$$\Delta U = I_{\pi} * Z \quad (35)$$

En el cual:

ΔU : Caída de tensión en el circuito Pi, medida en Volt.

I_{π} : Corriente del circuito Pi, obtenida de la Fórmula (34)

Z: Impedancia del circuito Pi, obtenida de la Fórmula (31)

Se calcula el voltaje al neutro en el extremo generador de la línea mediante la Fórmula:

$$U_G = \Delta U + U_R \quad (36)$$

Siendo:

U_G : Voltaje al neutro en el extremo generador de la línea para el circuito Pi.

ΔU : Caída de tensión en la línea del circuito Pi.

U_R : Voltaje al neutro en el extremo receptor de la línea para el circuito Pi, obtenida en la Fórmula (30).

Se calcula la corriente I''_C mediante la fórmula:

$$I''_C = \frac{U_G}{-j * 2 * X_C} \quad (37)$$

Donde:

I''_C : Corriente

U_G : Voltaje al neutro en el extremo generador de la línea del circuito Pi, obtenido en la Fórmula (36).

X_C : Reactancia capacitiva obtenida de la Fórmula (29).

Se calcula la corriente I_G



$$I_G = I_\pi + I''_C \quad (38)$$

En el cual:

I_G : Corriente que se produce en el extremo receptor de la línea.

I_π : Corriente del circuito Pi, obtenida de la Fórmula (34).

3.9.1. Cálculo de potencias

En el extremo receptor:

Se determina la potencia aparente en el extremo receptor mediante la Fórmula:

$$S_R = \frac{P_n}{\cos \varphi} \quad (39)$$

Siendo:

S_R : Potencia aparente en el extremo receptor de la línea, medido en kVA

P_n : Potencia nominal de la línea en Kw.

$\cos \varphi$: Factor de potencia, obtenido en el punto 2.1: "Datos para el cálculo eléctrico y mecánico".

Se determina la potencia reactiva en el extremo receptor mediante la Fórmula:

$$Q_R = P_t * \text{Sen } \varphi \quad (40)$$

En el extremo generador:

Se determina la potencia aparente en el extremo generador mediante la Expresión:

$$S_G = 3 * U_G * I_G \quad (41)$$

Donde:



S_G : Potencia aparente en el extremo generador, medida en kVA.

U_G : Voltaje al neutro en el extremo generador de la línea del circuito Pi, obtenido en la Fórmula (36).

I_G : Corriente que se produce en el extremo receptor de la línea, obtenido de la Fórmula (38).

Como el valor de " S_G " es un número imaginario, podemos obtener el ángulo a partir de la siguiente Fórmula:

$$\delta = \text{Arctan}\left[\frac{S_{Gy}}{S_{Gx}}\right] \quad (42)$$

Siendo:

δ : Ángulo de la potencia aparente.

S_{Gy} : Valor imaginario de la potencia aparente.

S_{Gx} : Valor real de la potencia aparente.

Utilizando el ángulo determinado en la Fórmula (42), y el valor de la potencia aparente obtenida en la Expresión (41), se pueden determinar la potencia activa y reactiva en el extremo generador de la línea mediante las Fórmulas:

$$P_G = S_G * \text{Cos}[\delta] \quad (43)$$

$$Q_G = S_G * \text{Sen}[\delta] \quad (44)$$

3.9.2. Pérdidas y Rendimiento

Las pérdidas se calculan mediante las potencias con las formulas:

$$P = P_G - P_t \quad (45)$$

$$P_R = 3 * I_\pi^2 * R \quad (46)$$

El rendimiento se calcula en porcentualmente con la Fórmula:

$$\eta = \frac{P_t}{P_G} * 100 \quad (47)$$



3.9.3. Regulación de tensión

Se calcula primero la impedancia mediante la fórmula:

$$z = \sqrt{R^2 + j(X_L - X_C)^2} \quad (48)$$

Luego se calcula la corriente

$$I_0 = \frac{U_G}{z} \quad (49)$$

Con la corriente se puede calcular la tensión mediante la fórmula:

$$U_{R0} = 2 * X_C * I_0 \quad (50)$$

Con la tensión se puede calcular la regulación de tensión mediante la fórmula:

$$\text{Reg} = \frac{U_{R0} - U_R}{U_R} \quad (51)$$

3.9.4. Cálculo de la aislación

Cálculo de la tensión de contorno

Para el estado seco tenemos que:

$$V_{Cs} = \frac{2}{3} (1.5 + 3 * V_n) \quad (52)$$

Según las normas VDE 02010/2,58 la tensión de contorno bajo lluvia debe ser, para una cadena de aislación de suspensión:

$$V_{cm} = 1.1 * (2.2 * V_n + 20) \quad (53)$$

Se procede a seleccionar un aislador teniendo en cuenta las tensiones de contorno para el estado seco y bajo lluvia dado por las Fórmulas (52) y (53).



3.9.5. Cálculo de la cantidad de aisladores

Se realiza el cálculo de la cantidad mínima de aisladores que se deben utilizar para cada tipo de estructura planteada.

$$n_{\min} = \frac{U_{\max}}{l} L \quad (54)$$

Siendo:

n_{\min} : cantidad mínima de aisladores

U_{\max} : Tensión máxima de servicio

L : longitud de línea de fuga según ambiente

l : longitud de línea de fuga del aislador

Luego de realizar el cálculo de la cantidad mínima de aisladores, se adopta el valor establecido por la ETN 160, siempre y cuando éste último valor, sea mayor al calculado por la fórmula, estos valores se pueden observar en la Tabla 2 del Anexo I Tablas.



4. DATOS PARA EL CÁLCULO MECÁNICO

El usuario, debe realizar la planilla de Replanteo Tabla 2. La misma cuenta con la distancia de los vanos, que es la que se encuentra cada poste respectivamente de su anterior, con lo cual, se realiza una especie de promedio generalizado de la distancia media, que se verá en la Fórmula (55), y se conoce la cantidad de postes que se utilizarán.

A los fines de que el programa elaborado, pueda funcionar óptimamente en el proceso de cálculo mecánico, es necesario que el proyectista que lo utilice determine, a priori, los siguientes datos:

-Selección de la cantidad de hilos de guardias, este valor es ingresado de la forma que se muestra en la Figura 12. El código para relizar esta acción se encuentran en el Anexo III, Códigos 5 y 6



Figura 12: Captura de pantalla donde se muestra donde el usuario debe seleccionar la cantidad de hilos de guardia a utilizar.

-Selección del hilo de guardia, en la Figura 13 se toma una captura de pantalla donde el usuario debe realizar dicha selección. En la misma se muestra, en la parte superior, las referencias de los diferentes tipos de hilo de guardia.

HILO DE GUARDIA Referencias: AL: Alambre TA: Tubo de Aluminio AR: Armadura TPR: Tubo polimérico Reforzado

N°	Hilo de Guardia	Seccion [mm ²]	Diámetro Exterior [mm]	Peso [Kg/km]	Modulo de E. [daN/mm ²]	Coef de Dilatación [mm/°C]	Modulo de E. [kg/mm ²]
1.	○ Acero Galvanizado	47.52	9.	389.	20 594.	0.000012	21 000.
2.	○ Acero Galvanizado	70.85	10.5	580.	20 594.	0.000012	21 000.
3.	○ Acero rec. Aluminio	58.6	9.78	389.6	15 857.4	0.000013	16 170.
4.	○ OPGW – AL + TA	81.37	12.64	469.44	7709.99	0.00001438	7862.
5.	○ OPGW – AL + TA	98.84	14.25	558.33	8975.05	0.00001455	9152.
6.	● OPGW – AL + TA	115.32	15.2	672.39	11 120.7	0.00001428	11 340.
7.	○ OPGW – AL + TA	168.86	18.	902.51	14 432.4	0.00001482	14 717.
8.	○ OPGW – AL AR + TRP	114.9	15.6	562.	9706.62	0.0000163	9898.
9.	○ OPGW – AL AR + TRP	134.2	17.5	624.	8497.46	0.0000173	8665.
10.	○ OPGW – AL AR + TRP	134.2	17.5	563.	7805.11	0.0000188	7959.
11.	○ OPGW – AL AR + TRP	155.3	19.2	662.	7705.08	0.0000187	7857.

Figura 13: Captura de pantalla en donde se muestra la selección de datos que debe realizar el usuario referente al hilo de guardia, en este caso se ha seleccionado el número 6.



El usuario debe seleccionar la cantidad de postes que se va a utilizar en cada tipo de estructura, esto se realiza dentro del programa moviendo los deslizadores en las barras, como muestra la Figura 14. Estos deslizadores mostrarán valores discretos que van de 1 a 3. En el caso de seleccionar más de un poste en la estructura (2 o 3), los mismo tendrán características idénticas. El código para relizar esta acción se encuentran en el Anexo III, Código 7.

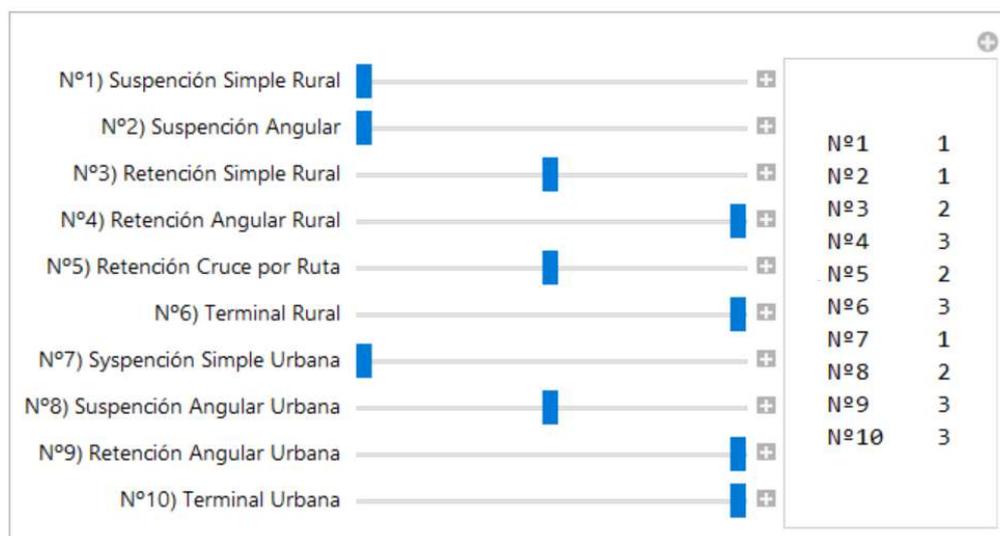


Figura 14: Ejemplo de selección de la cantidad de postes por cada uno de los diferentes tipos.

El programa elaborado cuenta con una base de datos de los postes. A los fines de optimizar las rutinas, y por ende aumentar las velocidades de proceso, se sugiere ingresar en la planilla solamente los postes que se utilizarán en la zona geográfica en la que se está realizando el cálculo. En la Tabla 5 se muestra el formato de dicha base de datos, con las características necesarias para el ingreso de los diferentes postes. Como se aclaró en tablas anteriores, es posible agregar filas en cualquier ubicación. En caso de necesitar agregar columnas, únicamente se permite a la derecha de la Tabla. En el anexo II el Código 8 es el empleado para realizar la carga de datos.

TABLA PESO - ØCima - ØBase				
PRODUCTO	Altura (m)	Peso (Kg)	Ø Cima(cm)	Ø Base (cm)
Po. 26,00 Ro. 4200 (40)	26	10624,00	40	79,00
Po. 26,00 Ro. 9000 (46)	26	13111,00	46	85,00
Po. 27,00 Ro. 4500 (40)	27	11333,00	40	80,50
Po. 27,00 Ro. 6450 (44)	27	12963,90	44	84,50
Po. 27,00 Ro. 7900 (44)	27	13482,00	44	84,50

Tabla 5: Ejemplo en donde se muestra el formato que posee la planilla con la distribución, en columnas, de las características de los Postes.



A los fines de realizar el cálculo estructural, es necesario conocer algunas características particulares, por ejemplo el peso y las longitudes de los aisladores, los mismos son obtenidos a partir de la selección que se realizó anteriormente, siendo aisladores de suspensión o de tipo line post, y luego con el cálculo realizado en el punto 3.13 “Cálculo de la aislación”.



5. CALCULO MECÁNICO DE LOS CONDUCTORES

El cálculo mecánico se realiza para determinar las tensiones mecánicas que soportan los conductores de fase y cables de guardia. Se utiliza la norma ETN n° 160. Se calculan las tensiones mecánicas verificando que, cualquiera sea la carga, no se supere en ningún caso el límite de rotura elástica o por fatiga del conductor. Se realiza el cálculo de la flecha, a los fines de respetar la altura mínima respecto del suelo, la cual se encuentra normalizada en función de la zona que atraviesa la línea. Esta altura mínima varía según se trate de zona rural o urbana.

5.1. Cálculos realizados.

Para el cálculo mecánico de los conductores y del hilo de guardia, se sigue las especificaciones dadas en la ETN n° 160 de la Empresa Provincial de la Energía de Santa Fe.

Vano de Regulación

El vano es la distancia comprendida entre dos soportes consecutivos y cuando los vanos correspondientes a una línea no son iguales se determina a efectos de cálculo, el denominado vano de regulación. Éste se utiliza para determinar la tensión uniforme que existe en los vanos de un conductor comprendidos entre dos apoyos de retenciones, para cualquier condición de temperatura o de sobrecarga. Dicho vano se calcula empleando la siguiente expresión:

$$V_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n a^3}{\sum_{i=1}^n a}} \quad (55)$$

Siendo:

V_r : Vano de regulación

n : Cantidad de vanos

a : Longitud del vano

El algoritmo de cálculo de la Fórmula (55) se observa en el Código 5 del Anexo IV



5.1.1. Condiciones Climáticas

Los conductores se deben tensar de modo que, sin importar la condición climática a que se encuentren sometidos, su tensión nunca supere a la máxima admisible.

A los fines de realizar el cálculo en las diversas condiciones climáticas que se pueden producir dentro de la provincia, la norma ETN 160 plantea cinco (5) estados climáticos que se deben verificar, las mismas están representadas en la Tabla 6.

Hipótesis	Temperatura (°C)	Velocidad del Viento (km/h)
1	+45 (máxima)	0
2	-10 (mínima)	0
3	15	145
4	-5	30
5	+16 (media anual)	0

Tabla 6: Condiciones climáticas de la provincia de Santa Fe.

5.1.2. Características de los conductores

En el presente trabajo se plantea utilizar una cantidad pequeña de conductores e hilo de guardia, aunque es posible aumentar este grupo simplemente agregando las características correspondientes de los mismos. En la Tabla 7 se muestran las tensiones máximas admisibles de tres conductores. Aleación de Aluminio con alma de Acero según IRAM 2187-1; Aleación de Aluminio Magnesio Silicio (AlMgSi) según IRAM 2212; y Cobre electrolítico según IRAM 2004.

Condiciones de Trabajo		Tensión Máxima Admisible σ_{\max} (daN/mm ²)		
		Materiales		
Hipótesis	Temperatura (°C)	Al/Ac	Al Mg Si	Cu
1	+45	11,00	14,00	17,50
2	-10	10,02	11,72	15,43
3	+15	10,81	12,65	16,65
4	-5	10,18	11,91	15,68
5	+16	5,98	4,40	8,50

Tabla 7: Tensiones admisibles de cada tipo de conductor.



La norma adoptada indica que para conductores de Al/Ac deberá verificarse que la tensión a la temperatura media anual sin carga de viento no sobrepase el valor que resulta de la siguiente expresión:

$$\sigma_{tma} = 5,2 \left(1 + 0,15 \frac{500 - V_r}{350} \right) \quad (56)$$

$$\sigma_{tma} < 5,98 \quad (57)$$

Siendo:

$-\sigma_{tma}$: Tensión a temperatura media anual sin carga de viento expresada en daN/mm^2

V_r : Longitud del vano de regulación medida en (m), obtenido por la Fórmula (55).

Esta expresión es válida para vanos comprendidos entre 150 y 500 metros, para los casos de vanos menores, corresponderá la tensión resultante para el vano de 150 metros.

El algoritmo de cálculo de las Fórmulas (56) y (57) se determina en el Código 6 y 7 del Anexo IV.

En el caso del hilo de guardia se toma como condición una tensión admisible para el estado de temperatura media anual de:

$$\sigma_{\max} = 16 \text{ (daN/mm}^2\text{)} \quad (58)$$

La tensión máxima admisible para los otros estados será:

$$\sigma_{\max} = 28 \text{ (daN/mm}^2\text{)} \quad (59)$$

5.1.3. Cargas específicas aplicadas a conductores e hilo de guardia.

Carga debida al viento

Se debe realizar el cálculo de la carga del viento sobre un (1) metro de longitud de cable, el mismo se evaluará según la siguiente expresión:

$$W_c = 0,75K \frac{V^2}{16} d \left(0,6 + \frac{80}{V_r} \right) \text{Sen}(\theta) \quad (60)$$



Donde:

W_c : Carga del viento sobre el cable, expresado en daN/m

V : Velocidad del viento (m/s)

K : Coeficiente de presión dinámica, el mismo se obtiene en función del diámetro del cable, ver tabla n°1 en el Anexo I Tablas

d : Diámetro del cable

V_r : Longitud del vano de regulación medida en (m), obtenido por la fórmula (55).

θ : Ángulo determinado por la dirección del viento y el eje del conductor.

En caso de que el valor del vano medio sea menor a 200m, el factor $\left(0,6 + \frac{80}{a_m}\right)$ se tomará igual a la unidad.

El algoritmo de la Fórmula (60) es realizado en el Anexo IV, por el Código 8 para el Conductor, y el por Código 13 para el hilo de guardia.

El valor de K se obtiene de la tabla n° 1 de la ETN 160, y está dado por el diámetro del cable, la misma se muestra en este proyecto en la Tabla 1 del Anexo I Tablas.

Para obtener el valor de la tensión producida por el viento, se divide por la sección.

$$C = \frac{W_c}{S} \quad (61)$$

Siendo:

C : Tensión por viento sobre el conductor, expresado en daN/(m * mm²)

S : Sección del conductor

Carga debido al peso propio

Para la carga específica impuesta por el peso propio del cable, se toma el valor dado por el catálogo del fabricante. Esta podrá ser agregada en las planillas correspondientes que se utilizan en el programa elaborado, la Fórmula utilizada es la siguiente:



$$W_g = \frac{P * 0.981}{1000} \quad (62)$$

Siendo:

W_g : Peso propio del conductor o hilo de guarda, expresado en daN/m

0.981: Constante para el pasaje de unidades de kg a daN

Para determinar el valor de la tensión producida por el peso propio, se debe dividir por la sección del conductor o hilo de guarda:

$$G = \frac{W_g}{S} \quad (63)$$

Siendo:

G: Tensión por peso propio, expresado en daN/(m * mm²)

S: Sección del conductor en mm²

Carga total debida a viento y peso propio

Debido a que el peso actúa en forma vertical y el viento en forma horizontal, simplemente se calcula su resultante utilizando el teorema de Pitágoras.

$$g = \sqrt{C^2 + G^2} \quad (64)$$

5.1.4. Cálculo del estado básico de conductores e hilo de guarda

Entre las cinco (5) condiciones climáticas presentes en la provincia de Santa Fe, se debe determinar cual es la condición que produce la máxima tensión en los cables. Respecto a las características mecánicas, se puede despreciar el estado climático de máxima temperatura, debido a que en este caso el cable se encuentra con mayor longitud (o sea mas estirado), produciendo la menor tensión de tracción. Este estado sí debe ser considerado para determinar la flecha máxima que se produce en el conductor e hilo de guardia.



En el proceso de cálculo es necesario realizar la comparación entre dos (2) condiciones climáticas, obteniendo la que produce la condición más desfavorable en el conductor e hilo de guardia, es decir que produce la máxima tensión mecánica. Las seis (6) comparaciones que se realizan son las siguientes:

$$E_{2-3} - E_{2-4} - E_{2-5} - E_{3-4} - E_{3-5} - E_{4-5} \quad (65)$$

Para realizar cada una de las comparaciones anteriormente mencionadas se utiliza la siguiente fórmula:

$$a_c = \sqrt{\frac{\alpha * Me * (t_1 - t_2) + \sigma_1 - \sigma_2}{\frac{Me}{24} * \left(\left(\frac{g_1}{\sigma_1}\right)^2 - \left(\frac{g_2}{\sigma_2}\right)^2\right)}} \quad (66)$$

Siendo:

a_c : Vano Crítico

α : Coeficiente de dilatación lineal

Me : Módulo de elasticidad

t_1 : Temperatura del estado 1

t_2 : Temperatura del estado 2

σ_1 : Tensión del estado 1

σ_2 : Tensión del estado 2

g_1 : Carga total del estado 1

g_2 : Carga total del estado 2

El algoritmo de la Fórmula (66) es realizado en el Anexo IV, por el Código 9 para el Conductor, y el por Código 15 para el hilo de guardia.

Una vez obtenidas las seis (6) comparaciones descritas por la ecuación (11), resueltas con la Fórmula (12), se debe determinar cual de ellas produce el estado crítico más desfavorable para la línea, por lo que se realiza la comparación entre los estados obtenidos en base a la Tabla 8 extraída de la ETN 160.



VANO CRITICO	COMPARACION	ESTADO BASICO
Real	Para <u>todo vano</u> menor que el crítico	el de menor g/p
	Para <u>todo vano</u> mayor que el crítico	el de mayor g/p
Imaginario	Todo vano	el de mayor g/p
∞ $\left(\begin{matrix} g_1 - g_2 = 0 \\ p_1 - p_2 \end{matrix} \right)$	$\alpha E(t_1 - t_2) + p_1 - p_2 < 0$	el estado 1
	$\alpha E(t_1 - t_2) + p_1 - p_2 > 0$	el estado 2
	$\alpha E(t_1 - t_2) + p_1 - p_2 = 0$	cualquiera de los dos
	$g_1 = g_2 \cdot p_1 = p_2$	el de menor temperatura

Tabla 8: Comparación de estados.

Para determinar cual de los cuatro (4) estados es el más desfavorable, se toma el estado más recurrente entre las seis (6) condiciones obtenidas en la Expresión (65). La función que determina esta acción es realizada en el Anexo IV, por el Código 10 para el Conductor, y el por Código 15 para el hilo de guardia.

5.1.5. Cambio de estado

Con la siguiente expresión se calculan las tensiones a las que se encuentra sometido el cable e hilo de guarda en cada uno de los estados climáticos, las cuales no debe superar a las tensiones establecidas para cada estado:

$$\sigma_i^3 - \sigma_i^2 \left(-\frac{V_r^2 g_r^2 E}{24 \sigma_r^2} - \alpha E(t_i - t_r) + \sigma_r \right) = \frac{V_r^2 g_i^2 E}{24} \quad (67)$$

Para realizar el cálculo se toma como subíndice “r” el del estado básico obtenido anteriormente, y se obtiene el valor de “ σ_i ”, siendo el subíndice “i” la representación de los demás estados a los cuales se le esta obteniendo la tensión.

Una vez obtenida la tensión correspondiente a cada uno de los estados, se debe comparar con la máxima admisible que dicta la norma, en base a la Tabla 7.

El algoritmo de la Fórmula (67) es realizado en el Anexo IV, por el Código 11 para el Conductor, y el por Código 16 para el hilo de guardia.



5.1.6. Flecha

El cálculo de la flecha se lo realiza mediante la ecuación de la parábola, ya que la norma estipula que para vanos menores de 700 m no es necesario realizar el cálculo de la catenaria.

Las flechas de los conductores y cable de guardia serán aquellas que resulten del cálculo para los cuales no serán superadas las tensiones máximas admisibles establecidas en las condiciones de máxima carga.

La Fórmula utilizada es:

$$f = \frac{V_r^2 g}{8 \sigma} \quad (68)$$

En donde:

f : Flecha del cable en metros.

V_r : Vano de regulación, obtenido por la fórmula (55)

g : Carga total debido a viento y peso propio, obtenido por la fórmula (64)

σ : Tensión a la que se encuentra sometido el cable, obtenido por la fórmula (67)

El algoritmo de la Fórmula (68) es realizado en el Anexo IV, por el Código 12 para el Conductor, y el por Código 17 para el hilo de guardia.

Dado que el conductor debe ser protegido por el cable de guardia, se debe verificar que la distancia entre los mismos en el medio del vano sea mayor que la distancia de separación existente en el poste. Para que ello ocurra se calcula el cable de guardia verificando que se cumpla para todos los estados de caga que:

$$f_{hg} < 0,9 * f_{conductor} \quad (69)$$

Siendo:

f_{hg} : Flecha del hilo de guardia en el medio del vano.

$f_{conductor}$: Flecha del conductor en el medio del vano.

El algoritmo de la Fórmula (69) es realizado en el Código 18 del Anexo IV.



6. CÁLCULO DE ESTRUCTURAS

Las características necesarias utilizadas para el cálculo de estructuras fueron introducidas previamente, por lo que a continuación se procede a realizar los cálculos necesarios para determinar la altura mínima que debe tener cada uno de los postes, para luego verificar que el mismo resista a cada una de las solicitaciones planteadas por la norma.

6.1. Distancia admisible entre conductores

Según ETN 160, se determina la distancia mínima a la que deben estar los conductores en el medio del vano mediante la siguiente Fórmula:

$$D_{\text{min. Cond-Cond}} = k \sqrt{f + L_k} + \frac{u_n}{150} \quad (70)$$

Donde:

k : coeficiente que depende del tipo de conductor, material y de la disposición geométrica, ver Tabla 3 del Anexo I Tablas

f : flecha máxima

L_k : Longitud de la cadena de aisladores

u_n : Tensión nominal en (kV)

6.2. Altura de las crucetas

Para obtener la altura mínima a la que se debe tener la primera cruceta se utiliza la siguiente Fórmula:

$$H_{m1} = D_{\text{min. Cond-suelo}} + f_{\text{max}} + L_k \quad (71)$$

Siendo:

$D_{\text{min. Cond-suelo}}$: La altura mínima que debe existir entre el conductor y el suelo viene dado por la Tabla 4 del Anexo I Tablas, establecido en la ETN 160.

f_{max} : flecha máxima que puede producir el conductor, obtenida del cálculo de la Fórmula (68)



L_k : Longitud de la cadena de aisladores de suspensión

Con la altura, desde el suelo, a la que se encuentra la primer cruceta, se pueden obtener las alturas de la segunda y tercer cruceta. La altura de la primer cruceta se obtiene de la fórmula (72) y la distancia mínima entre conductores, viene dada por la expresión (73).

$$H_{m2} = H_{m1} + D_{\text{min. Cond-Cond}} \quad (72)$$

$$H_{m3} = H_{m2} + D_{\text{min. Cond-Cond}} \quad (73)$$

El algoritmo utilizado para realizar el cálculo de las Fórmulas (72) a la (73) es realizado por el Código 19, en el Anexo IV.

6.3. Ángulo de inclinación de la cadena de aisladores

Se realiza el cálculo de la carga del viento sobre el conductor, la cual viene dada por:

$$W_{c\text{Tot.}} = W_c * V_r \quad (74)$$

Siendo:

$W_{c\text{ tot.}}$: carga del viento aplicada sobre todo el conductor

W_c : Carga del viento aplicado en un (1) metro de conductor, obtenido por la fórmula (60)

V_r : Vano de regulación, obtenido por la fórmula (55)

Se realiza el cálculo de la carga del viento sobre los aisladores, la cual viene dada por:

$$W_a = n_{\text{aisladores}} * F_{\text{aislador}} \quad (75)$$

En el cual:

W_a : Carga del viento sobre los aisladores

$n_{\text{aisladores}}$: Cantidad de aisladores, obtenido de la Tabla 2 del Anexo I Tablas

F_{aislador} : Carga del viento producida sobre cada aislador, se obtiene de la ETN 160, y es igual a 1.5 (daN), este valor resulta de la Tabla 5 del Anexo I Tablas.



Para determinar el ángulo de inclinación de la cadena de aisladores se utiliza la fórmula:

$$\text{Tan}\varphi = \frac{W_{c\ tot.} + \frac{1}{2}W_a}{P_c + \frac{1}{2}P_a} \quad (76)$$

Siendo:

$W_{c\ tot.}$: Carga del viento sobre el conductor, obtenido por la fórmula (74)

W_a : Carga del viento sobre los aisladores, obtenido por la fórmula (75)

P_c : Peso del conductor, obtenida del ingreso de datos de cables

P_a : Peso de la cadena de aisladores, obtenida del ingreso de datos de aisladores.

El algoritmo utilizado para realizar el cálculo de la Fórmula (76) es realizado por el Código 21, en el Anexo IV.

6.4. Cálculo de la longitud de la cruceta

Según la disposición que se tenga de los conductores y de la cantidad de temas, se puede poseer hasta tres (3) crucetas, y con el fin de emplear el mismo modelo se consideran las tres (3) iguales, por lo que se debe dimensionar la cruceta más próxima al nivel del suelo, ya que es la situación más desfavorable.

La fórmula utilizada es:

$$L_m = l_c * \text{Sen}\varphi + d_{mm} + \frac{d_{pm}}{2} \quad (77)$$

Siendo:

l_c : Flecha del puente de conexión, según la ETN 160 la misma es para las estructuras de retención, y es igual a 1,5 metros, obtenido de la Tabla 6 del anexo I Tablas

φ : Máximo ángulo de inclinación permitido del puente, obtenido de la Tabla 7 del anexo I Tablas

d_{pm} : Diámetro del poste a la altura de la cruceta en metros

d_{mm} : Distancia mínima respecto de masa, se lo calcula mediante la fórmula:



$$d_{mm} = \frac{U_N}{150} \quad (78)$$

Siendo:

U_N : Tensión nominal de trabajo en (kV)

Una vez obtenida la longitud de la cruceta, se adopta un valor redondeado al primer decimal mayor.

6.4.1. Verificación de la distancia mínima a tierra

Se debe verificar que la distancia bajo la acción del viento máximo (condición A) y bajo la acción del viento a 72 (km/h) e impulso (condición B), superen los valores preestablecidos por la normativa en cada uno de los postes. Este valor se lo obtiene en función de la cantidad de aisladores que presenta cada poste, obtenido de la Gráfico 1 del anexo I Tablas.

6.4.2. Criterio de ubicación del cable de guardia

El criterio utilizado para la ubicación del cable de guardia es el de Wagner y Mac Cann, el cual establece que el ángulo que forma la vertical que pasa por el hilo de guardia, y la recta que se forma al unir el punto por donde pasa el hilo de guardia y el conductor, no debe superar los 30°.

Para realizar el cálculo se toma en cuenta la cantidad de hilos de guardia utilizados, en caso de utilizar dos (2) hilos de guardia los mismos se encuentran separados 0,5 metros de la vertical del poste, por lo que las fórmulas utilizadas en cada caso son:

Para un (1) hilo de guardia

$$\theta = \text{ArcTan}\left(\frac{A}{B}\right) \quad (79)$$

Para dos (2) hilos de guardia

$$\theta = \text{ArcTan}\left(\frac{A - 0,5}{B}\right) \quad (80)$$

Siendo:



A: Distancia horizontal del hilo de guardia y el conductor en metros.

B: Distancia vertical del hilo y el conductor en metros.

El cálculo del ángulo se lo realiza únicamente con el conductor que se encuentra en la parte superior, ya que se considera que, si éste cumple con la condición, los conductores inferiores deben cumplirla.

$$\theta < 30^\circ \quad (81)$$

6.5. Carga del viento sobre estructuras

La carga del viento por unidad de superficie se calculará mediante la expresión:

$$W_e = k \frac{v^2}{16} \text{Sen}(\theta) \quad (82)$$

Siendo:

W_e : Carga del viento sobre estructuras, expresado en daN/m²

v : Velocidad del viento en m/s

k : Coeficiente de presión dinámica, obtenido de la Tabla 8 Anexo I Tablas

θ : Ángulo determinado por la dirección del viento y el plano que contiene el elemento de superficie considerado.

6.6. Altura total de los postes

Una vez obtenida la altura del poste sobre el suelo, a los postes de hormigón armado se los entierra un 10% de la altura total, por lo que la altura total del poste que se obtiene es:

$$H_t = \frac{10}{9} h_{\text{suelo}} \quad (83)$$

Siendo:

H_t : altura total del poste, expresado en metros

h_{suelo} : altura del poste sobre el suelo, expresado en metros

Con el valor obtenido por la Fórmula (83) se procede a seleccionar un poste normalizado de altura inmediatamente mayor.



6.7. Vínculos

La cantidad de vínculos a colocar entre la cara inferior de la ménsula más cercana al suelo y el nivel del piso estará dada por la Tabla 9 que se encuentra en el anexo I Tablas.

En función de la cantidad de vínculos, se determina la distancia de separación que hay entre uno y otro. A partir de la mensula inferior, las distancias que hay de separación entre cada uno de los vínculos viene dada por la Tabla 10 que se encuentra en el anexo I Tablas.

La altura o espesor de los vínculos será referido desde la cima hacia la base, el primer y segundo vinculo, tendrán el mismo espesor, el tercero y el cuarto tendrán un incremento en el espesor de 50 mm. Los siguientes vínculos aumentarán su espesor acumulativamente 50 mm. cada uno.

Lo descrito se realiza mediante los Códigos (23) y (24) del Anexo IV.

6.8. Coeficiente de seguridad

Se adoptarán como mínimo coeficientes de seguridad tres (3) para cargas normales y dos (2) para cargas extraordinarias en los cálculos de estructuras y sus accesorios en línea de alta tensión de 132kV.

Para este proyecto se utilizan estructuras compuestas de hormigón armado.

En el caso de estructuras con dos (2) postes se consideran los esfuerzos simultáneos en las dos direcciones ortogonales admitiéndose que la resistencia en el sentido de mayor momento de inercia es ocho (8) veces a la correspondiente a cada poste simple, y en la dirección normal dos (2) veces.

En las estructuras compuestas por tres (3) postes se considera la resultante de los esfuerzos simultáneos, admitiéndose que la resistencia de la estructura en cualquier dirección es nueve (9) veces la correspondiente a cada poste simple.

6.9. Hipótesis de carga para el cálculo de estructuras

Para determinar la resistencia que debe soportar cada uno de los postes calculados en este proyecto, y siguiendo la normativa vigente de la ETN 160 se considera una serie de definiciones:



Dirección de la línea: se entiende por tal la determinada por el eje de los conductores, o la de la bisectriz de los ángulos de la línea. Se adopta el eje de coordenadas X-X, al representativo del eje de la línea, el eje Y-Y perpendicular al plano formado por la línea y el poste (generalmente dirección del viento más desfavorable), y el Z-Z el representativo de las coordenadas en sentido vertical (dirección de los postes), las direcciones se pueden apreciar en la Figura 15.

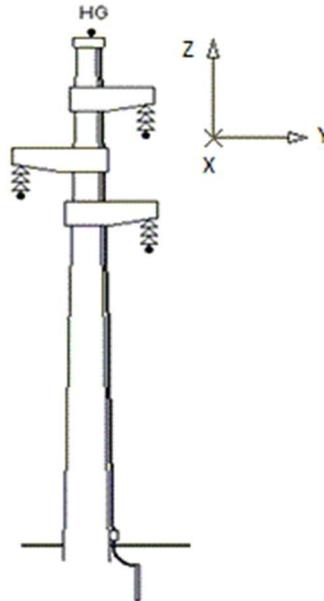


Figura 15: Dirección de la línea.

Ángulo de la línea: es el formado por la prolongación del eje de la traza anterior con el eje de la traza posterior a la estructura, en caso de cambio de dirección.

Cargas Permanentes: peso propio de la estructura, los accesorios y el peso de los conductores de la parte correspondientes de los vanos adyacentes.

Accesorios: Se entiende por tales a los aisladores y morsetería en general.

Velocidad de viento: en los casos en que no se especifique, es la que corresponde a la hipótesis de cálculo considerada.

Tracción de conductores: a adoptar en cada caso, es el que corresponde a la hipótesis de cálculo considerada.

Cargas de Montaje: Se designan como tales a las cargas adicionales en el extremo de las ménsulas y/o crucetas, de 100 daN para estructuras de suspensión y de 300 daN para las restantes. -Estas cargas no serán consideradas como estabilizantes para el cálculo de las fundaciones.



Elementos de cabecera: son los travesaños (ménsulas, crucetas) aisladores y accesorios.

Estructuras de suspensión simple

a) Carga normal

Hipótesis 1 a) Cargas permanentes

Carga del viento máximo, perpendicular a la dirección de la línea, sobre la estructura, los elementos de cabecera y sobre la semilongitud de los conductores de ambos vanos adyacentes.

Hipótesis 1 b) Cargas permanentes

Carga del viento máximo en la dirección de la línea, sobre la estructura y los elementos de cabecera.

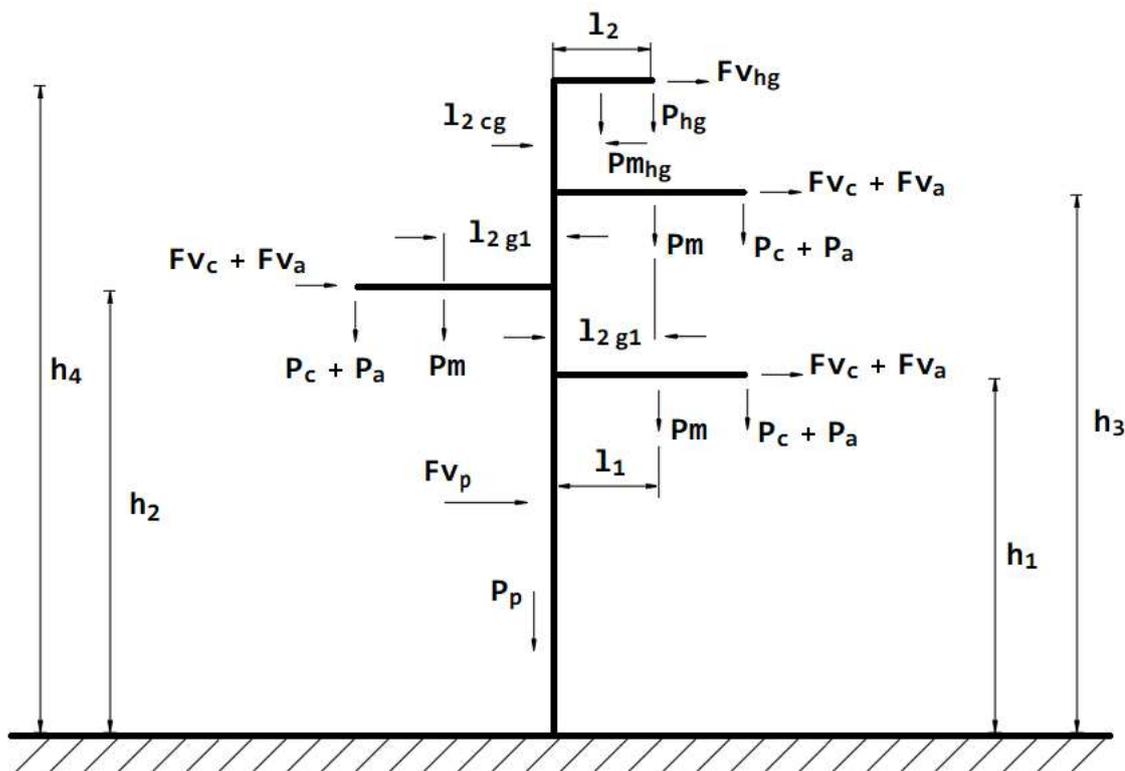


Figura 16: Esquema de carga de una estructura de suspensión simple para cargas permanentes.

b) Carga Extraordinaria

Hipótesis 2 a) Cargas permanentes

Anulación de la tracción del conductor que produce el mayor momento. La carga de tracción será calculada con el 50% del valor máximo de tensión del conductor.

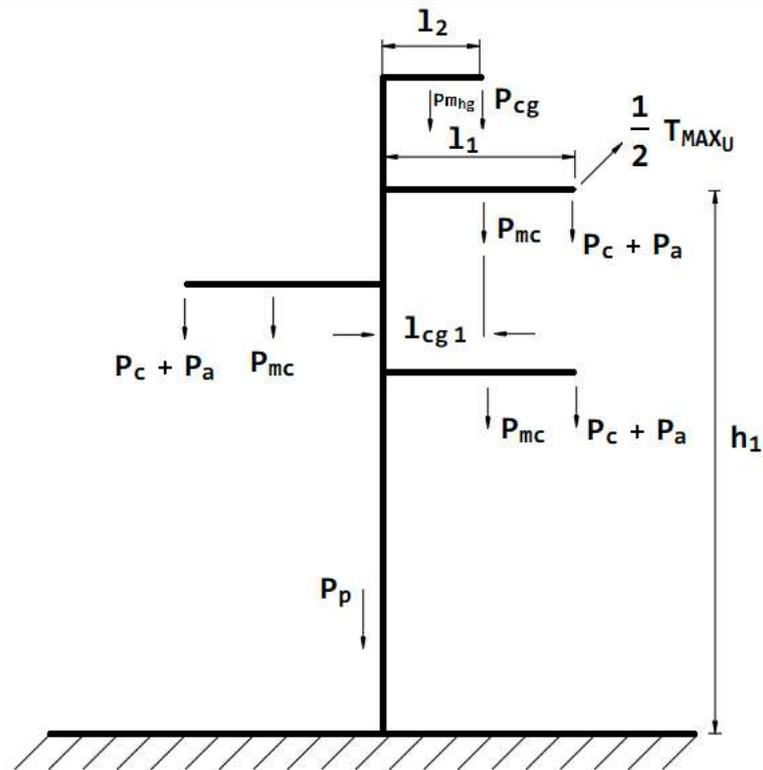


Figura 17: Esquema de carga de una estructura de suspensión simple para cargas extraordinarias.

Estructuras de suspensión angular

a) Carga normal

Hipótesis 1 a) Cargas permanentes

Carga del viento máximo sobre la estructura, los elementos de cabecera y sobre la semilongitud de los conductores de ambos vanos adyacentes, en dirección de la resultante total de las tracciones de los conductores. Fuerzas resultantes de las tracciones de los conductores.

Hipótesis 1 b) Cargas permanentes

Carga del viento máximo en dirección de la bisectriz del ángulo de la línea, sobre la estructura, los elementos de cabecera y sobre la semilongitud de los conductores de ambos vanos adyacentes. Fuerzas resultantes de las tracciones de los conductores.

b) Carga Extraordinaria

Hipótesis 2 a) Cargas permanentes

Fuerzas resultantes de las tracciones de los conductores.



Anulación de la tracción del conductor, que produce el mayor momento considerando el cincuenta por ciento (50%) de su valor.

Estructuras de retención

a) Carga normal

Hipótesis 1 a) Cargas permanentes

Carga del viento máximo perpendicular a la dirección de la línea, sobre la estructura y los elementos de cabecera y sobre la semilongitud de los conductores de ambos vanos adyacentes.

Fuerzas resultantes de las tracciones de ambos conductores.

Hipótesis 1 b) Cargas permanentes

Carga del viento máximo perpendicular a la dirección de la línea, sobre la estructura y los elementos de cabecera.

Dos tercios de las tracciones unilaterales de los conductores, consideradas actuando en el eje de la estructura

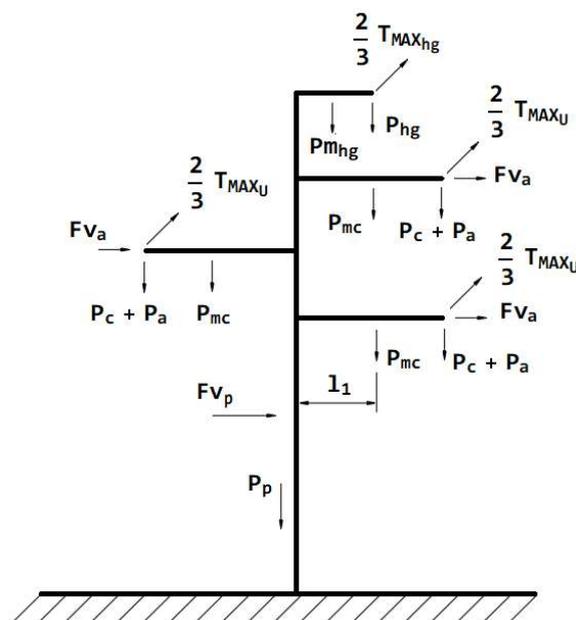


Figura 18: Esquema de carga de una estructura de retención simple para cargas permanentes.

b) Carga Extraordinaria

Hipótesis 2 a) Cargas permanentes

Anulación de la tracción del conductor que produce el mayor momento.



La carga de tracción será calculada con el valor máximo de tensión del conductor.
Fuerzas resultantes de las tracciones de todos los demás conductores.

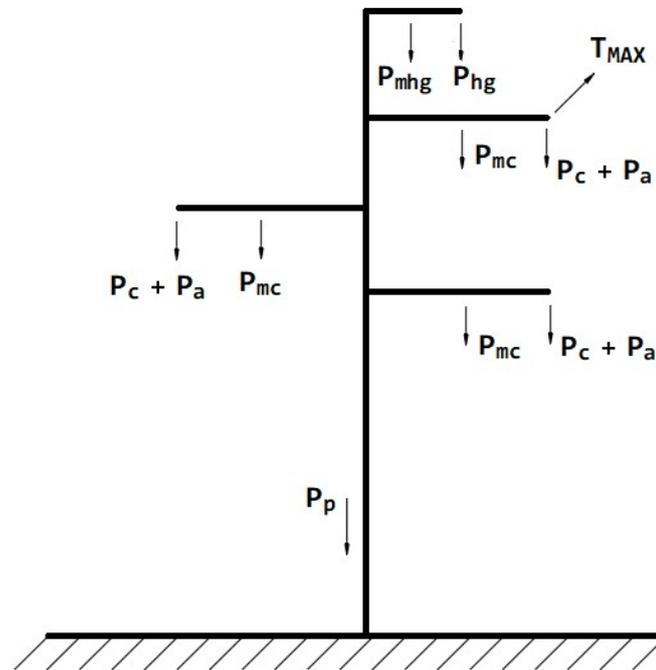


Figura 19: Esquema de carga de una estructura de retención simple para cargas extraordinarias.

Estructuras de retención angular

a) Carga normal

Hipótesis 1 a) Cargas permanentes

Carga del viento máximo en la dirección de la bisectriz del ángulo de la línea, sobre la estructura y los elementos de cabecera y sobre la semilongitud de los conductores de ambos vanos adyacentes.

Fuerzas resultantes de las tracciones de ambos conductores.

Hipótesis 1 b) Cargas permanentes

Carga del viento máximo perpendicular a la dirección de la bisectriz del ángulo de la línea, sobre la estructura y los elementos de cabecera.

Dos tercios de las tracciones unilaterales de los conductores, consideradas actuando en el eje de la estructura.

Hipótesis 1 c) Cargas permanentes



Carga del viento máximo sobre la estructura y los elementos de cabecera, en dirección de la bisectriz del ángulo de la línea.

Dos tercios de las tracciones unilaterales de los conductores, consideradas actuando en el eje de la estructura.

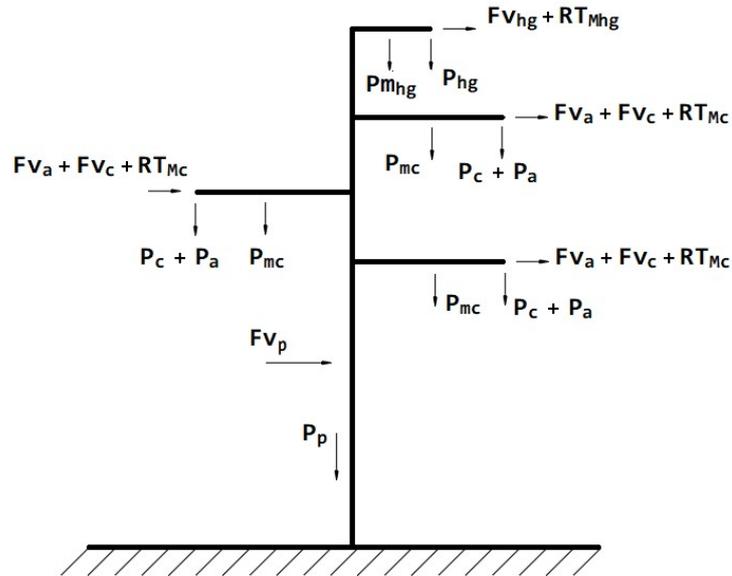


Figura 20: Esquema de carga de una estructura de retención angular para cargas permanentes.

b) Carga Extraordinaria

Hipótesis 2 a) Cargas permanentes

Anulación de la tracción del conductor que produce el mayor momento.

La carga de tracción será calculada con el valor máximo de tensión del conductor.

Fuerzas resultantes de las tracciones de todos los demás conductores.

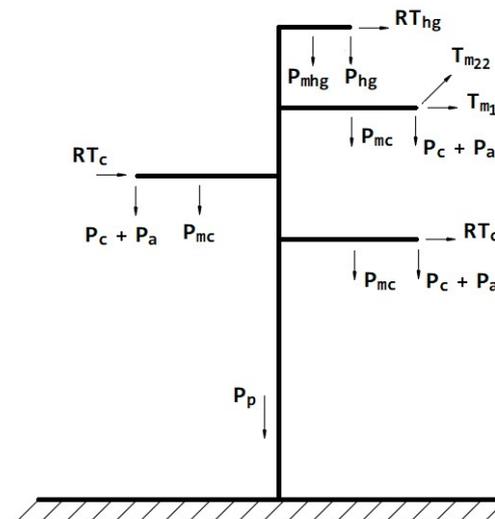


Figura 21: Esquema de carga de una estructura de retención angular para cargas extraordinarias.



Estructuras Terminales

a) Carga normal

Hipótesis 1 a) Cargas permanentes

Carga del viento máximo perpendicular a la dirección de la línea, sobre la estructura, los elementos de cabecera y sobre la semilongitud de los conductores del vano adyacente.

Tracciones unilaterales de los conductores.

b) Carga Extraordinaria

Hipótesis 2 a) Cargas permanentes

Anulación de la tracción del conductor que produce el mayor momento.

Las cargas de tracción serán calculadas con el valor máximo de tensión del conductor.

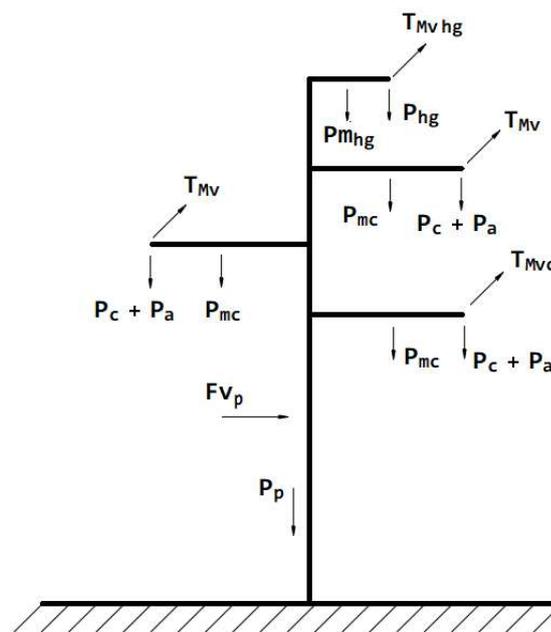


Figura 22: Esquema de carga de una estructura Terminal.

6.10. Algoritmo de selección de postes

Para la selección de cada uno de los postes se debe realizar un proceso iterativo. En este proceso, el programa elaborado funciona de la siguiente manera:

1°) comienza buscando el primer poste que cumpla con las condiciones de distancias mínimas de seguridad entre conductores, conductores y el suelo y conductores e hilo de guardia, el mismo es determinado por la fórmula (83),



2°) una vez seleccionado el poste, se procede a verificar que cumpla con las hipótesis planteadas anteriormente para cada tipo de poste, (teniendo en cuenta los coeficientes de seguridad definido para cada tipo de carga y la resistencia que soporta cada estructura en función de la cantidad de postes utilizados),

3°) en caso de que el poste no cumpla con alguna de las condiciones planteadas se lo descarta y se selecciona uno con mayor resistencia y de la misma altura.

4°) Cuando han sido agotadas todas las instancias de resistencia con esa altura, se procede a seleccionar un poste con una altura superior

5°) Se regresa al punto numero 2°, hasta encontrar un poste que cumple con las hipótesis planteadas.

6°) Termina el proceso mostrando al usuario el poste seleccionado.

Se sintetiza lo explicado anteriormente con un diagrama de flujo de la Figura 23.

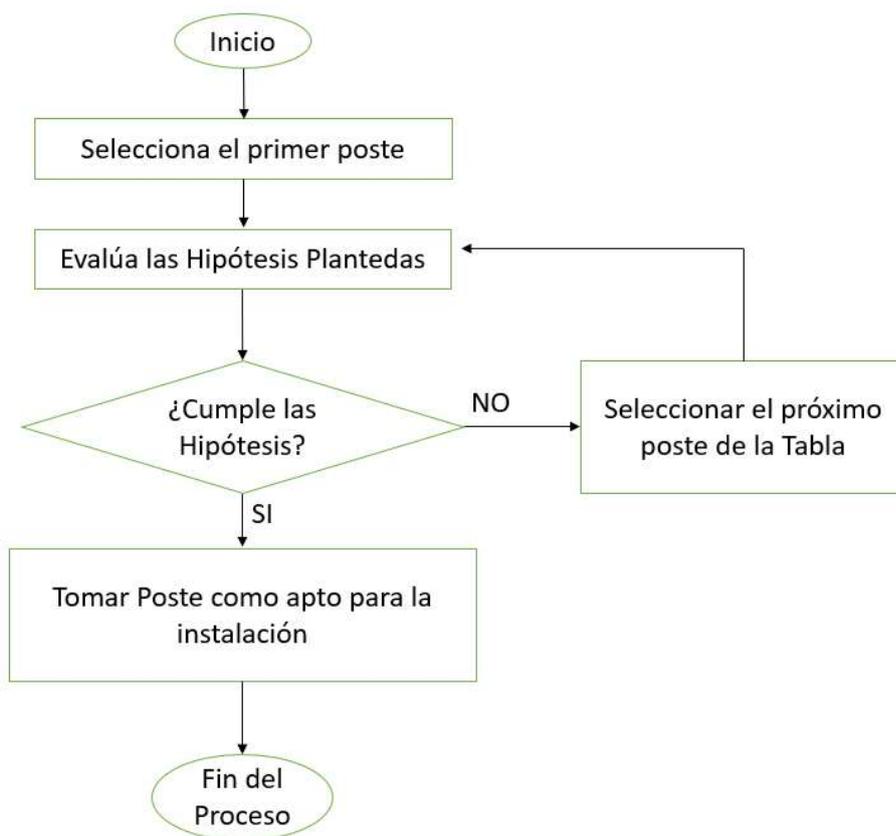


Figura 23: Diagrama de Flujo para la selección de postes.

El proceso descrito anteriormente se realiza para cada uno de los diez (10) tipos de postes calculados en este proyecto.



7. DATOS PARA EL CÁLCULO DE FUNDACIONES

En el proceso del cálculo de las fundaciones, se ha utilizado el método de Sulzberger, de manera que, a los fines de realizar correctamente los cálculos, se requiere que el usuario ingrese los siguientes datos de su proyecto respetando las unidades indicadas en cada caso:

- Valor c_t : Coeficiente de compresibilidad lateral en (kg/cm^3), el mismo, como varía con la profundidad, se lo ingresa 2 veces con 2 alturas distintas, para luego realizar una función lineal y obtener el coeficiente en cada altura de cada fundación
- Valor c_b : Coeficiente de compresibilidad de fondo en (kg/cm^3)
- Ángulo de incidencia de la tierra gravante α en grados, el cual se encuentra definido en función de la característica del terreno
- Peso específico de la tierra en (kg/cm^2)
- Peso específico del hormigón en (kg/cm^2)
- Tensión admisible del terreno en (kg/cm^2)
- Profundidad de la napa freática en (metros)
- Coeficiente de rozamiento

En las Figuras 24, 25 y 26 se puede visualizar algunos ejemplos de ingreso de datos de los elementos mencionados anteriormente. En el caso se emplean barras de deslizamiento para obtener los valores.

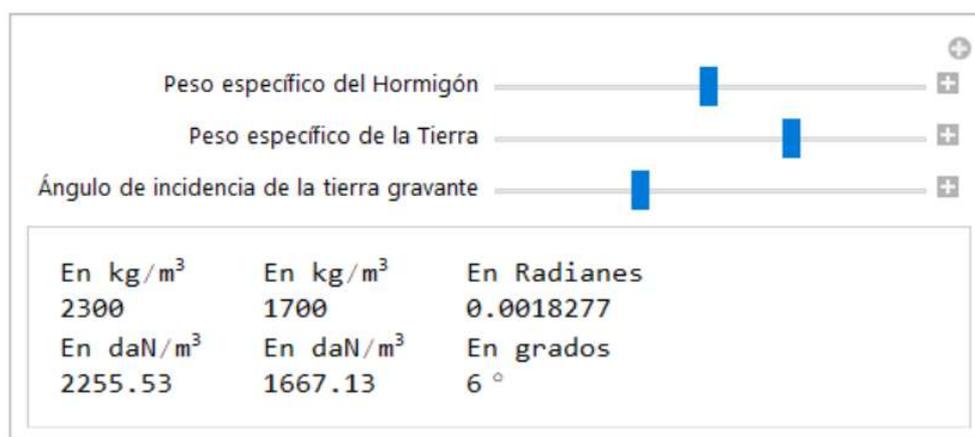


Figura 24: Ejemplo de ingreso de datos como ser el peso específico del hormigón y la tierra, así como también el ángulo de incidencia de la tierra gravante.

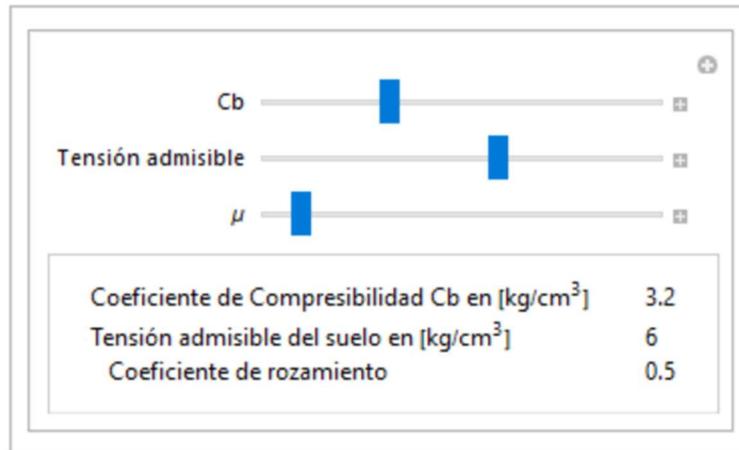


Figura 25: Ejemplo de ingreso de datos como ser el Coeficiente de compresibilidad de fondo, la tensión admisible y el coeficiente de rozamiento.

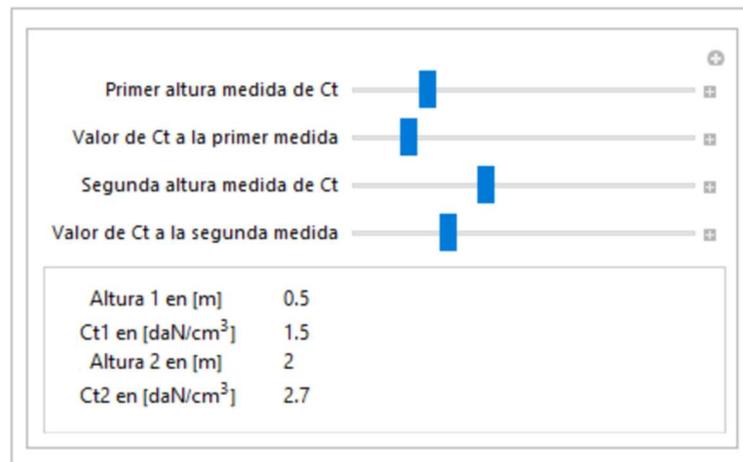


Figura 26: Ejemplo de ingreso del dato del Coeficiente de compresibilidad lateral.

Para determinar el coeficiente de compresibilidad lateral, se deben ingresar 2 valores con 2 alturas distintas, como muestra la Figura 26.

Los códigos utilizados para relizar el ingreso de datos del suelo se encuentran en el Anexo III, Códigos 4, 5 y 6.



8. CÁLCULO DE FUNDACIONES

Una vez seleccionado el poste a utilizar se procede a dimensionar la base de los mismos. El método utilizado para este proyecto es el de Sulzberger, el cual es empleado para bloques de hormigón simple, con un coeficiente de compresibilidad del suelo mayores o iguales de 3 kg/cm^3 o menores, en el caso de que la EPE lo considere conveniente.

La normativa utilizada para realizar este cálculo, como ha sido aclarado desde el comienzo, se basa en la ETN N° 160.

El método se basa en un principio verificado experimentalmente que, para inclinaciones limitadas, $Tg \alpha < 0.01$, el terreno se comporta de manera elástica. Siendo el valor de α el que se forma al inclinarse la fundación con respecto a la normal al suelo, como muestra la Figura 27. Recordando que el sistema de coordenadas adoptado, el eje X-X es el que tiene la dirección de la línea.

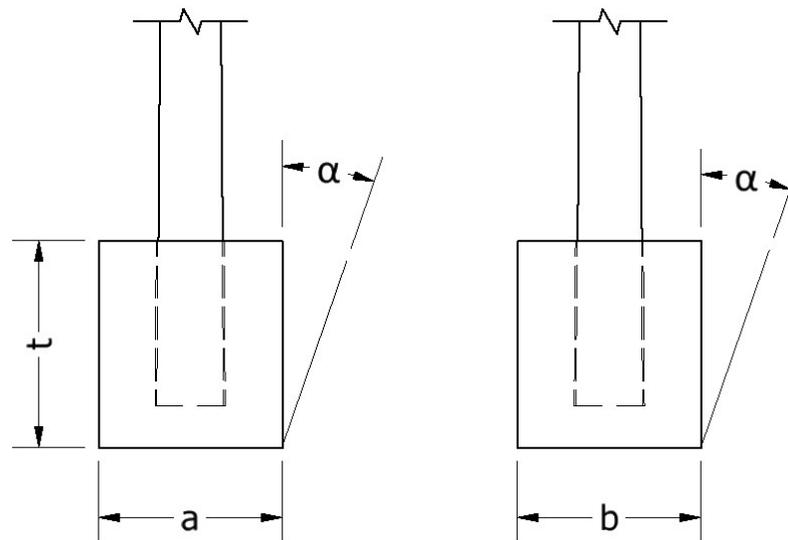


Figura 27: ángulo α de una fundación.

En consecuencia, se obtienen reacciones de las paredes verticales de excavación y normales a la fuerza actuante sobre la estructura.

La resistencia que se opone a la inclinación de la fundación se origina por dos efectos principales:

- El encastramiento de la fundación en el terreno, como también la fricción generada entre el hormigón y el suelo a lo largo de las paredes verticales, normales a la fuerza actuante.



- Reacción del fondo de la excavación provocada por las cargas verticales.

Para fundar las estructuras de líneas de energía se dimensionan bases de hormigón que garanticen, en principio, la estabilidad de las mismas. Se busca además lograr optimizar la solución más económica, de manera que cumpla con las restricciones que imponen las solicitaciones y la capacidad portante de los suelos involucrados.

Las dimensiones y configuraciones geométricas de la base deberán lograr la simplificación del proceso constructivo y mantener inalterados las condiciones naturales del suelo circundante.

Para la determinación del peso total se tendrá en cuenta el correspondiente a la tierra gravante.

8.1. Datos necesarios para realizar el cálculo

Para determinar las dimensiones de cada una de las fundaciones de las distintas estructuras, se requieren valores de coeficientes propios del suelo que son brindados por profesionales especialistas en la temática. Por otro lado, la ETN N° 160 especifica los siguientes datos necesarios para realizar los cálculos:

Identificación de la estructura. En el algoritmo del programa realizado se ha utilizado un número del 1 al 10 para identificar cada tipo de estructura siendo:

- 1) Estructura de suspensión rural
- 2) Estructura de suspensión angular
- 3) Estructura de retención simple rural
- 4) Estructura de retención angular rural
- 5) Estructura de retención cruce por ruta
- 6) Estructura terminal rural
- 7) Estructura de suspensión urbana
- 8) Estructura de retención simple
- 9) Estructura de retención angular
- 10) Estructura terminal urbana



Número de postes: se refiere a la cantidad de postes en cada una de las estructuras, pudiendo ser 1, 2 o 3, este dato debe ser ingresado por el usuario como se lo ha indicado en el ítem 2.2 “Datos para el cálculo de estructuras”

Altura total del poste H_t : se obtiene en los algoritmos internos del programa realizado, determinado en el punto 4.11 “Selección de Postes”.

Esfuerzo en la cima: se calcula en el algoritmo indicado en el ítem 4.10 “Hipótesis de carga para el cálculo de estructuras”.

Diámetro en la cima: este valor es extraído de las tablas de Excel en función del poste previamente obtenido.

Peso total de la estructura (poste, accesorios, crucetas, aisladores, etc.): Se realiza la sumatoria de todos los pesos presentes en la estructura, integrado por las siguientes partes:

Peso de poste: Es extraído de las tablas de Excel “Postes”

Peso de accesorios: Extraído de las tablas de Excel “Aisladores”

Peso de crucetas: al ser los mismos de hormigón, se realiza la multiplicación entre el volumen y el peso específico del hormigón.

Peso de Vínculos: Son utilizados en caso de que la estructura cuente con 2 o 3 postes, para realizar la unión entre los mismos. Por lo que se debe realizar la multiplicación del volumen por el peso específico del hormigón y luego multiplicar el mismo por la cantidad de vínculos existentes en la estructura.

Peso de Aisladores: Extraído de las tablas de Excel “Aisladores”

Coefficiente de compresibilidad lateral a cota de fundación C_t : en primer lugar, el usuario debe ingresar dos valores de este coeficiente a distintas profundidades. Luego el programa obtiene una función lineal que los une, con esta función es posible encontrar los valores necesarios a cualquier altura requerida.

Coefficiente de compresibilidad de fondo a cota de fundación C_b : este valor es ingresado por el usuario al comienzo del programa

Ángulo de incidencia de la tierra gravante β : este valor se toma por defecto igual 6° , por lo que el programa inicia con dicho valor, pero el usuario tiene la posibilidad de modificarlo.



Peso específico de la tierra γ_t : este valor se toma por lo general igual $1700 \text{ (kg/m}^3\text{)}$, de manera que el programa inicia por defecto con dicho valor, pero el usuario también puede modificarlo.

Peso específico del hormigón γ_h : este valor se toma por lo general igual $2300 \text{ (kg/m}^3\text{)}$, por defecto el programa inicia con dicho valor, también puede ser modificado por el usuario.

Profundidad de la napa freática: es determinado por el usuario al comienzo del programa, la unidad utilizada está en (metros).

8.2. Dimensiones mínimas

Para el método de Sulzberger se considera a la fundación como un paralelepípedo rectangular esquematizado en la Figura 28, en el cual sus dimensiones son:

- “b” en la dirección de la línea, eje de coordenadas X-X.
- “a” en sentido transversal a la línea, eje de coordenadas Y-Y.
- “t” indica la profundidad de la fundación, y corresponde al eje Z-Z.

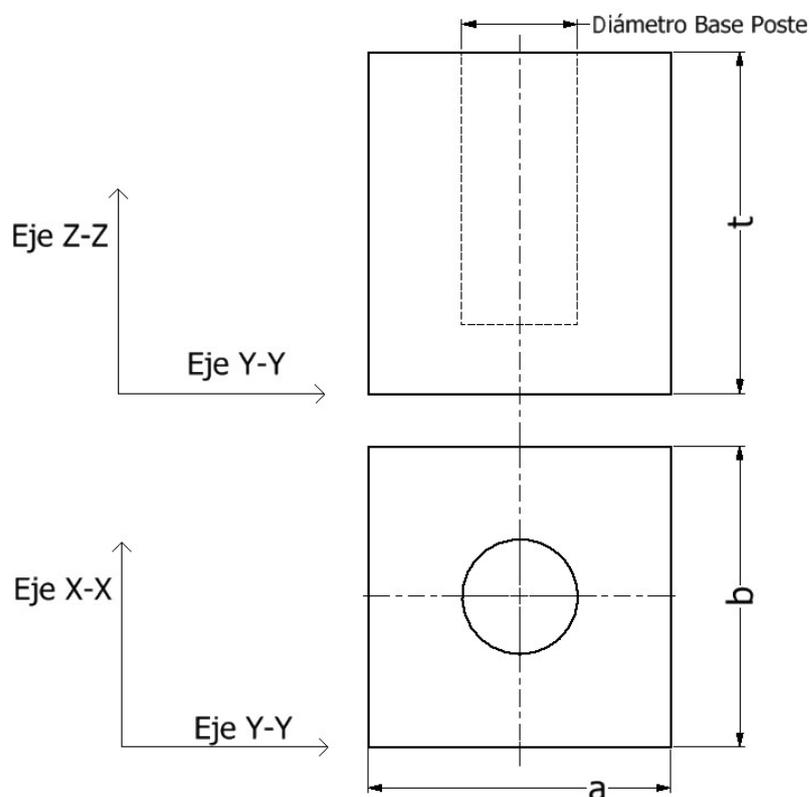


Figura 28: Disposición de una fundación, con los correspondientes ejes coordenados.



Por norma de la ETN n° 160 se considera que el empotramiento será un 10% de la longitud total del poste, no debiendo ser nunca menor a 0,8 metros. El espesor mínimo de hormigón para las paredes y del fondo es de 0,2 metros, teniendo en cuenta que para los fines prácticos el hueco del alojamiento del poste es 0,1 metro mayor respecto al diámetro de éste en la base.

Se determina entonces que, sin importar la cantidad de postes con que tenga la estructura, la altura mínima de la fundación será:

$$t_{\min} = H_t * 0.1 + 0.2 \quad (84)$$

Siendo:

t_{\min} : valor mínimo que puede tomar “t”, determinado en (metros)

H_t : altura total del poste, determinada en el punto 4.11 de este proyecto, “Selección de postes”

El algoritmo utilizado para realizar el cálculo de la Fórmula (84) es realizado por el Código 2, en el Anexo VI

Se determina que, para el caso de fundaciones de un solo poste, los mínimos valores de “a” y “b” son:

$$a_{\min} = b_{\min} = D_{\text{base}} + 0,1 + 0,2 * 2 \quad (85)$$

Siendo:

a_{\min} : valor mínimo que puede tomar “a” para un poste, (metros)

b_{\min} : valor mínimo de puede tomar “b” para un poste, (metros)

D_{base} : Diámetro del poste en la base, (metros)

Los valores mínimos de una fundación de un solo poste se pueden observar en la Figura 29, teniendo en cuenta que se debe dejar 0,1 metro de diámetro a los bordes de la base del poste, y 0,2 metros en cada lado y de fondo de la fundación.

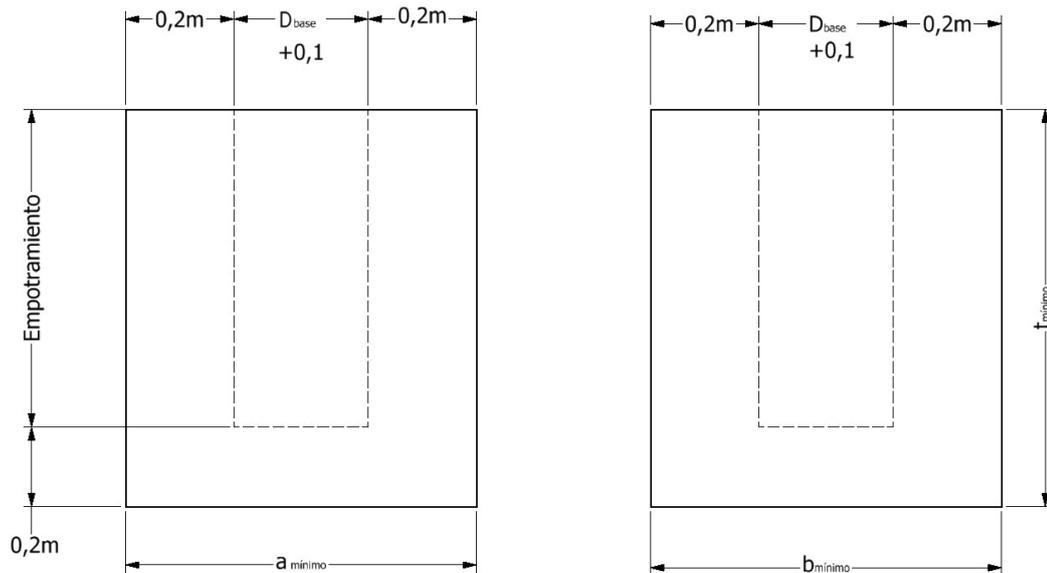


Figura 29: Dimensiones mínimas de la fundación de un monoposte.

Para el caso de fundaciones con dos o tres postes, se toma una separación entre los mismos en la base del empotramiento igual a:

$$S = 0,3 + 0,04 * H_t \quad (86)$$

Siendo:

S: Separación entre postes en la base del empotramiento en metros

H_t : Altura total del poste, obtenido en el punto 4.11 Selección de postes

La profundidad máxima de la fundación será de 5/4 de la longitud del empotramiento del poste.

Debido a que la dimensión “b” de la fundación se encuentra en el sentido longitudinal, al tener 1 o 2 postes no se altera ese valor mínimo b_{\min} , calculado con la fórmula (85). Mientras que el valor de la distancia transversal mínima a_{\min} para el caso de dos postes se debe calcular mediante la expresión (87), la que resulta de sumar la (85) con la (86).

$$a_{\min} = D_{\text{base}} + 0,1 + 0,2 * 2 + S = D_{\text{base}} + 0,5 + 0,3 + 0,04 * H_t \quad (87)$$



Los valores mínimos de una fundación de dos postes se pueden observar en la figura 30, teniendo en cuenta que se debe dejar 0,1 metro de diámetro a los bordes de la base del poste, y 0,2 metros en cada lado y de fondo de la fundación, también se observa cual es la distancia “S” de separación de la ubicación de los postes.

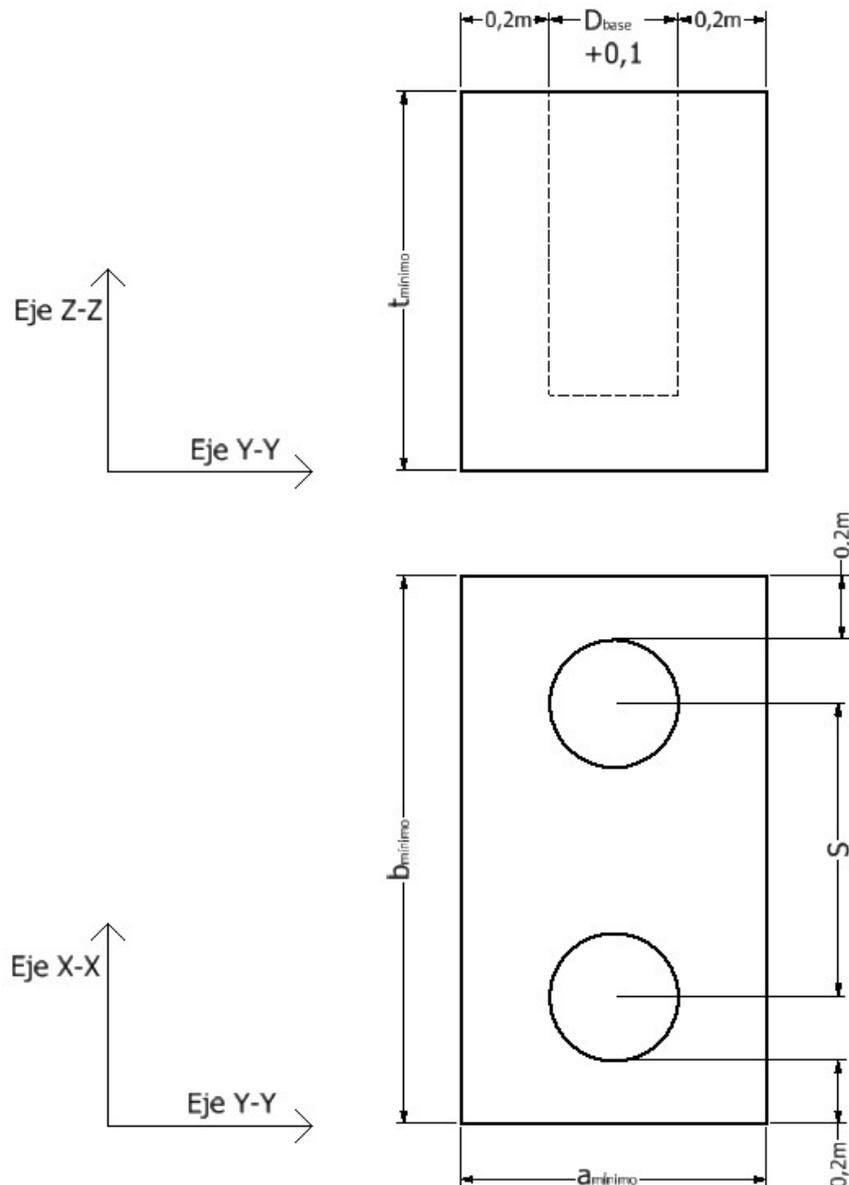


Figura 30: Dimensiones mínimas de la fundación de dos postes.

Cuando se tienen tres (3) postes, el valor mínimo de “a” se calcula mediante la fórmula (87), y el valor mínimo de “b”, se lo determina mediante la sumatoria de la expresión (85) con la (86), obteniendo como resultado la fórmula:

$$b_{\min} = D_{\text{base}} + 0,5 + 0,3 + 0,04 * H_t \quad (88)$$



Los valores mínimos de una fundación de tres postes se pueden observar en la Figura 31. También se observa cual es la distancia “S” de separación de la ubicación de los postes.

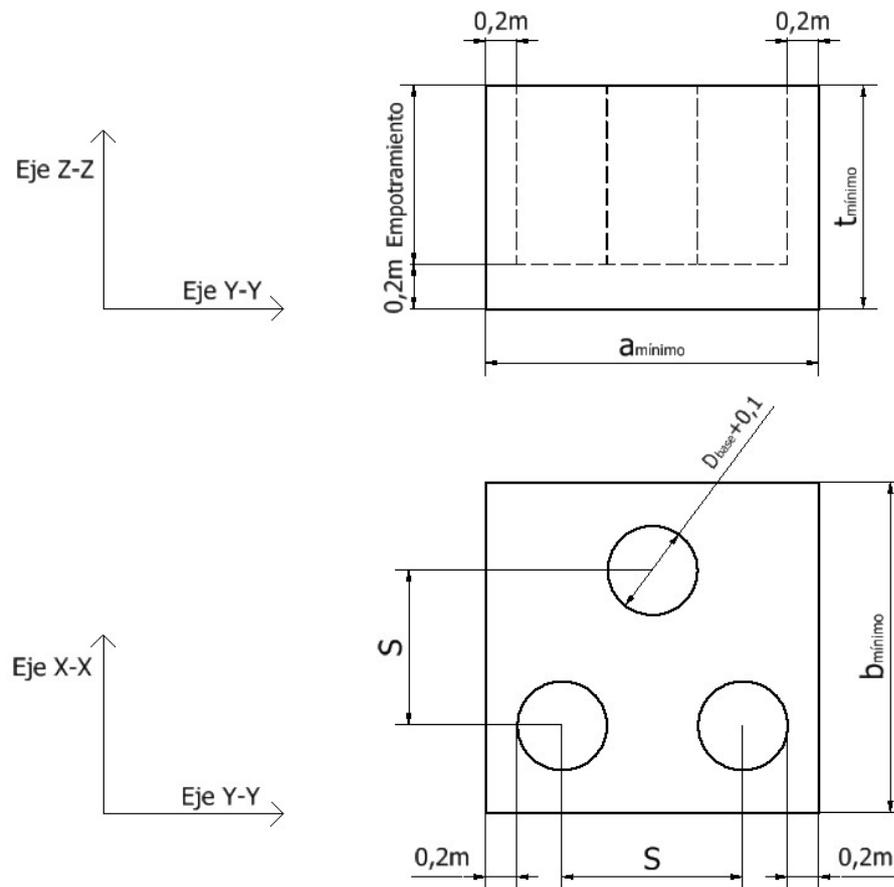


Figura 31: Dimensiones mínimas de la fundación de tres postes.

El algoritmo utilizado para realizar el cálculo de las Fórmulas (85), (87) y (88) es realizado por el Código 1, en el Anexo VI.

8.3. Fórmulas utilizadas para el cálculo de fundaciones

Para poder determinar si la fundación resiste a las condiciones a las que se encuentra, primero se deben obtener los valores de los volúmenes y pesos actuantes en toda la estructura, además de los momentos y ángulos límites a los que está sometido dicha estructura.

8.3.1. Volúmenes y Pesos

El cálculo de los volúmenes se realiza en m^3 , y luego se debe multiplicar el mismo por el peso específico del material, el cual se puede encontrar en kg/m^3 o daN/m^3 , como



todos los cálculos de este proyecto se encuentran en daN, en caso de tener los pesos en kg se debe multiplicar por el factor de conversión para obtener la unidad deseada.

Volumen de la fundación

Al tener un paralelepípedo rectangular, el volumen de hormigón necesario se calcula realizando la multiplicación de los tres lados, luego se debe restar el volumen del poste que se introduce en la fundación, por lo que la Fórmula queda:

$$V_b = a * b * t - n \frac{\pi * d_b^2}{4} E_{mp} \quad (89)$$

Siendo:

V_b : Volumen de la fundación, expresado en metros

n : Cantidad de postes de la estructura

d_b : Diámetro del poste a la altura del piso, en metros

E_{mp} : Distancia de empotramiento del poste en la base, en metros

Peso de la fundación

Se obtiene multiplicando el valor del volumen de la fundación, con el valor del peso específico del hormigón, dado que este último se encuentra en kg, se realiza una conversión de unidades a daN

$$G_f = V_b * \gamma_h * 0,986 \quad (90)$$

Siendo:

G_f : Peso producido por la fundación de hormigón, expresado en daN

V_b : Volumen de la fundación, obtenido en el punto 5.3.1. de este proyecto

γ_h : Peso específico del hormigón, expresado en kg/m^3

0,986: Constante utilizada para pasar de la unidad kg a daN



Volumen de la tierra gravante

Se debe tomar en cuenta, para la sumatoria de pesos a la que se encuentra sometida toda la estructura, el peso que produce la tierra circundante a la fundación, la cual depende de las dimensiones de la misma, y el ángulo de incidencia de la tierra sobre la fundación, por lo que primero se procede a calcular el volumen de la tierra gravante:

$$V_{tg} = \frac{t}{3} (a * b + (a + 2t \text{ Tan } \beta) * (b + 2t \text{ Tan } \beta) + \sqrt{a * b * (a + 2t \text{ Tan } \beta) * (b + 2t \text{ Tan } \beta)}) - (a * b * t) \quad (91)$$

Peso de la tierra gravante

Se obtiene el peso de la tierra gravante multiplicando el valor del volumen de la misma, con el valor del peso específico de la tierra, obteniendo la siguiente fórmula:

$$G_{tg} = V_{tg} * \gamma_t \quad (92)$$

Siendo:

G_{tg} : Peso de la tierra gravante, expresión obtenida en daN

V_{tg} : Volumen de la tierra gravante, obtenido de la fórmula (91)

γ_t : Peso específico de la tierra, expresado en daN/m³

Peso total

Para obtener el peso total actuante sobre la fundación, se debe sumar todos los pesos involucrados sobre la estructura, obteniendo así:

$$G = G_f + G_{tg} + G_p + G_{ca} + G_m \quad (93)$$

G : Peso total, valor obtenido en daN

G_f : Peso de la fundación, obtenido por la fórmula (90)

G_{tg} : Peso de la tierra gravante, obtenido por la fórmula (92)



G_p : Peso de los postes, es extraído de las planillas de Excel “Postes” en función de la selección que se realiza en el punto 6.10. “Algoritmo de selección de postes”

G_{ca} : Peso de la cadena de aisladores.

G_m : Peso de los vínculos más las ménsulas.

8.3.2. Cálculo de momentos actuantes en la estructura

Debido a la fuerza “F” aplicada sobre la estructura, se produce un momento de vuelco “M_v”, al cual se le opondrá un momento estabilizante “M_e” producido por la fundación conformada por la suma del momento de fondo “M_b” y el momento de encastramiento “M_s”.

Momento de vuelco

Se determina el momento de vuelco producido por la sumatoria de cargas horizontales debidas al viento y aplicadas en la parte superior de la columna donde se ubica el área de mayor influencia de presiones. Dicho momento se determina con respecto al centro de rotación del bloque ubicado a 2/3 de la altura de este.

$$M_v = F_v \left(H_t + \frac{2}{3} t \right) \quad (94)$$

M_v : Momento de vuelco, obtenido en daN*m

F_v : Fuerza resultante sobre la estructura, es determinada en el punto 4.10. “Hipótesis de carga para el cálculo de estructuras”.

H_t : Altura total del poste, obtenido en el punto 4.11 “Selección de postes”

La Función utilizada para realizar el cálculo de la Fórmula (94) es realizado por el Código 3, en el Anexo VI.

Momento de encastramiento

El momento de encastramiento es debido a la fricción entre el hormigón y tierra a lo largo de las paredes verticales, normales a la fuerza actuante, se calcula mediante la fórmula:



$$M_s = \frac{a * t^3}{36} * c_t * \text{Tg } \alpha \quad (95)$$

Siendo:

M_s : Momento de encastramiento, obtenido en daN*m

c_t : Coeficiente de compresibilidad lateral.

α : ángulo de incidencia de la tierra gravante.

La Función utilizada para realizar el cálculo de la Fórmula (95) es realizado por el Código 4, en el Anexo VI.

Momento de fondo

El momento de fondo es generado en el fondo de la excavación provocada por las cargas verticales. La fórmula utilizada es:

$$M_b = G * \left(\frac{a}{2} - 0,47 * \sqrt{\frac{G}{b * c_b * \text{Tg} \alpha}} \right) \quad (96)$$

Siendo:

M_b : Momento de fondo, obtenido en daN*m

G : Peso total de la estructura, obtenido por la fórmula (93)

c_b : Coeficiente de compresibilidad de fondo

α : ángulo de incidencia de la tierra gravante.

La Función utilizada para realizar el cálculo de la Fórmula (96) es realizado por el Código 5, en el Anexo VI.

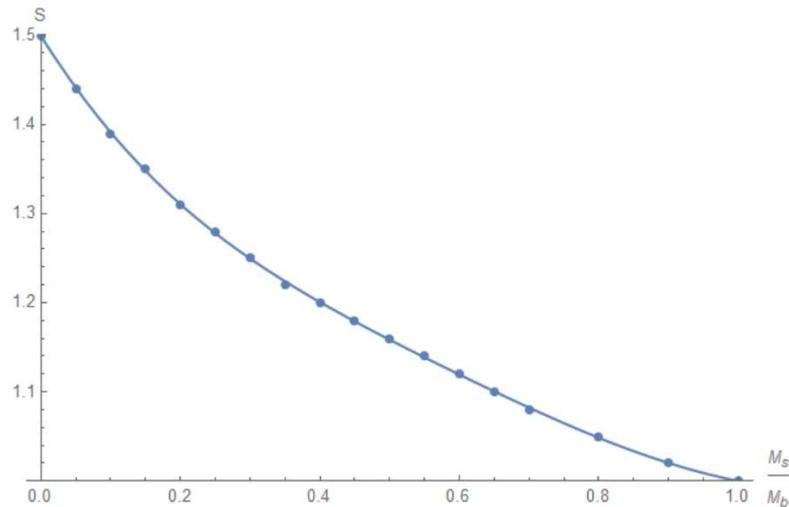
8.4. Coeficiente de Seguridad

En caso de que el valor del momento de fondo " M_b " sea mayor al valor el momento de encastramiento " M_s ", es necesario realizar el cálculo de un coeficiente de seguridad "S", el mismo varía entre cero (0) y uno (1). En caso de que el momento de encastramiento sea



mayor al momento de fondo, el coeficiente de seguridad es igual a 1. La misma se encuentra en la Tabla 11 del Anexo I Tablas.

Para obtener el valor preciso del coeficiente de seguridad para cada una de las estructuras, se realiza una función de aproximación. La misma se observa en la Gráfica 1.



Gráfica 1: Gráfica de aproximación del coeficiente de seguridad “S” en función de M_s/M_b

8.5. Tensiones

Debido a al peso resultante que se encuentra sobre la estructura, se presentan diversas tensiones en la base, las mismas dependen del peso producido por la estructura y la fundación, por las dimensiones que presenta la fundación y las características propias del terreno.

Se debe realizar el cálculo de las siguientes tensiones:

$$\sigma_{med} = \frac{G}{a * b} \quad (97)$$

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{2c_b * G * Tg\alpha}{a}} \quad (98)$$

$$\sigma_3 = \frac{c_t * t * Tg\alpha}{3} \quad (99)$$



Las funciones utilizadas para realizar el cálculo de las Fórmulas (97) a la (99) es mostrada por los Códigos del 6 al 8, en el Anexo VI.

8.6. Angulos límites

Los ángulos por determinar son:

$$\text{Tg } \alpha_1 = \frac{6 * \mu * (G_p + G_f)}{b * t^2 * c_t} \quad (100)$$

$$\text{Tg } \alpha_2 = \frac{2 * (G_p + G_f)}{a^2 * b * c_b} \quad (101)$$

Siendo:

$\alpha_1; \alpha_2$: Ángulos límites

μ : Coeficiente de fricción entre el terreno y el hormigón, coeficiente adimensional

G_p : Peso total de los postes, expresado en daN

G_f : Peso de la fundación, obtenido en la Fórmula (90)

c_t : Coeficiente de compresibilidad lateral, valor ingresado por el usuario en kg/cm^3

c_b : Coeficiente de compresibilidad de fondo, valor ingresado por el usuario en kg/cm^3

Las funciones utilizadas para realizar los cálculos de las Fórmulas (100) y (101) son mostrados por los Códigos del 9 y 10, en el Anexo VI.

8.7. Verificaciones

En el algoritmo realizado en el presente trabajo se tienen en cuenta, para cada iteración, las correspondientes verificaciones de los valores obtenidos, a continuación se detallan:

Ángulos límites

Para que se pueda utilizar el método de Sulzberger, el terreno se debe comportar de manera elástica, esto se verifica si el ángulo de inclinación con respecto a la vertical es muy pequeño, por lo que las Fórmulas (100) y (101) tienen que verificar que:



$$\text{Tg } \alpha < 0.01 \quad (102)$$

Momento

Luego de realizar el cálculo de momentos, se debe verificar ue se cumpla la siguiente fórmula:

$$\frac{M_s + M_b}{M_v} \geq S \quad (103)$$

Tensiones Admisibles

Se deben cumplir las siguientes relaciones de tensiones para que la fundación resista todo el peso de la estructura:

$$\sigma_1 \leq 1,25 * \sigma_{adm} \quad (104)$$

$$\sigma_3 \leq 1,25 * \sigma_{adm} \quad (105)$$

$$\sigma_{med} \leq \sigma_{adm} \quad (106)$$

8.8. Dimensionamiento de las fundaciones

El objetivo primordial de este trabajo es el de obtener una fundación que cumpla con todos los requisitos de las normas establecidas, que verifique todas las tensiones admisibles y que cuente con el menor volumen posible. Esto último traerá aparejado una menor cantidad de hormigón, lo que hará que el producto final resulte ser más económico.

A continuación, se introducen elementos que se utilizan en la programación.

Variables de verificación: llamaremos de esta manera cuando nos estemos refiriendo a los valores de “a”, “b” y “t”, que son modificadas constantemente.

Formulas de verificación: se refieren a las 5 condiciones planteadas en el punto 5.7 “Verificaciones” Fórmulas (102), (103), (104), (105) y (106).



Incremento: es el que se utiliza para ir modificando las tres variables de verificación, teniendo en cuenta que la norma estipula un incremento mínimo de 0,05 metros. Lo indicaremos con “inc”

Valores mínimos y máximos: son los valores entre los cuales se realizará el proceso iterativo.

a_{\min} : valor mínimo que puede tomar la variable “a”

b_{\min} : valor mínimo que puede tomar la variable “b”

t_{\min} : valor mínimo que puede tomar la variable “t”

a_{\max} : valor máximo que puede tomar la variable “a”

b_{\max} : valor máximo que puede tomar la variable “b”

t_{\max} : valor máximo que puede tomar la variable “t”. Se debe tener en cuenta que la ETN 160 estipula que la profundidad máxima de la fundación será de 5/4 de la longitud del empotramiento del poste.

Se definen nuevas variables, las cuales se van a utilizar para realizar la comparación de volumen, y para albergar el resultado final. En primera medida a los mismos se les asignan un valor relativamente grande, las mismas serán:

$$AA = 10, \quad BB=10, \quad TT=10 \quad (107a,b,c)$$

Se definen como volúmenes dos (2) nuevas variables que se utilizarán para comparar los resultados que se van obteniendo.

$$V= AA*BB*TT \quad y \quad v= a *b * t \quad (108a,b)$$

El programa elaborado se resume en los siguientes pasos

1°) Se seleccionan los valores mínimos de “a”, “b” y “t”

2°) se analiza si el valor de “v” es menor que el valor de “V”, si lo es, se continúa con el paso 3, de lo contrario se procede al paso 5.



3°) Se realizan las Fórmulas de verificación. Si todas verifican, se procede al paso 4, de lo contrario se continúa con el paso 5.

4°) Se redefinen las variables de la siguiente manera: $AA = a$, $BB = b$, $TT = t$

5°) Se incrementa el valor de “a” ($a = a + inc$), si el nuevo valor de “a” supera al valor de a_{max} se procede al paso 6, de lo contrario se vuelve al paso 2.

6) Se redefinen: el valor de $a = a_{min}$, y se incrementa “b” ($b = b + inc$), si el nuevo valor de “b” supera al valor de b_{max} se procede al paso 7, de lo contrario se vuelve al paso 2.

7) Se redefinen: el valor de $a = a_{min}$, y el valor de $b = b_{min}$ y se incrementa el valor de “t” ($t = t + inc$), si el nuevo valor de “t” supera al valor de t_{max} se procede al paso 8, de lo contrario se vuelve al paso 2.

8) Los valores obtenidos de “AA”, “BB” y “TT”, ahora son los valores de la fundación de volumen mínimo que cumplen con las condiciones planteadas en las fórmulas de verificación.

Este proceso se realiza para cada uno de los tipos de fundaciones.

Lo explicado anteriormente se esquematiza en los diagramas de flujo de las Figuras 32 y 33. Se comienza con el que se ha denominado “Proceso I”, y en determinado punto pasa al “Proceso II”, el cual se encarga de realizar todos los cálculos. El “Proceso I” realiza la labor iterativa, cambiando los valores de “a”, “b” y “t” hasta hallar las dimensiones óptimas.

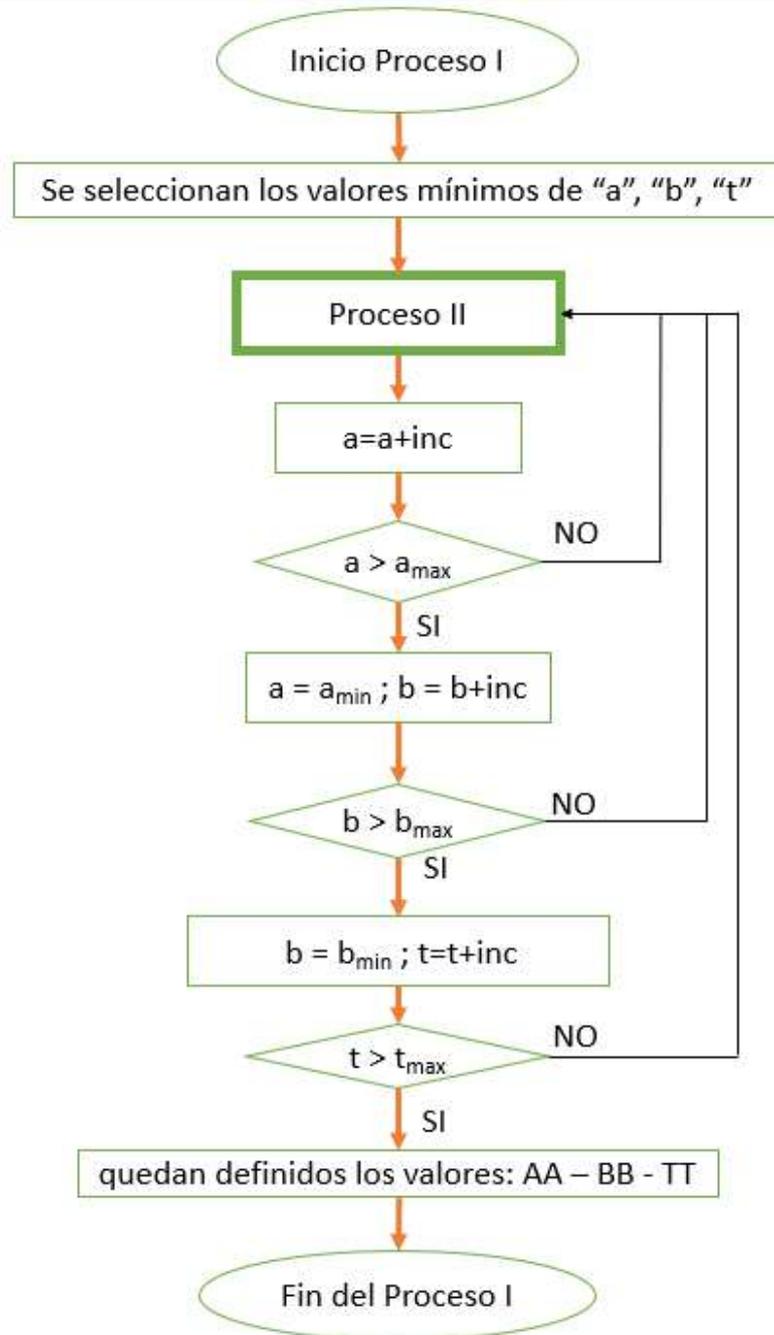


Figura 32: Diagrama de Flujo del proceso I, de carácter iterativo para la selección de los valores óptimos de "a", "b" y "t".

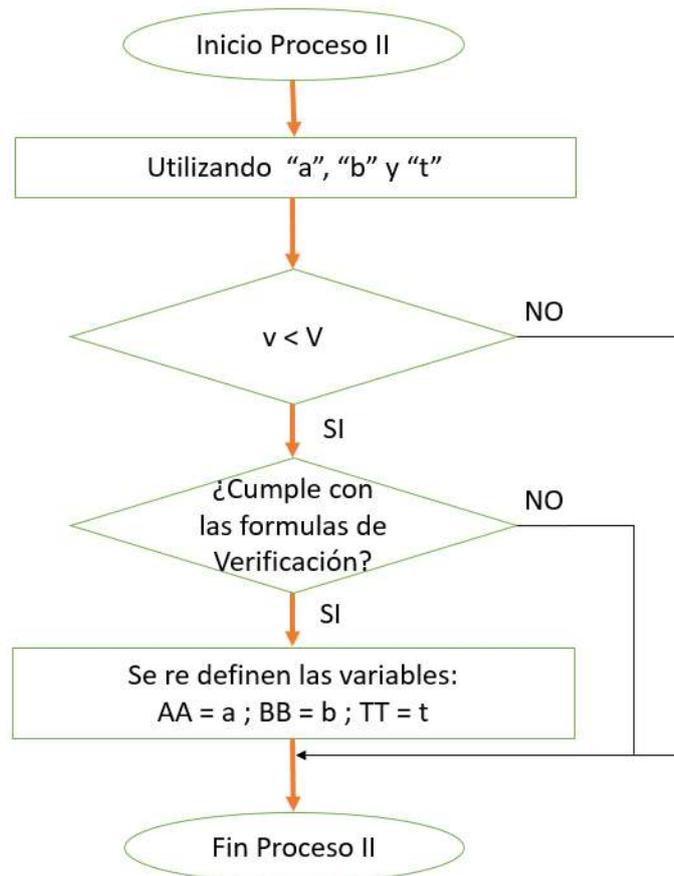


Figura 33: Diagrama de Flujo del proceso II, de verificación de las condiciones planteadas para la estabilidad de la fundación en conjunto con la estructura.

8.9. Resultados de las fundaciones

Como resultado de los cálculos de fundaciones se muestran los siguientes datos para cada una de ellas:

- Dimensiones de la excavación
- Volumen bruto de hormigón, el cual definirá el volumen de la excavación, el mismo se obtiene de realizar la multiplicación entre las tres (3) variables que determinan las dimensiones de la fundación, el mismo se mide en m^3
- Volumen neto de hormigón, que estará dado por el volumen bruto de hormigón menos los agujeros, el mismo se calcula mediante la Fórmula (89)



- Peso total, el cual incluye el peso del hormigón, peso de la estructura, peso de la tierra gravante restando la subpresión, la misma se calcula con la Fórmula (93) y se encuentra medido en daN

- Momento de vuelco M_v , el mismo se determina en la Fórmula (94)

- Momento lateral M_s , determinado con la Fórmula (95)

- Momento de fondo M_b , determinado con la Fórmula (96)

- Relación M_s/M_b , obtenida del punto 5.4 “Coeficiente de seguridad”.

- Coeficiente de seguridad S , obtenido de la función de la Gráfica 1.

- Coeficiente de Seguridad actuante $\frac{M_s+M_b}{M_v}$, obtenido de la fórmula (103)

En la Tabla 9 se muestra una captura de pantalla en la que se observan los resultados al culminar el proceso de cálculo de una fundación.

Datos	Suspensión Rural	Unidad
Volumen Bruto de Hormigón	59.15	m ³
Volumen Neto de Hormigón	58.7252	m ³
Peso Total	204 909.	daN
Momento de Vuelco	40 501.7	daN*cm
Momento Lateral	295 406.	daN*cm
Momento de fondo	290 232.	daN*cm
Ms/Mb	1.01783	
C.S. necesario	0.997359	
C.S. actuante	14.4596	

Tabla 9: Captura de pantalla de los resultados de una fundación.



9. FRANJA DE SEGURIDAD

Según Ley Provincial 10.742 y su reglamentación, a los efectos de ganartizar la seguridad de las instalaciones, de los bienes y de las personas, se prohíbe todo tipo de construcciones, plantación de arboles e inclusive realizar movimientos de suelo que pongan o puedan poner el riesgo la estabilidad de las estructuras, dificulten las tareas de mantenimiento o disminuyan las distancias de seguridad a los conductores.

La franja de seguridad para la zona rural se calculará mediante la fórmula:

$$A_r = a + 2 (L_c + f_{\max}) \text{Sen} \varphi + 2 d_1 \quad (109)$$

Siendo:

A_r : Ancho de la franja de seguridad para la zona rural, obtenida en metros

a : Distancia horizontal entre conductores extremos, medida en metros

L_c : longitud de la cadena de aisladores, medida en metros

f_{\max} : Flecha máxima debido a la longitud de viento máximo.

φ : Ángulo de declinación máximo en la cadena de aisladores y conductores.

d_1 : Distancia horizontal mínima de seguridad, este valor es determinado en función de la tensión en kV, y la zona, para el caso de zona rural se toma igual a 3 metros. Los datos son obtenidos de la ETN n° 160 y se encuentra mostrada en la Tabla 12 del anexo I tablas.

En las zonas urbanas se agregan dos franjas adicionales en ambos lados de la primera, denominada “Franja Adicional de Restricción Limitada”, este valor depende de la tensión de la línea, por lo que para calcular la franja de seguridad de la zona urbana se utiliza la siguiente fórmula:

$$A_u = a + 2 (L_c + f_{\max}) \text{Sen} \varphi + 2d_1 + 2d_2 \quad (110)$$

Siendo:

A_u : Ancho de la franja de seguridad para la zona urbana, obtenida en metros

d_1 : Distancia horizontal mínima de seguridad, este valor es determinado en función de la tensión en kV, y la zona, para el caso de zona urbana se toma igual a 3.2 metros. Los datos se obtienen de la ETN n° 160 y se muestra en la tabla n° 12 del anexo I tablas.



d_2 : distancia adicional en ambos lados de la franja de seguridad primaria, los datos son obtenidos de la ETN n°160 y se muestran en la tabla n° 13 del anexo I tablas.

El cálculo de las Fórmulas (109) y (110) se puede observar en el Código 12, del Anexo VI.

Una captura de pantalla de los resultados explicados anteriormente se visualiza en la Figura 34.

Franja de Seguridad

Rural	21.915	metros
Urbana	38.9399	metros

Figura 34: Captura de pantalla obtenido de la Franja de Seguridad rural y urbana.



10. TABLAS DE TENDIDO ELÉCTRICO

Una vez efectuado el plantado de los soportes en sus respectivas fundaciones, con todos sus accesorios tales como ménsulas, crucetas, morsetería y cadena de aisladores, se debe realizar el montaje o tendido de conductores.

El tendido de conductores se realiza sobre roldanas colgadas sobre las cadenas de aisladores de las ménsulas y crucetas de los postes. Luego se efectúa el flechado de cables, lo que refiere a hacer cumplir el valor de flecha correspondiente, por medio de los valores obtenidos en la tabla de tendido. Después de realizar esto se fija a las morsas de las cadenas de suspensión y de retención.

Para realizar la tabla de tendido se debe seleccionar la longitud que posee el tramo así como muestra la Figura 35, en la cual se ha seleccionado un vano igual a 240 metros.

Vano para la Tabla de Tendido Eléctrico

A screenshot of a software interface showing a text input field with the number '240' entered. The field is surrounded by a double-line border.

Figura 35: Selección del vano a calcular para la tabla de tendido eléctrico.

La tabla de tendido eléctrico se debe realizar tanto para el conductor como para el hilo de guardia. Tomando como ejemplo el vano de 240 metros se muestran en las Figuras 36 y 37 el resultado obtenido para ambos cables.

Tabla de tendido eléctrico para el conductor

Temp.	Tensión	Tensión	Flecha	A los 5	A los 10
°C	daN/mm ²	daN	m	Seg	Seg
-5	7.25473	3559.17	3.27059	17.6418	35.2837
-4	7.18396	3524.45	3.30281	17.7285	35.457
-3	7.11426	3490.26	3.33517	17.8151	35.6303
-2	7.04561	3456.58	3.36766	17.9017	35.8034
-1	6.97802	3423.42	3.40028	17.9882	35.9764
0	6.91147	3390.77	3.43303	18.0746	36.1492
1	6.84595	3358.62	3.46588	18.1609	36.3218
2	6.78146	3326.98	3.49884	18.2471	36.4941



Temp.	Tensión	Tensión	Flecha	A los 5	A los 10
°C	daN/mm ²	daN	m	Seg	Seg
3	6.71798	3295.84	3.5319	18.3331	36.6661
4	6.65551	3265.19	3.56506	18.4189	36.8378
5	6.59403	3235.03	3.59829	18.5046	37.0091
6	6.53353	3205.35	3.63161	18.59	37.1801
7	6.47401	3176.15	3.665	18.6753	37.3506
8	6.41544	3147.42	3.69846	18.7604	37.5207
9	6.35782	3119.15	3.73198	18.8452	37.6903
10	6.30114	3091.34	3.76555	18.9297	37.8595
11	6.24539	3063.99	3.79917	19.0141	38.0281
12	6.19054	3037.08	3.83283	19.0981	38.1962
13	6.13659	3010.61	3.86652	19.1819	38.3637
14	6.08353	2984.58	3.90025	19.2653	38.5307
15	6.03133	2958.97	3.934	19.3485	38.697
16	5.98	2933.79	3.96777	19.4314	38.8628
17	5.92951	2909.02	4.00155	19.5139	39.0279
18	5.87986	2884.66	4.03535	19.5962	39.1923
19	5.83102	2860.7	4.06914	19.6781	39.3561
20	5.78299	2837.13	4.10294	19.7596	39.5192
21	5.73575	2813.96	4.13673	19.8408	39.6816
22	5.68928	2791.16	4.17052	19.9217	39.8433
23	5.64359	2768.74	4.20429	20.0021	40.0043
24	5.59864	2746.69	4.23804	20.0823	40.1646
25	5.55443	2725.01	4.27177	20.162	40.3241
26	5.51095	2703.67	4.30547	20.2414	40.4828
27	5.46818	2682.69	4.33915	20.3204	40.6408
28	5.42612	2662.05	4.37279	20.399	40.7981
29	5.38473	2641.75	4.40639	20.4773	40.9546
30	5.34402	2621.78	4.43996	20.5551	41.1102
31	5.30398	2602.13	4.47348	20.6326	41.2652
32	5.26458	2582.8	4.50696	20.7096	41.4193
33	5.22581	2563.78	4.54039	20.7863	41.5726
34	5.18768	2545.07	4.57377	20.8626	41.7251
35	5.15015	2526.66	4.6071	20.9384	41.8769
36	5.11323	2508.55	4.64037	21.0139	42.0278
37	5.07689	2490.72	4.67358	21.089	42.1779
38	5.04113	2473.18	4.70673	21.1636	42.3273
39	5.00594	2455.91	4.73982	21.2379	42.4758
40	4.9713	2438.92	4.77284	21.3118	42.6235
41	4.93721	2422.2	4.8058	21.3852	42.7704
42	4.90365	2405.73	4.83869	21.4583	42.9165
43	4.87062	2389.52	4.87151	21.5309	43.0618
44	4.83809	2373.57	4.90426	21.6032	43.2063
45	4.80607	2357.86	4.93693	21.675	43.35

Figura 36: Resultado de la tabla de tendido eléctrico del conductor.



Tabla de tendido eléctrico para el hilo de guardia

Temp.	Tensión	Tensión	Flecha	A los 5	A los 10
°C	daN/mm ²	daN	m	Seg	Seg
-5	17.6888	2039.88	1.34137	11.2981	22.5962
-4	17.6054	2030.26	1.34773	11.3248	22.6496
-3	17.5223	2020.67	1.35412	11.3517	22.7033
-2	17.4394	2011.11	1.36056	11.3786	22.7572
-1	17.3568	2001.59	1.36703	11.4056	22.8113
0	17.2745	1992.1	1.37354	11.4328	22.8655
1	17.1926	1982.65	1.38009	11.46	22.92
2	17.1109	1973.23	1.38668	11.4873	22.9746
3	17.0295	1963.84	1.3933	11.5147	23.0294
4	16.9484	1954.49	1.39997	11.5422	23.0845
5	16.8676	1945.18	1.40667	11.5698	23.1397
6	16.7872	1935.9	1.41342	11.5975	23.1951
7	16.707	1926.65	1.4202	11.6253	23.2506
8	16.6272	1917.45	1.42702	11.6532	23.3064
9	16.5477	1908.28	1.43387	11.6812	23.3623
10	16.4684	1899.14	1.44077	11.7092	23.4184
11	16.3896	1890.04	1.44771	11.7374	23.4747
12	16.311	1880.98	1.45468	11.7656	23.5312
13	16.2328	1871.96	1.46169	11.7939	23.5878
14	16.1548	1862.98	1.46874	11.8223	23.6447
15	16.0773	1854.03	1.47583	11.8508	23.7016
16	16.	1845.12	1.48295	11.8794	23.7588
17	15.9231	1836.25	1.49012	11.9081	23.8161
18	15.8465	1827.42	1.49732	11.9368	23.8736
19	15.7702	1818.62	1.50456	11.9656	23.9312
20	15.6943	1809.87	1.51184	11.9945	23.989
21	15.6188	1801.16	1.51915	12.0235	24.047
22	15.5435	1792.48	1.5265	12.0526	24.1051
23	15.4687	1783.85	1.53389	12.0817	24.1634
24	15.3941	1775.25	1.54132	12.1109	24.2218



Temp.	Tensión	Tensión	Flecha	A los 5	A los 10
°C	daN/mm ²	daN	m	Seg	Seg
25	15.3199	1766.7	1.54878	12.1402	24.2804
26	15.2461	1758.18	1.55628	12.1696	24.3391
27	15.1726	1749.71	1.56382	12.199	24.398
28	15.0995	1741.27	1.57139	12.2285	24.457
29	15.0267	1732.88	1.579	12.2581	24.5161
30	14.9543	1724.53	1.58665	12.2877	24.5754
31	14.8823	1716.22	1.59433	12.3174	24.6348
32	14.8106	1707.95	1.60205	12.3472	24.6944
33	14.7392	1699.73	1.6098	12.377	24.7541
34	14.6683	1691.54	1.61759	12.4069	24.8139
35	14.5977	1683.4	1.62541	12.4369	24.8738
36	14.5274	1675.3	1.63327	12.4669	24.9339
37	14.4576	1667.25	1.64117	12.497	24.9941
38	14.3881	1659.23	1.64909	12.5272	25.0544
39	14.3189	1651.26	1.65705	12.5574	25.1148
40	14.2502	1643.33	1.66505	12.5876	25.1753
41	14.1818	1635.44	1.67308	12.6179	25.2359
42	14.1138	1627.6	1.68114	12.6483	25.2966
43	14.0461	1619.8	1.68924	12.6787	25.3575
44	13.9789	1612.04	1.69736	12.7092	25.4184
45	13.912	1604.33	1.70553	12.7397	25.4794

Figura 37: Resultado de la tabla de tendido eléctrico del hilo de guardia.



11. CONCLUSIONES

A partir de lo desarrollado en el presente trabajo final de carrera se puede concluir lo siguiente:

En el proceso de diseño y cálculo de un tendido eléctrico se utilizan una gran cantidad de formulaciones que, al tener un algoritmo, las mismas se realizan automáticamente. El programa realizado está basado en la normativa vigente en la provincia de Santa Fe para el tendido eléctrico de líneas de alta tensión. De manera que el proyectista que lo utilice pueda estar seguro de que todos los valores que se vayan calculando se encuentren dentro de las normas.

En todo proceso de cálculo estructural que realiza un ingeniero proyectista, poseer un programa informático que realice las operaciones es inevitablemente beneficioso, ya que reduce los tiempos empleados.

Tener la posibilidad de optimizar las dimensiones de las fundaciones impacta directamente en costos finales del proyecto.

Al poseer un programa que reduce los tiempos de cálculo, quien lo utilice podrá ir alternando diferentes condiciones y luego seleccionar la que su criterio sea la más conveniente, evitando sobredimensionamientos. Si bien el algoritmo no se ha preparado para que se realice un balance económico, se entiende que al variar las cantidades en los materiales, los costos finales del tendido de la línea se verán alterados.

Por otro lado, también está abierto a agregar gran cantidad de planillas con datos de materiales y tipos de postes.

El programa está totalmente abierto y estas modificaciones son relativamente fáciles de realizar.

El programa tiene aspecto intuitivo y puede colaborar en la tarea educativa a los fines de que los alumnos de los últimos años de las carreras de ingeniería puedan probar diferentes posibilidades en una misma instalación. Incluso cambiar la precisión con la que se realizan los cálculos, a los fines de obtener datos mucho más precisos.

Queda abierta la posibilidad de ampliar las regiones geográficas implicadas, simplemente agregando rutinas que tengan en cuenta los condicionamientos y normativas requeridos en tal caso.



12. REFERENCIAS

- ETN 160 “Condiciones para el cálculo y diseño de líneas de media y alta tensión”
- ETN 10 “Aisladores de porcelana o de vidrio para instalaciones eléctricas y redes de corriente alterna”
- Reglamento CIROC 201 Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios. Secretaría de Obras Públicas de la Nación. “Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón”
- Ley Provincial 10.742. Servidumbre Administrativa de Electroductos.
- Wolfram Mathematica © 1988-2020, Wolfram Research inc. Version 11.
- ETN 1 Norma de Agua y Energía Eléctrica
- Guía UNIVERSIDADES NACIONALES DE LA PLATA Y BUENOS AIRES FACULTADES DE INGENIERIA TRANSMISIÓN DE LA ENERGÍA CÁLCULO MECÁNICO DE LÍNEAS AÉREAS, escrito por el Ingeniero Hector Leopoldo Soibelzon



ANEXO I TABLAS

Diámetro del Cable (m)	Coefficiente (K)
$d \leq 12,5$	1,2
$12,5 < d \leq 15,8$	1,1
$D > 15,8$	1

Tabla 1: Valor de K en función del diámetro del cable.

Item	Disposición	Cantidad	
		132kV	Nomenclatura
A	Suspensión simple	9	S
B	Susp.doble cadena vertical	18	SD
C	Susp.doble cadena en V	18	SV
D	Retención Simple	9	RS
E	Retención Doble	20	RD
F	Cadena para cuello muerto	9	CM

Tabla 2: cantidad de aisladores

Conductor	Secciones nominales	
Al.Ac según IRAM 2187	95/15 120/20	185/30 240/40 300/50
Aleación de Aluminio Magnecio Silicio (AlMgSi) según IRAM 2212	Todas	- . -
Cobre electrolítico según IRAM 2004	Todas	- . -
Disposición	Factor K	
Conductor uno sobre otro de cualquier manera	0,85	0,75
Triángulo equilátero	0,70	0,65
Horizontal	0,65	0,62

Tabla 3: coeficiente k que depende del tipo de conductor, material y de la disposición geométrica



	Características de la Zona Accidentes que cruza la Línea	Distancias Mínimas Admisibles (m)				
		De Conductores con flecha máxima			De conductores declinados	
		Tensión de Servicio (kV)				
		13,2	33	132	33	132
1	Zonas pobladas urbanas y suburbanas de ciudades, pueblos y villas, plantas industriales, granjas, etc.					
	α) Altura libre hasta el nivel del suelo.	8,50	8,50	9,00	–	–
	β) Altura libre hasta el nivel del suelo con rotura del conductor en el vano vecino.	5,00	5,00	5,00	--	--
	γ) Distancia hasta las partes más próximas de edificios e instalaciones	1,50	2,00			
2	Zonas rurales, campos de pastoreo y labrados, estancias, huertas, viñedos, cañaverales, etc.					
	a) Altura libre hasta el nivel del suelo.	6,50	6,50	7,00	–	–
	b) Distancia hasta la parte más próxima de las árboles en parques, plantaciones de madera, etc, cuyas alturas superan los 4 m.	2,00	2,00	3,00	3,00	3,00
	c) Distancia hasta la copa de los árboles frutales u otros cultivos, cuya altura no sobrepasen en 4 m	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

Tabla 4: Distncias mínimas admisibles

Velocidad (km/h)	Esfuerzo sobre c/aislador (daN)
30	0,10
72	0,50
145	1,50

Tabla 5: Esfuerzo sobre cada aislador

Tensión (kV)	Flecha (m)
13,2	0,60
33	0,80
132	1,50

Tabla 6: Flecha de los puentes de conexión en estructuras de retención.



Conductor	Viento (km/h)	Angulo (φ)
300/50	145	32
	72	10
240/40	145	39
	72	13
185/30	145	45
	72	16
120/20	145	54
	72	22
95/15	145	60
	72	28

Tabla 7: Angulo de inclinación de los puentes de conexión.

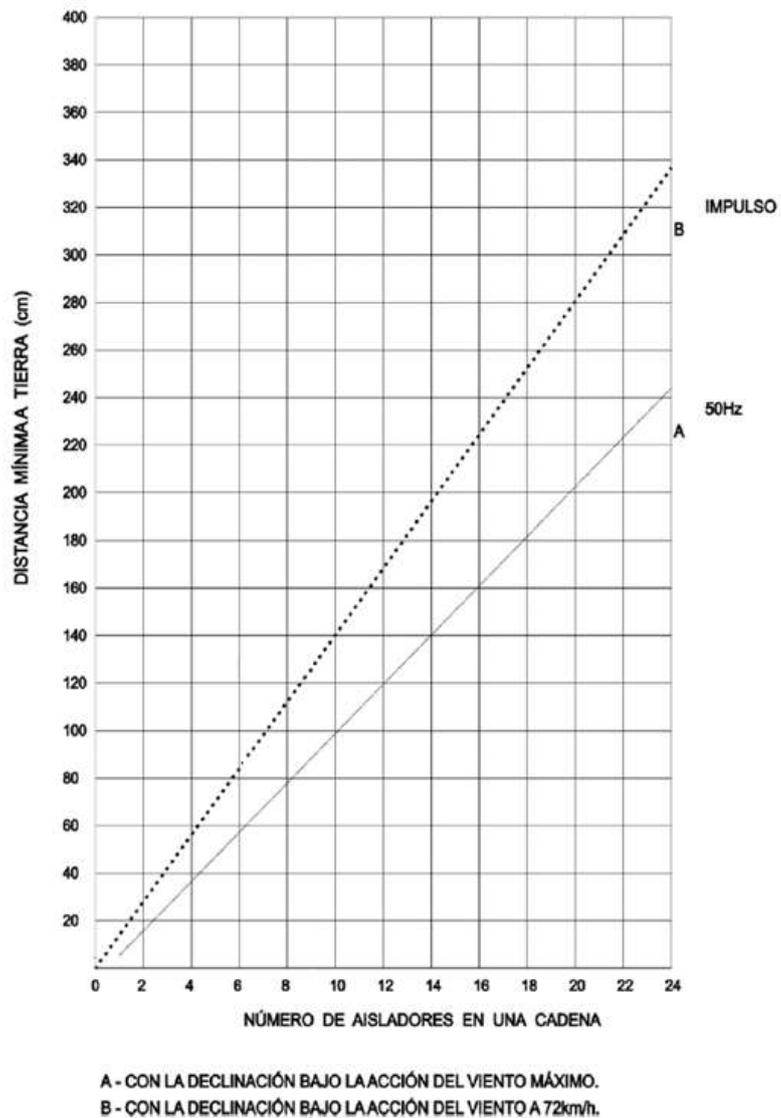


Gráfico 1: Distancias mínimas del conductor a tierra a impulso y a frecuencia industrial.



Elemento Considerado	Coefficiente K
Caras reticuladas planas de perfiles.	1,6
Estructuras reticuladas de perfiles, cuadradas o rectangulares.	2,8
Caras reticuladas de tubos.	1,2
Estructuras reticuladas de tubos.	2,1
Postes tubulares de Ac, de H°A° o de madera, de sección circular.	0,7
Postes dobles de caños tubulares de Ac, de H°A° o de madera de sección circular: 1 Viento paralelo al plano de la estructura: 1.1 Poste expuesto al viento. 1.2 Poste en la sombra del viento: 1.2.1 Para $a < 2d_m$ (1). 1.2.2 Para $2d_m \leq a \leq 6d_m$. 1.2.3 Para $6d_m < a$. 2 Viento perpendicular al plano de la estructura, para cada uno de los postes: 2.1 Para $a < 2d_m$. 2.2 Para $2d_m \leq a$.	0,7 0 0,35 0,7 0,8 0,7
Postes triples. En cualquier dirección y por cada poste.	1
Postes tubulares de Ac y postes de H°A°, de sección hexaagonal u octogonal.	1

Tabla 8: Coeficiente de presión dinámica para estructuras

Distancia (H)	Número de Vinculos
$H \leq 10$ m	2
10 m $< H \leq 12$ m	3
12 m $< H \leq 15$ m	4
15 m $< H \leq 18$ m	5
18 m $< H \leq 22$ m	6

Tabla 9: Cantidad de vínculos



Para 2 vínculos:	0.300 H	0.335 H	0.365 H	--		
Para 3 vínculos:	0.200 H	0.245 H	0.265 H	0.290 H		
Para 4 vínculos:	0.170 H	0.185 H	0.200 H	0.215 H	0.230 H	
Para 5 vínculos:	0.150 H	0.150 H	0.160 H	0.170 H	0.180 H	0.190 H
Para 6 vínculos:	0.113 H	0.123 H	0.133 H	0.143 H	0.153 H	0.163 H 0.172 H

Tabla 10: Distancia entre vínculos.

M_s/M_b	S
1	1,00
0,90	1,02
0,80	1,05
0,70	1,08
0,65	1,10
0,60	1,12
0,55	1,14
0,50	1,16
0,45	1,18
0,40	1,20
0,35	1,22
0,30	1,25
0,25	1,28
0,20	1,31
0,15	1,35
0,10	1,39
0,05	1,44
0	1,50

Tabla 11: Valores del coeficiente de seguridad "S" en función de M_s/M_b

Tensión (kV)	d (m)	
	Zona Rural	Zona Urbana
13.2	1.70	1.50
33	2.20	2.00
66	2.70	2.50
132	3.20	3,00
220	3.70	3.50
500	5.80	5.60

Tabla 12: Distancia horizontal mínima de seguridad



Tensión (kV)	d (m)
33	3,00
66	4,00
132	5,00

Tabla 13: Distancia horizontal para zona rural, franja adicional.



ANEXO II CÓDIGOS DE IMPORTACIÓN DE DATOS

Se presenta a continuación, los códigos de programación empleados en el programa Mathematica para las diferentes partes del trabajo realizado.

En el programa Mathematica, las expresiones que se encuentran dentro de (*---*) son comentarios que no son evaluados, sirven para aclarar cual es el proceso que se está realizando.

Al extraer datos de una planilla Excel, se debe determinar correctamente cual es la ruta en la que se encuentra dicho archivo, como se observa en los códigos del 1 al 3, el mismo debe estar claramente indicado entre comillas y corchetes dentro del comando Import.

```
cablecompleto := Transpose[Drop[Transpose[Import["C:\\Users\\Usuario\\Dropbox\\Proyecto Final\\Conductores.xlsx"]
  [[1]], {9, 12}]] (*Traigo la tabla completa*)
cableExcel := Drop[cablecompleto, {1, 2}] // TableForm (*Saco los titulos*)
cablec[c_] := cableExcel[[1, All, c]] (*Cablec: Busca la columna "c"*)
cablev[f_] := cableExcel[[1, f, All]] (*Cablev: Busca la fila "f"*)
totc = Length[cableExcel[[1, All, 1]]]; (*Cuenta la cantidad de elementos de cables*)
```

Código 1: Importación de datos de los Cables desde la planilla Excel al Mathematica.

```
hilogcompleto := Import["C:\\Users\\Usuario\\Dropbox\\Proyecto Final\\Hilo de Guarda.xlsx"]
[[1]] (*Traigo la tabla completa*)
hilogExcel := Drop[hilogcompleto, 3] // TableForm
hilogv[f_] := hilogExcel[[1, f, All]] (*hilogv: Busca la fila "f"*)
hilogc[f_] := hilogExcel[[1, All, f]] (*hilogv: Busca la columna "f"*)
tothg = Length[hilogExcel[[1, All, 1]]]; (*Cuenta la cantidad de elementos de cables*)
```

Código 2: Importación de datos de los hilos de guardia desde la planilla Excel al Mathematica.

En el caso de los Códigos 1 y 2, además del importar la planilla de datos, se observan funciones para la búsqueda de valores en filas y columnas.

```
Vanos = Drop[Import["C:\\Users\\Usuario\\Dropbox\\Proyecto Final\\Planilla de Replanteo LAT.xls"]
  [[1]], {1, 2}][[All, 5]]; (*Importo desde el excel*)
(*quito la llave general*) (*quito las primeras 2 filas*)
(*Tomamos solo la columna 5 que es "Vanos"*)
n = Length[Vanos];
```

Código 3: Importación de datos de los vanos desde la planilla Excel al Mathematica.



En los Códigos del 1 al 3 existe un comando de conteo, de manera que sin importar la cantidad de filas que agregue el usuario, todas se tendrán en cuenta para ser usadas en el algoritmo de programación.

```
postescompleto := Import["C:\\Users\\Usuario\\Dropbox\\Proyecto Final\\Postes\\Tabla Postes de alta tensión.xlsx"]  
[[1]];  
postes := Drop[postescompleto, {1, 4}];
```

Código 4: Importación de datos de los postes desde la planilla Excel al Mathematica.

```
aisladorescompleto :=  
Drop[Import["C:\\Users\\Usuario\\Dropbox\\Proyecto Final\\Aisladores.xlsx"][[1]], {1, 2}];
```

Código 5: Importación de datos de los aisladores y accesorios desde la planilla Excel al Mathematica.



ANEXO III CÓDIGOS DE CARGA DE DATOS POR EL USUARIO

A los fines de que el usuario pueda ingresar datos, primero se deben realizar las funciones de carga, que son las que se muestran en el Código 1. Luego se generan los paneles en donde se muestran los botones de ingreso de datos, Código 2. Al realizar la selección de cualquier dato, el mismo almacena la información necesaria dentro de las variables correspondientes, las cuales se utilizan luego para realizar los cálculos.

```
(*Ingreso de la cantidad de hilos de guardia*)
Datos1 := Grid[{{
    Button["1 Hilo de Guardia", {yy = 1}],
    Button["2 Hilos de Guardia", {yy = 2}]
}},
Frame → All]

(*Ingreso de la cantidad de Conductores por Cable*)
Datos2 := Grid[{{
    Button["1 Conductor", {uu = 1}],
    Button["2 Conductores", {uu = 2}],
    Button["3 Conductores", {uu = 3}],
    Button["4 Conductores", {uu = 4}]
}},
Frame → All]

(*Ingreso de la cantidad de Cables (Ternas)*)
Datos5 := Grid[{{
    Button["Simple Terna", {eee = "simple terna", ee = 1}],
    Button["Doble Terna", {www = "doble terna", ee = 2,
        www = "Conductor uno sobre otro de cualquier manera", ww = "f1"}]
}},
Frame → All]

(*Ingreso de Disposición de los cables del Proyecto*)
Datos4 := Grid[{{
    Button["Conductor uno sobre otro de cualquier manera",
        {www = "Conductor uno sobre otro de cualquier manera", ww = "f1"}],
    Button["Triángulo equilátero", {www = "Triángulo equilátero", ww = "f2"}],
    Button["Horizontal", {www = "Horizontal", ww = "f3"}]
}},
Frame → All]
```

Código 1: Generación de botones para las funciones de carga de datos



```
Panel[
  Dynamic[{{"Cantidad de Ternas", "Disposición de los cables al ser Simple Terna"},
    {Datos5, If[ee == 1, Datos4, "Doble Terna, Conductor uno sobre otro"]}} // TableForm]]
Panel[Dynamic[{{"Cantidad de Hilos de Guardia"},
  {Datos1, If[yy == 1, "A seleccionado un solo hilo de guardia",
    "A seleccionado dos hilos de guardia"]}} // TableForm]]
Panel[
  Dynamic[
    {"Cantidad de Conductores Por Fase"},
    {Datos2, If[uu == 1, "A seleccionado un Conductor por fase",
      If[uu == 2, "A seleccionado dos Conductores por fase",
        If[uu == 3, "A seleccionado tres Conductores por fase",
          If[uu == 4, "A seleccionado cuatro Conductores por fase"]]]]]} // TableForm]]
```

Código 2: Panel de ingreso de datos

El Código 3 genera los deslizadores correspondientes para que el usuario pueda seleccionar la cantidad de postes que se utilizarán en cada tipo de estructura. La manipulación de estos se realiza deslizando la barra hasta llegar al valor deseado. El salto entre valores, para este caso, es discreto y varía entre 1 y 3, no se le está permitido al usuario salirse de los valores.

```
Manipulate[
  {Dynamic[
    TableForm[Transpose[{{"Nº1", "Nº2", "Nº3", "Nº4", "Nº5", "Nº6", "Nº7", "Nº8", "Nº9", "Nº10"},
      {np1 = n1, np2 = n2, np3 = n3, np4 = n4, np5 = n5, np6 = n6, np7 = n7, np8 = n8, np9 = n9, np10 = n10}}]]],
    {{n1, 1, "Nº1) Suspensión Simple Rural"}, 1, 3, 1}, {{n2, 1, "Nº2) Suspensión Angular"}, 1, 3, 1},
    {{n3, 2, "Nº3) Retención Simple Rural"}, 1, 3, 1}, {{n4, 3, "Nº4) Retención Angular Rural"}, 1, 3, 1},
    {{n5, 2, "Nº5) Retención Cruce por Ruta"}, 1, 3, 1}, {{n6, 3, "Nº6) Terminal Rural"}, 1, 3, 1},
    {{n7, 1, "Nº7) Suspensión Simple Urbana"}, 1, 3, 1}, {{n8, 2, "Nº8) Suspensión Angular Urbana"}, 1, 3, 1},
    {{n9, 3, "Nº9) Retención Angular Urbana"}, 1, 3, 1}, {{n10, 3, "Nº10) Terminal Urbana"}, 1, 3, 1}}
```

Código 3: Deslizadores para el ingreso de la cantidad de postes por estructura.

El Código 3 tiene preestablecido la cantidad de postes por cada tipo de estructura, los cuales son:

- 1) Estructura de suspensión rural un “1” poste
- 2) Estructura de suspensión angular un “1” poste
- 3) Estructura de retención simple rural dos “2” postes
- 4) Estructura de retención angular rural tres “3” postes



- 5) Estructura de retención cruce por ruta dos "2" postes
- 6) Estructura terminal rural tres "3" postes
- 7) Estructura de suspensión urbana un "1" poste
- 8) Estructura de retención dimple dos "2" postes
- 9) Estructura de retención angular tres "3" postes
- 10) Estructura terminal urbana tres "3" postes

Para el ingreso de datos con las características del suelo, se realizaron los códigos 4, 5 y 6, los mismos utilizan deslizadores, en los cuales el usuario puede manipular para determinar el valor deseado.

```
Panel[
Manipulate[Dynamic[TableForm[Transpose[{{" Altura 1 en [m]", "Ct1 en [daN/cm³] ", "
Altura 2 en [m]", "Ct2 en [daN/cm³]"}, {ct1x = ct1xx, ct1 = ct1y, ct2x = ct2xx, ct2 = ct2y}}]]]],
{{ct1xx, 0.5, "Primer altura medida de Ct"}, 0.1, 2, 0.1}, {{ct1y, 1.5, "Valor de Ct a la primer medida"}, 0, 10, 0.1},
{{ct2xx, 2, "Segunda altura medida de Ct"}, 0.1, 5, 0.1}, {{ct2y, 2.7, "Valor de Ct a la segunda medida"}, 0, 10, 0.1}]]
```

Código 4: Generación de entradas para el dato del coeficiente de compresibilidad lateral.

```
Panel[Manipulate[Dynamic[TableForm[Transpose[{{"Coeficiente de Compresibilidad Cb en [kg/cm³] ",
"Tensión admisible del suelo en [kg/cm³] ", " Coeficiente de rozamiento"},
{Cb = cb, σadm = σadm, μ = mu}}]]]], {{cb, 3.2, "Cb"}, 0.1, 10, 0.1},
{{σadm, 6, "Tensión admisible"}, 0, 10, 0.1}, {{mu, 0.5, "μ"}, 0.1, 5, 0.1}]]
```

Código 5: Generación de entradas para el ingreso de los datos: coeficiente de compresibilidad, tensión admisible del suelo y coeficiente de rozamiento.

```
Panel[
Dynamic[Manipulate[{{"En kg/m³", "En kg/m³", "En Radianes"}, {p1, p2, p3 *  $\frac{\pi}{180}$  // N},
{"En daN/m³", "En daN/m³", "En grados"}, {γh = p1 * dan, γt = p2 * dan, β = p3} // TableForm,
{{p1, 2300, "Peso específico del Hormigón"}, 2200, 2400, 10}, {{p2, 1700,
"Peso específico de la Tierra"}, 1000, 2000, 10},
{{p3, 6°, "Ángulo de incidencia de la tierra gravante"}, 3°, 12°, 1°}]]]]
```

Código 6: Generación de datos de ingreso del peso específico del hormigón y de la tierra, y del ángulo de la tierra gravante.



ANEXO IV CÓDIGOS DE CÁLCULOS GENERALES

Se utilizaron los beneficios que tiene el programa al poder realizar operaciones matemáticas varias, y declarar funciones, las cuales se emplean cuando son requeridas.

```
(* Cálculo del conductor*)
kk := Do[If[cablec[2][[i]] == "Al/Ac" && pp == "Al/Ac",
  (*Si el cable es aluminio Acero*)
  If[cablec[4][[i]] > Sn, {r = i, Break[]}],
  (*Si la sección verifica entonces lo seleccionamos y salimos*)

  If[cablec[2][[i]] == "Al Mg Si" && pp == "Al Mg Si",
  (*Si el cable es una aleación de Magnecio y Silicio*)
  If[cablec[4][[i]] > Sn, {r = i, "lala" i, Break[]}],
  (*Si la sección verifica entonces lo seleccionamos y salimos*)

  If[cablec[2][[i]] == "Cu" && pp == "Cu",
  (*Si el cable es una aleación de Cobre*)
  If[cablec[4][[i]] > Sn, {r = i, Break[]}]
  (*Si la sección verifica entonces lo seleccionamos y salimos*)
]], {i, 1, totc}]
```

Código 1: Selección del conductor.

```
(*Resistencia de Al/Ac*)

$$Ral20 := \frac{\rho_{al20} * 1000 * 1.03}{secal} \quad (*Al a 20 grados*)$$

Ral50 := Ral20 (1 +  $\alpha_{al}$  (50 - 20)) (*Al a 50 grados*)

$$Rac20 := \frac{\rho_{ac20} * 1000 * 1.02}{secac} \quad (*Ac a 20 grados*)$$

Rac50 := Rac20 (1 +  $\alpha_{ac}$  (50 - 20)) (*Ac a 50 grados*)
(*Resistencia total Al/Ac*)

$$Rtot1 := \frac{Ral50 * Rac50}{Ral50 + Rac50}$$

(*Resistencia de Al Mg Si*)

$$Rmg20 := \frac{\rho_{mg20} * 1000}{secmg} \quad (*Sil. a 20 grados*)$$

Rmg50 := Rmg20 (1 +  $\alpha_{mg}$  (50 - 20)) (*Sil.a 50 grados*)
(*Resistencia del Cu*)

$$Rcu20 := \frac{\rho_{cu20} * 1000}{secmg} \quad (*Cu a 20 grados*)$$

Rcu50 := Rcu20 (1 +  $\alpha_{cu}$  (50 - 20)) (*Cu a 50 grados*)
```

Código 2: Cálculo de todas las resistencias a 20°C y 50°C.

```
Resist :=
  If[pp == "Al/Ac", Rtot1,
  If[pp == "Al Mg Si", Rmg50,
  If[pp == "Cu", Rcu50]]]
```

Código 3: Selección de la resistencia en función del material.



$$\text{factorx} = 0.05013 * \sqrt{\frac{50 * 1}{\text{Resist}}};$$

Código 4: Cálculo de la resistencia efectiva.

$$a = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n ((\text{Vanos}[[i]]))^3}{\sum_{i=0}^n ((\text{Vanos}[[i]]))}}$$

Código 5: Sumatoria para obtener el vano de Regulación.

$$\sigma_{\text{tms}} = 5.2 \left(1 + 0.15 \frac{500 - a}{350} \right)$$

Código 6: Ecuación de la tensión para conductores de Aluminio Acero.

```
If[pp == "Al/Ac", If[σtms < 5.98, "Verfica", "No ferifica"], Print["El conductor es de ", pp]]
```

Código 7: Se trata de un condicionante para el caso del conductor de Aluminio Acero, el cual deberá verificar que la tensión a la temperatura media anual, sin carga de viento, no sobrepase el valor que resulta del Código 6.

$$\omega_c[v_] := \text{If}[a > 200, \left(0.75 k \frac{\left(v * \frac{1000}{3600} \right)^2}{16} (\text{Diam} / 1000) \left(0.6 + \frac{80}{a} \right) \text{Sin}[\theta] \right) hv, \left(0.75 k \frac{\left(v * \frac{1000}{3600} \right)^2}{16} (\text{Diam} / 1000) \text{Sin}[\theta] \right) hv]$$

Código 8: Función de carga por viento para cada uno de los estados para el conductor.

$$ss[v_] := \sqrt{\frac{\alpha Me (t_i - t_j) + \sigma_i - \sigma_j}{\frac{Me}{24} \left(\left(\frac{g[v_i]}{\sigma_i} \right)^2 - \left(\frac{g[v_j]}{\sigma_j} \right)^2 \right)}}$$

Código 9: Función que determina el vano crítico del conductor.



```

Do[If[ $\frac{g[v_i]}{\sigma_i} - \frac{g[v_j]}{\sigma_j} = 0$ , (*Si da infinito*)
If[g[vi] = g[vj] && σi = σj, (*Si son iguales se usa el de menor temperatura*)
If[ti < tj, {vi,j = i, Print[{"Estado"i,j → "E"i}]}, {vi,j = j, Print[{"Estado"i,j → "E"j}]},
(*Positivo a iguales*)

(*Negativo a iguales*)
If[α Me (ti - tj) + σi - σj < 0, (*Si la ecuacion es menor a cero*)
{vi,j = i, Print[{"Estado"i,j → "E"i}]}, (*Primer caso*)
{vi,j = j, Print[{"Estado"i,j → "E"j}]}, (*Segundo y tercer caso*)
(*Negativo a dar infinito*)
If[Abs[Im[ssi,j]] > 0, (*Si es imaginario*)
If[ $\frac{g[v_i]}{\sigma_i} > \frac{g[v_j]}{\sigma_j}$ , {vi,j = i, Print[{"Estado"i,j → "E"i}]}, {vi,j = j, Print[{"Estado"i,j → "E"j}]},
(*se toma el de mayor g/σ*)

(*Si no es imaginario, osea es mayor a 0 *)
(*si es Positivo*)
If[ssi,j > a, (*Para todo vano mayor que el crítico*)
If[ $\frac{g[v_i]}{\sigma_i} > \frac{g[v_j]}{\sigma_j}$ , {vi,j = i, Print[{"Estado"i,j → "E"i}]}, {vi,j = j, Print[{"Estado"i,j → "E"j}]},
(*Positivo: el de mayor g/σ*) (*Negativo: el de menor g/σ*)
If[ $\frac{g[v_i]}{\sigma_i} < \frac{g[v_j]}{\sigma_j}$ , {vi,j = i, Print[{"Estado"i,j → "E"i}]}, {vi,j = j, Print[{"Estado"i,j → "E"j}]},
]],
{i, 1, 4}, {j, i + 1, 5}]

```

Código 10: Funciones de comparación de los vanos críticos, la misma determina cual es el estado básico del conductor.

$$\text{Valores} = \text{Table}\left[\text{Solve}\left[\sigma^3 - \sigma^2 \left(-\frac{a^2 g[v_{rr}]^2 \text{Me}}{24 \sigma_{rr}^2} - \alpha \text{Me} (t_i - t_{rr}) + \sigma_{rr}\right) - \frac{a^2 g[v_i]^2 \text{Me}}{24} = 0, \sigma\right], \{i, 1, 5\}\right]$$

Código 11: Tabla de valores de las nuevas tensiones obtenidas para cada uno de los estados, “Ecuación de cambio de estado del conductor”.

$$\text{Do}\left[f_i = \frac{a^2 g[v_i]}{8 \sigma_i}, \{i, 1, 5\}\right]$$

Código 12: Cálculo de la flecha en cada estado del conductor.



Los Códigos del 13 al 17 son los cálculos planteados para el hilo de guardia en el punto 3 del proyecto denominado “Cálculo mecánico de conductores”.

$$\omega_{chg}[v_] := \text{If} \left[a > 200, \left(0.75 \text{ kHg} \frac{\left(v * \frac{1000}{3600} \right)^2}{16} (D_{hg} / 1000) \left(0.6 + \frac{80}{a} \right) \text{Sin}[\theta] \right) hv, \left(0.75 \text{ kHg} \frac{\left(v * \frac{1000}{3600} \right)^2}{16} (D_{hg} / 1000) \text{Sin}[\theta] \right) hv \right]$$

Código 13: Función de carga por viento para cada uno de los estados para el hilo de guardia.

$$sshg[v_] := \sqrt{\frac{\alpha_{hg} E_{hg} (t_i - t_j) + \sigma_{hg_i} - \sigma_{hg_j}}{\frac{E_{hg}}{24} \left(\left(\frac{phg[v_i]}{\sigma_{hg_i}} \right)^2 - \left(\frac{phg[v_j]}{\sigma_{hg_j}} \right)^2 \right)}}$$

Código 14: Función que determina el vano crítico del hilo de guardia.



```

Do [ If [  $\frac{phg[v_i]}{\sigma_{hg_i}} - \frac{phg[v_j]}{\sigma_{hg_j}} = 0$ , (*Si da infinito*)
If [ phg[v_i] = phg[v_j] &&  $\sigma_{hg_i} = \sigma_{hg_j}$ , (*Si son iguales se usa el de menor temperatura*)
If [  $t_i < t_j$ , {bi,j = i, Print [{"Estado"i,j → "E"i}]}, {bi,j = j, Print [{"Estado"i,j → "E"j}]},
(*Positivo a iguales*)

(*Negativo a iguales*)
If [  $\sigma_{hg} E_{hg} (t_i - t_j) + \sigma_{hg_i} - \sigma_{hg_j} < 0$ , (*Si la ecuacion es menor a cero*)
{bi,j = i, Print [{"Estado"i,j → "E"i}]}, (*Primer caso*)
{bi,j = j, Print [{"Estado"i,j → "E"j}]}, (*Segundo y tercer caso*)
(*Negativo a dar infinito*)
If [ Abs [ Im [ sshgi,j ] ] > 0, (*Si es imaginario*)
If [  $\frac{phg[v_i]}{\sigma_{hg_i}} > \frac{phg[v_j]}{\sigma_{hg_j}}$ , {bi,j = i, Print [{"Estado"i,j → "E"i}]}, {bi,j = j, Print [{"Estado"i,j → "E"j}]},
(*se toma el de mayor g/σ*)

(*Si no es imaginario, osea es mayor a 0 *)
(*si es Positivo*)
If [ sshgi,j > a, (*Para todo vano mayor que el crítico*)
If [  $\frac{phg[v_i]}{\sigma_{hg_i}} > \frac{phg[v_j]}{\sigma_{hg_j}}$ , {bi,j = i, Print [{"Estado"i,j → "E"i}]}, {bi,j = j, Print [{"Estado"i,j → "E"j}]},
(*Positivo: el de mayor g/σ*) (*Negativo: el de menor g/σ*)
If [  $\frac{phg[v_i]}{\sigma_{hg_i}} < \frac{phg[v_j]}{\sigma_{hg_j}}$ , {bi,j = i, Print [{"Estado"i,j → "E"i}]}, {bi,j = j, Print [{"Estado"i,j → "E"j}]},
]],
{i, 1, 4}, {j, i + 1, 5} ]

```

Código 15: Función de comparación de los vanos críticos, la misma determina cual es el estado básico del hilo de guardia.

$$\text{Valoreshg} = \text{Table} \left[\text{Solve} \left[\sigma^3 - \sigma^2 \left(-\frac{a^2 phg[v_{nn}]^2 E_{hg}}{24 \sigma_{hg_{nn}}^2} - \sigma_{hg} Me (t_i - t_{nn}) + \sigma_{hg_{nn}} \right) - \frac{a^2 phg[v_i]^2 E_{hg}}{24} = 0, \sigma \right], \{i, 1, 5\} \right]$$

Código 16: Tabla de valores de las nuevas tensiones obtenidas para cada uno de los estados, "Ecuación de cambio de estado del hilo de guardia".

$$\text{Do} \left[fhg_i = \frac{a^2 phg[v_i]}{8 \sigma_{hg_i}}, \{i, 1, 5\} \right]$$

Código 17: Cálculo de la flecha en cada estado del hilo de guardia.



El Código 18 determina si se cumple la condición planteada de que la flecha del conductor por 0,9 debe ser mayor a la del hilo de guardia en cada estado, a los fines de mantener siempre la distancia de seguridad.

```
flecha = Table[{"E"i, 0.9 fi "[m]", fhgi "[m]",  
If[fhgi ≤ 0.9 fi, "Verifica", "No verifica"]}, {i, 1, 5}];
```

Código 18: Comparación entre la flecha del conductor multiplicada por 0,9 y el hilo de guarda.

```
(*Valor de la distancia minima al piso segun ETN: 160 Tabla Nº 5*)  
dm1 = 7; dm2 = 7; dm3 = 7; dm4 = 7; dm5 = 9; dm6 = 7; dm7 = 9; dm8 = 9; dm9 = 9; dm10 = 9;  
lk[i_] := Ceiling[aisladorescompleto[[i, 3]], 0.1] (*Se toman la longitud de los aisladores,  
y se la redondea hacia arriba al 0.1*)  
dist[i_] := Ceiling[k2 * √(flecha + lk[i]) +  $\frac{tt}{150}$ , 0.1] (*Distancia mínima entre conductores*)  
hm[i_] := Ceiling[dmi + flecha + lk[i], 0.1] (*Valor de la distancia minima de la primer ménsula*)  
hm2[i_] := hm[i] + dist[i] (*Valor de la distancia minima de la Segunda ménsula*)  
hm3[i_] := hm2[i] + dist[i] (*Valor de la distancia minima de la Tercera ménsula*)  
hhg[i_] := hm3[i] + dist[i] (*Valor de la distancia minima hasta el hilo de guarda*)  
hp1[i_] := Ceiling[hhg[i] +  $\frac{10}{9}$ , 0.5] (*Altura total del poste, agregando un 10% de enterrado*)
```

Código 19: Funciones de las distancias mínimas entre conductores y la distancia mínima de cada ménsula y el mensulín del hilo de guardia.

El Código 20 realiza una preselección de cada poste únicamente tomando en cuenta las distancias mínimas requeridas en cada caso.

```
Do[Do[If[hp1[j] == postes[[i, 2]], {postj = i, Break[]}], {i, 1, totpostes}], {j, 1, cp}];
```

Código 20: Funciones de preselección de los postes en función de la altura mínima.

$$\phi[i_, j_] := \text{ArcTan} \left[\frac{\omega c2[v_t] + \frac{1}{2} \omega a_t + \text{aisladorescompleto}[[j, 6]]}{P + \frac{1}{2} (P_{hg} + \text{aisladorescompleto}[[j, 2]])} \right] \frac{180}{\pi}$$

Código 21: Funciones cálculo del ángulo de inclinación de la cadena de aisladores.



$$\text{If}\left[ee = 1, \phi p[i_] := \text{ArcTan}\left[\frac{lm[i]}{hp[i] - hm3[i]}\right] \frac{180}{\pi}, \phi p[i_] := \text{ArcTan}\left[\frac{\frac{lm[i]}{2} - 0.5}{hp[i] - hm3[i]}\right] \frac{180}{\pi}\right]$$

Código 22: Funciones de cálculo de la protección del hilo de guardia.

```
cantvinc[i_] := If[np_i == 1, nv_i = 0, (*Si es un solo poste no hay vinculos*)
(*Si la altura a la primer ménsula es menor a 10, tenemos 2 vinculos *)
If[hm[i] ≤ 10, nv_i = 2,
(*Si la altura a la primer ménsula está entre 10 y 12, tenemos 2 vinculos *)
If[hm[i] > 10 && hm[i] ≤ 12, nv_i = 3,
(*Si la altura a la primer ménsula está entre 12 y 15, tenemos 4 vinculos *)
If[hm[i] > 12 && hm[i] ≤ 15, nv_i = 4,
(*Si la altura a la primer ménsula está entre 15 y 18, tenemos 5 vinculos *)
If[hm[i] > 15 && hm[i] ≤ 18, nv_i = 5,
(*Si la altura a la primer ménsula está entre 18 y 22, tenemos 6 vinculos *)
If[hm[i] > 18 && hm[i] ≤ 22, nv_i = 6
]]]]]]
```

Código 23: Cálculo de la cantidad de vínculos, determinado por la altura libre entre la mensula inferior y el piso.

```
(*Hubicación de los vinculos*)
Do[
(*Si tenemos 2 vinculos, tenemos:*)
If[nv_i = 2, {hvinc_i,1 = Floor[0.3 hm[i], 0.1], hvinc_i,2 = Floor[0.335 hm[i], 0.1]},
(*Si tenemos 3 vinculos, tenemos:*)
If[nv_i = 3, {hvinc_i,1 = Floor[0.2 hm[i], 0.1], hvinc_i,2 = Floor[0.245 hm[i], 0.1],
hvinc_i,3 = Floor[0.265 hm[i], 0.1]}, (*Si tenemos 4 vinculos, tenemos:*)
If[nv_i = 4, {hvinc_i,1 = Floor[0.17 hm[i], 0.1], hvinc_i,2 = Floor[0.185 hm[i], 0.1],
hvinc_i,3 = Floor[0.2 hm[i], 0.1], hvinc_i,4 = Floor[0.215 hm[i], 0.1]}, (*Si tenemos 5 vinculos, tenemos:*)
If[nv_i = 5, {hvinc_i,1 = Floor[0.15 hm[i], 0.1], hvinc_i,2 = Floor[0.15 hm[i], 0.1],
hvinc_i,3 = Floor[0.16 hm[i], 0.1], hvinc_i,4 = Floor[0.17 hm[i], 0.1], hvinc_i,5 = Floor[0.18 hm[i], 0.1]},
(*Si tenemos 6 vinculos, tenemos:*)
If[nv_i = 6, {hvinc_i,1 = Floor[0.113 hm[i], 0.1], hvinc_i,2 = Floor[0.123 hm[i], 0.1],
hvinc_i,3 = Floor[0.133 hm[i], 0.1], hvinc_i,4 = Floor[0.143 hm[i], 0.1], hvinc_i,5 = Floor[0.153 hm[i],
0.1], hvinc_i,6 = Floor[0.163 hm[i], 0.1]}]]]]]]
, {i, 1, cp}]
```

Código 24: Cálculo de la ubicación de cada vínculo.



```
Do[If[nvi = 0, espi,1 = 0,
  If[nvi = 2, {espi,1 = espi, espi,2 = espi},
  If[nvi = 3, {espi,1 = espi, espi,2 = espi, espi,3 = espi + 0.05},
  If[nvi = 4, {espi,1 = espi, espi,2 = espi, espi,3 = espi + 0.05,
    espi,4 = espi + 0.05},
  If[nvi = 5, {espi,1 = espi, espi,2 = espi, espi,3 = espi + 0.05,
    espi,4 = espi + 0.05, espi,5 = espi + 0.05 * 2},
  If[nvi = 6, {espi,1 = espi, espi,2 = espi, espi,3 = espi + 0.05,
    espi,4 = espi + 0.05, espi,5 = espi + 0.05 * 2, espi,6 = espi + 0.05 * 2}
]]]]], {i, 1, cp}]
```

Código 25: Cálculo del espesor de cada cruceta.

```
esfcruc[i_] := Sum[lm[i] * espi,j, {j, 1, nvi}] * We1[i]
(*Esfuerzo del viento sobre crucetas, multiplicado por el esfuerzo sobre estructuras*)
```

Código 26: Cálculo del esfuerzo del viento sobre cada cruceta.

```
Wa[i_] := (ee + 3) * aisladorescompleto[[i, 6]] * 1.372
(*Comúnmente se adopta una fuerza de 1.4 kg por cada aislador,
es equivalente a 1.372 daN*)
```

Código 27: Cálculo del esfuerzo del viento sobre aisladores y herrajes.

$$hmed[i_] := \frac{hm[i] + hm2[i] + hm3[i]}{hp[i] * 0.9}$$

Código 28: Función de la altura media, preestablecida para cada una de las estructuras.



ANEXO V CÓDIGOS DE CÁLCULOS DE HIPÓTESIS DE CARGA

Los Códigos planteados en este anexo corresponden a las hipótesis de cargas para el cálculo de estructuras planteadas en el punto 4.10 del proyecto, se utilizan para determinar la resistencia que debe soportar cada uno de los elementos calculados. Los mismos son los que establece la normativa ETN n° 160, y se han designados con sus mismos nombres.

1) Cálculo de hipótesis para postes de suspensión rural

a) Carga normal

$$W_{tot}[1] := \text{vientoc} * \text{hmed}[1] + \text{vientohg} + \frac{\text{sp}[1] * \text{np}_1 + \text{esfcruc}[1] + \text{Wa}[1]}{2}$$

Código 1: Hipótesis 1 a) carga permanente.

$$W_{tot2}[1] := \frac{\text{sp}[1] * \text{np}_1 + \text{esfcruc}[1] + \text{Wa}[1]}{2}$$

Código 2: Hipótesis 1 b) de carga permanente.

b) Carga extraordinaria

$$W_{tot3} := 0.5 * \frac{\text{hm}[1] + \text{hm2}[1]}{\text{hp}[1] * 0.9} \left(\frac{P * a}{1000} \text{ dan} * (\text{ee} * 2) + \frac{P_{hg} * a}{1000} \text{ dan} * \text{ee} \right)$$

Código 3: Hipótesis 2 a) de carga permanente.

2) Cálculo de hipótesis para postes de suspensión angular

a) Carga normal

$$W_{toth1a10}[2] := (\text{vientoc} * \text{hmed}[2] + \text{vientohg}) + \frac{\text{sp}[2] * \text{np}_2 + \text{esfcruc}[2] + \text{Wa}[2]}{2} + \sqrt{(\text{t2}[2])^2 + (\text{t2}[2])^2 - 2 \text{Cos}[10^\circ] * (\text{t2}[2])^2}$$

Código 4: Hipótesis 1 a) carga permanente.



$$W_{sx} := \frac{sp[2] * np_2 + esfcruc[2] + Wa[2]}{2}$$

$$W_{ya10}[2] := \sqrt{\left(\frac{2}{3} t2[2]\right)^2 + \left(\frac{2}{3} t2[2]\right)^2 - 2 \cos[10^\circ] * \left(\frac{2}{3} t2[2]\right)^2}$$

$$W_{totrbh} := \sqrt{W_{rxh}^2 + W_y[2]^2}$$

Código 5: Hipótesis 1 b) de carga permanente.

b) Carga extraordinaria

$$tr[2] := 0.5 \left(\frac{hm[2] + hm2[2]}{hp[2] * 0.9} \left(\frac{P * a}{1000} dan * (ee + 2) + \frac{P_{hg} * a}{1000} dan * ee \right) \right)$$

Código 6: Hipótesis 2 a) de carga permanente.

3) Cálculo de hipótesis para postes de retención rural.

a) Carga normal

$$W_{tot}[3] := vientosc + hmed[3] + vientoshg + \frac{sp[3] * np_3 + esfcruc[3] + Wa[3]}{2}$$

Código 7: Hipótesis 1 a) carga permanente.

$$W_{tot1}[3] := \frac{2}{3} (vientosc + hmed[3] + vientoshg) + \frac{sp[3] * np_3 + esfcruc[3] + Wa[3]}{2}$$

Código 8: Hipótesis 1 b) de carga permanente.

b) Carga extraordinaria

$$W_{tot4} := \frac{hm[3] + hm2[3]}{hp[3] * 0.9} \left(\frac{P * a}{1000} dan * (ee + 2) + \frac{P_{hg} * a}{1000} dan * ee \right)$$

Código 9: Hipótesis 2 a) de carga permanente.



- 4) Cálculo de hipótesis para postes de retención angular rural.
a) Carga normal

$$W_{toth1a}[4] := (\text{vientoc} * \text{hmed}[4] + \text{vientohg}) + \frac{\text{sp}[4] * \text{np}_4 + \text{esfcruc}[4] + \text{Wa}[4]}{2} + \sqrt{(\text{t2}[4])^2 + (\text{t2}[4])^2 - 2 \text{Cos}[45^\circ] * (\text{t2}[4])^2}$$

Código 10: Hipótesis 1 a) carga permanente.

$$W_{rx} := \frac{\text{sp}[4] * \text{np}_4 + \text{esfcruc}[4] + \text{Wa}[4]}{2}$$

$$W_y[4] := \sqrt{\left(\frac{2}{3} \text{t2}[4]\right)^2 + \left(\frac{2}{3} \text{t2}[4]\right)^2 - 2 \text{Cos}[45^\circ] * \left(\frac{2}{3} \text{t2}[4]\right)^2}$$

$$W_{totrb} := \sqrt{W_{rx}^2 + W_y[4]^2}$$

Código 11: Hipótesis 1 b) de carga permanente.

$$W_{rx} := \frac{\text{sp}[4] * \text{np}_4 + \text{esfcruc}[4] + \text{Wa}[4]}{2}$$

$$W_y[4] := \sqrt{\left(\frac{2}{3} \text{t2}[4]\right)^2 + \left(\frac{2}{3} \text{t2}[4]\right)^2 - 2 \text{Cos}[45^\circ] * \left(\frac{2}{3} \text{t2}[4]\right)^2}$$

$$W_{totrc} := W_{rx} + W_y[4]$$

Código 12: Hipótesis 1 c) de carga permanente.

- b) Carga extraordinaria

$$W_{totrd} := \sqrt{(\text{tr}[4])^2 + (\text{tr}[4])^2 - 2 \text{Cos}[45^\circ] * (\text{tr}[4]) * (\text{tr}[4])}$$

Código 13: Hipótesis 2 a) de carga permanente.

- 5) Cálculo de hipótesis para postes de retención cruce por ruta.
a) Carga normal

$$W_{tot}[5] := \text{vientoc} * \text{hmed}[5] + \text{vientohg} + \frac{\text{sp}[5] * \text{np}_5 + \text{esfcruc}[5] + \text{Wa}[5]}{2}$$

Código 14: Hipótesis 1 a) carga permanente.



$$W_{tot1}[5] := \frac{2}{3} (\text{vientoc} * \text{hmed}[5] + \text{vientoHg}) + \frac{\text{sp}[5] * \text{np}_5 + \text{esfcruc}[5] + \text{Wa}[5]}{2}$$

Código 15: Hipótesis 1 b) de carga permanente.

b) Carga extraordinaria

$$W_{tot4cr} := \frac{\text{hm}[5] + \text{hm2}[5]}{\text{hp}[5] * 0.9} \left(\frac{P * a}{1000} \text{dan} * (\text{ee} * 2) + \frac{P_{hg} * a}{1000} \text{dan} * \text{ee} \right)$$

Código 16: Hipótesis 2 a) de carga permanente.

6) Cálculo de hipótesis para postes terminal rural.

a) Carga normal

$$W_{toth1a}[6] := (\text{vientoc} * \text{hmed}[6] + \text{vientoHg}) + \frac{\text{sp}[6] * \text{np}_6 + \text{esfcruc}[6] + \text{Wa}[6]}{2} + \sqrt{(\text{t2}[6])^2 + (\text{t2}[6])^2 - 2 \text{Cos}[45^\circ] * (\text{t2}[6])^2}$$

Código 17: Hipótesis 1 a) carga permanente.

b) Carga extraordinaria

$$W_{tottd} := \sqrt{(\text{tr}[6])^2 + (\text{tr}[6])^2 - 2 \text{Cos}[45^\circ] * (\text{tr}[6]) * (\text{tr}[6])} + \frac{\text{hm}[6] + \text{hm2}[6]}{\text{hp}[6] * 0.9}$$

Código 18: Hipótesis 2 a) de carga permanente.

7) Cálculo de hipótesis para postes de suspensión urbano.

a) Carga normal

$$W_{tot}[7] := \text{vientoc} * \text{hmed}[7] + \text{vientoHg} + \frac{\text{sp}[7] * \text{np}_7 + \text{esfcruc}[7] + \text{Wa}[7]}{2}$$

Código 19: Hipótesis 1 a) carga permanente.

$$W_{tot2}[7] := \frac{\text{sp}[7] * \text{np}_7 + \text{esfcruc}[7] + \text{Wa}[7]}{2}$$

Código 20: Hipótesis 1 b) de carga permanente.



b) Carga extraordinaria

$$W_{tot3h} := 0.5 * \frac{hm[7] + hm2[7]}{hp[7] * 0.9} \left(\frac{P * a}{1000} \text{ dan} * (ee * 2) + \frac{P_{hg} * a}{1000} \text{ dan} * ee \right)$$

Código 21: Hipótesis 2 a) de carga permanente.

8) Cálculo de hipótesis para postes de retención urbano.

a) Carga normal

$$W_{tot[8]} := \text{vientoc} + \text{hmed}[8] + \text{vientoHg} + \frac{sp[8] + np_s + \text{esfcruc}[8] + Wa[8]}{2}$$

Código 22: Hipótesis 1 a) carga permanente.

$$W_{tot1[8]} := \frac{2}{3} (\text{vientoc} + \text{hmed}[8] + \text{vientoHg}) + \frac{sp[8] + np_s + \text{esfcruc}[8] + Wa[8]}{2}$$

Código 23: Hipótesis 1 b) de carga permanente.

b) Carga extraordinaria

$$W_{tot4h} := \frac{hm[8] + hm2[8]}{hp[8] * 0.9} \left(\frac{P * a}{1000} \text{ dan} * (ee * 2) + \frac{P_{hg} * a}{1000} \text{ dan} * ee \right)$$

Código 24: Hipótesis 2 a) de carga permanente.

9) Cálculo de hipótesis para postes de retención angular urbano.

a) Carga normal

$$W_{toth1a[9]} := (\text{vientoc} + \text{hmed}[9] + \text{vientoHg}) + \frac{sp[9] + np_s + \text{esfcruc}[9] + Wa[9]}{2} + \sqrt{(t2[9])^2 + (t2[9])^2 - 2 \text{Cos}[45^\circ] * (t2[9])^2}$$

Código 25: Hipótesis 1 a) carga permanente.



$$W_{rxh} := \frac{sp[9] * np_9 + esfcruc[9] + Wa[9]}{2}$$

$$W_y[9] := \sqrt{\left(\frac{2}{3} t2[9]\right)^2 + \left(\frac{2}{3} t2[9]\right)^2 - 2 \cos[45^\circ] * \left(\frac{2}{3} t2[9]\right)^2}$$

$$W_{totrbh} := \sqrt{W_{rxh}^2 + W_y[9]^2}$$

Código 26: Hipótesis 1 b) de carga permanente.

b) Carga extraordinaria

$$W_{rxh} := \frac{sp[9] * np_9 + esfcruc[9] + Wa[9]}{2}$$

$$W_y[9] := \sqrt{\left(\frac{2}{3} t2[9]\right)^2 + \left(\frac{2}{3} t2[9]\right)^2 - 2 \cos[45^\circ] * \left(\frac{2}{3} t2[9]\right)^2}$$

$$W_{totrch} := W_{rxh} + W_y[9]$$

Código 27: Hipótesis 2 a) de carga permanente.

10) Cálculo de hipótesis para postes terminal urbana.

a) Carga normal

$$W_{toth1a10}[10] := (vientoc * hmed[10] + vientohg) + \frac{sp[10] * np_{10} + esfcruc[10] + Wa[10]}{2} +$$

$$\sqrt{(t2[10])^2 + (t2[10])^2 - 2 \cos[10^\circ] * (t2[10])^2}$$

Código 28: Hipótesis 1 a) carga permanente.

b) Carga extraordinaria

$$W_{tottdh} := \sqrt{(tr[10])^2 + (tr[10])^2 - 2 \cos[45^\circ] * (tr[10]) * (tr[10])} * \frac{hm[10] + hm2[10]}{hp[10] * 0.9}$$

Código 29: Hipótesis 2 a) de carga permanente.



ANEXO VI CÓDIGOS DE CÁLCULOS ESPECÍFICOS

Cálculo de las dimensiones mínimas asignadas al valor de “a” y “b” de las fundaciones.

```
(*Cálculo de A y B, el valor mínimo es: Diámetro en la base
+ diámetro que aloja el poste + espesor de las paredes de hormigón *)
Do[If[npi = 1, {Ai = Round[dp[i] + 0.1 + 0.2*2, 0.05], Bi = Round[dp[i] + 0.1 + 0.2*2, 0.05]},
If[npi = 2, {Bi = Round[dp[i] + 0.1 + 0.2*2 + (0.3 + 0.04 hp[i]), 0.05], Ai = Round[dp[i] + 0.1 + 0.2*2, 0.05]},
(*Al biposte se le suma la distancia entre postes al Valor A*)
If[npi = 3, {Ai = Round[dp[i] + 0.1 + 0.2*2 + (0.3 + 0.04 hp[i]), 0.05],
Bi = Round[dp[i] + 0.1 + 0.2*2 + (0.3 + 0.04 hp[i]), 0.05]}
(*Al Triposte se le suma la distancia entre postes al Valor A y B*)
]], {i, 1, cp}]
```

Código 1: Dimensiones mínimas de los valores “a” y “b” de las fundaciones.

```
Do[Ti = hp[i] + 0.1 + 0.2, {i, 1, cp}] (*Altura de la fundación + 0,2 de espesor mínimo*)
```

Código 2: Dimension mínima del valor “t” de las fundaciones.

Los siguientes códigos realizan las funciones de cálculo de momento.

$$Mv[i_] := Fv_t \left(hp[i] + \frac{2}{3} * T_t \right)$$

Código 3: Función del momento de vuelco.

$$Ms[i_] := \left(\frac{A_t * (T_t * 100)^3}{36} * (ct[i] * 0.01) \right)$$

Código 4: Función del momento de encastramiento.

$$Mb[i_] := \frac{G[i] \left(\frac{A_t * 100}{2} - 0.47 * \frac{\sqrt{G[i]}}{B_t + c_b * 100 + 0.01} \right)}{100}$$

Código 5: Función del momento de fondo.



Los siguientes códigos realizan las funciones de cálculo de tensiones.

$$\sigma 1[i_]:= \sqrt{\frac{2 c_b * G[i] * 0.01}{A_i * \frac{100}{1}}}$$

Código 6: Función de la tensión 1.

$$\sigma 3[i_]:= \frac{ct[i] * T_i * 100 * 0.01}{3}$$

Código 7: Función de la tensión 3.

$$\sigma med[i_]:= \frac{G[i]}{A_i * B_i * 100^2}$$

Código 8: Función de la tensión media.

$$\alpha 1[i_]:= \frac{6 \mu (Gp[i] + Gf[i])}{B_i * T_i^2 * (ct[T_i] * 100^3)}$$

Código 9: Ángulo alfa “ α ” transversal a la línea.

$$\alpha 2[i_]:= \frac{2 Gp[i]}{A_i^2 B_i (c_b * 100^3)}$$

Código 10: Ángulo alfa “ α ” longitudinal a la línea.



ANEXO VII CÓDIGOS DE DIMENSIONAMIENTO FINAL

Selección de postes en función de las hipótesis planteadas

```
Do[If[Wtot[1]*3 < postes[[post1, 8]]*cs1 && Wtot2[1]*3 < postes[[post1, 8]]*cs1 &&  
Wtot3*2 < postes[[post1, 8]]*cs2 && φp[1] < 30 && dmint1[1] > dt1 && dmint2[1] > dt2,  
Break[], {post1++, hp[1]}, {i, post1, totpostes}]
```

Código 1: Cálculo de poste de suspensión rural.

```
Do[If[Wtoth1a10[2]*3 < postes[[post2, 8]]*cs1 && Wtotsb*3 < postes[[post2, 8]]*cs1 &&  
Wtotsd*2 < postes[[post2, 8]]*cs2 && φp[2] < 30 && dmint1[2] > dt1 && dmint2[2] > dt2,  
Break[], {post2++, hp[2]}, {i, post2, totpostes}]
```

Código 2: Cálculo de poste de suspensión angular.

```
Do[If[Wtot[3]*3 < postes[[post3, 8]]*cs1 && Wtot1[3]*3 < postes[[post3, 8]]*cs1 &&  
Wtot4*2 < postes[[post3, 8]]*cs2 && φp[3] < 30 && dmint1[3] > dt1 && dmint2[3] > dt2,  
Break[], {post3++, hp[3]}, {i, post3, totpostes}]
```

Código 3: Cálculo de poste de retención simple.

```
Do[If[Wtoth1a[4]*3 < postes[[post4, 8]]*cs1 && Wtotrb*3 < postes[[post4, 8]]*cs1 &&  
Wtotrc*3 < postes[[post4, 8]]*cs1 && Wtotrd*2 < postes[[post4, 8]]*cs2 &&  
φp[4] < 30 && dmint1[4] > dt1 && dmint2[4] > dt2, Break[], {post4++, hp[4]}, {i, post4, totpostes}]
```

Código 4: Cálculo de poste de retención angular rural.

```
Do[If[Wtot[5]*3 < postes[[post5, 8]]*cs1 && Wtot1[5]*3 < postes[[post5, 8]]*cs1 &&  
Wtot4cr*2 < postes[[post5, 8]]*cs2 && φp[5] < 30 && dmint1[5] > dt1 && dmint2[5] > dt2,  
Break[], {post5++, hp[5]}, {i, post5, totpostes}]
```

Código 5: Cálculo de poste de cruce de ruta.

```
Do[If[Wtoth1a[6]*3 < postes[[post6, 8]]*cs1 && Wtottd*2 < postes[[post6, 8]]*cs2 &&  
dmint1[6] > dt1 && dmint2[6] > dt2, Break[], {post6++, hp[6]}, {i, post6, totpostes}]
```

Código 6: Cálculo de poste terminal rural.



```
Do[If[Wtot[7]*3 < postes[[post7, 8]]*cs1 && Wtot2[7]*3 < postes[[post1, 8]]*cs1 &&
Wtot3h*2 < postes[[post7, 8]]*cs2 && φp[7] < 30 && dmint1[7] > dt1 && dmint2[7] > dt2,
Break[], {post7++, hp[7]}], {i, post7, totpostes}]
```

Código 7: Cálculo de poste de suspensión urbana.

```
Do[If[Wtot[8]*3 < postes[[post8, 8]]*cs1 && Wtot1[8]*3 < postes[[post8, 8]]*cs1 &&
Wtot4h*2 < postes[[post8, 8]]*cs2 && φp[8] < 30 && dmint1[8] > dt1 && dmint2[8] > dt2,
Break[], {post8++, hp[8]}], {i, post8, totpostes}]
```

Código 8: Cálculo de poste de retención simple urbana.

```
Do[If[Wtoth1a[9]*3 < postes[[post9, 8]]*cs1 && Wtotrbh*3 < postes[[post9, 8]]*cs1 &&
Wtotrch*3 < postes[[post9, 8]]*cs1 && Wtotrdh*2 < postes[[post9, 8]]*cs2 &&
φp[9] < 30 && dmint1[9] > dt1 && dmint2[9] > dt2, Break[], {post9++, hp[9]}], {i, post9, totpostes}]
```

Código 9: Cálculo de poste de retención angular urbana.

```
Do[If[Wtoth1a[10]*3 < postes[[post10, 8]]*cs1 && Wtottdh*2 < postes[[post10, 8]]*cs2 &&
dmint1[10] > dt1 && dmint2[10] > dt2, Break[], {post10++, hp[10]}], {i, post10, totpostes}]
```

Código 10: Cálculo de poste terminal urbana.

El Código 11 realiza el cálculo de las dimensiones finales de las fundaciones, explicados en el proceso 8.8 “Dimencionamiento de las fundaciones” del proyecto.

```
Do[AAAi = 10; BBBi = 10; TTTi = 10; , {i, 1, cp}]
Table[di = 1, {i, 1, cp}];

Do[{Ao = i, Bo = j, To = 1,
If[Ao*Bo*To < AAAo*BBBo*TTTo,
If[ $\frac{Ms[o] + Mb[o]}{Mv[o]} > s[Rel[o]]$  && σmed[o] < σadm && σ12[o] ≤ 1.25 σadm && σ31[o] ≤ 1.25 σadm && α1[o] < 0.01 && α2[o] < 0.01,
{Ao,do = i, Bo,do = j, To,do = 1, AAAo = i, BBBo = j, TTTo = 1, do++}]]],
{o, 1, cp}, {1, TTo, lmaxo, inc}, {j, BBo, BBo*2.5, inc}, {i, AAo, AAo*2.5, inc}]
```

Código 11: Cálculos de las dimensiones finales de las fundaciones.



El Código 12 realiza el cálculo de la distancia correspondiente a la franja de Seguridad, explicado en el punto 6 del proyecto “Franja de seguridad”

```
Dhoriz = Max[Table[lm[i], {i, 1, 5}]];
fmax = Max[Table[f_i, {i, 1, 5}]];
phi_max = Max[Table[phi[i, j], {i, 1, 5}, {j, 1, cp}]];
Lkmax = Max[Table[lk[i], {i, 1, cp}]];
d_r = 3; d_h = 3.2; d2 = 5;
A_r = Dhoriz + 2 * (Lkmax + Max[Table[f_i, {i, 1, 5}]]) * Sin[phi_max Degree] + 2 * d_r
A_h = Dhoriz + 2 * (Lkmax + Max[Table[f_i, {i, 1, 5}]]) * Sin[phi_max Degree] + 2 * d_h + 2 d2
```

Código 12: Cálculos de las distancias de las franjas de seguridad.



ANEXO VIII EJEMPLO DE USO DEL PROGRAMA

A los fines de corroborar el funcionamiento del programa elaborado se presenta un caso particular. Se considerará el suministro de la energía desde la Estación Transformadora Romang 500/132/33kV hasta la localidad de Reconquista (ET Chapero), con las siguientes características:

- Distancia total: 48,5km.
- Potencia a transmitir: 150MVA
- Tensión nominal: 132kV
- Vida útil estimada: 20 años
- Taza de crecimiento: 3% anual
- Sistema: doble terna con disposición coplanar vertical con hilo de guardia (OPGW)
- Tipo de conductor: Al/Ac.
- Tipo de aislación: porcelana suspendida.

El ingreso de estos valores en el programa se realiza de la manera indicada en el inciso 2.1 “Datos para el cálculo eléctrico”, y se obtienen las características del conductor. En la Figura 35 se muestra la captura de pantalla.

Conductor	Al/Ac	
Sección	435/55	[mm ²]
Pérdidas	16 564.2	[kW]
Rendimiento	90.2051	%
Regulación	21.8069	%

Figura 35: Resultados eléctricos del ejemplo planteado.

Se realiza la selección del un hilo de guardia con OPGW con las características que muestra la Figura 36:

nº	Hilo de Guarda	Sec	D	P	Modulo de E. [daN/mm ²]	Coef de Dilat.	Modulo de E. [kg/mm ²]
8.	OPGW - AL AR + TRP	114.9	15.6	562.	9706.62	0.0000163	9898.

Figura 36: Selección del hilo de guardia.

Con los datos del conductor y el hilo de guardia utilizado, se realizan los cálculos mecánicos, obteniendo los siguientes resultados:

Tensión crítica y admisible del conductor, se observa en la Figura 37.



Estado	Tension Admisible	Tension Critica	$\sigma_{Adm} \geq \sigma_{Crit}$	Flecha
E ₁	11 [daN/mm ²]	4.80933 [daN/mm ²]	Verifica	2.15702 [m]
E ₂	10.02 [daN/mm ²]	7.61924 [daN/mm ²]	Verifica	2.36799 [m]
E ₃	10.81 [daN/mm ²]	8.3999 [daN/mm ²]	Verifica	3.65747 [m]
E ₄	10.18 [daN/mm ²]	7.25649 [daN/mm ²]	Verifica	2.33456 [m]
E ₅	5.98 [daN/mm ²]	5.98 [daN/mm ²]	Verifica	3.96777 [m]

Figura 37: Tensión y flecha del conductor

Tensión crítica y admisible del hilo de guardia, lo mismo se observa en la Figura 38.

Estado	Tensión Admisible	Tensión Critica	$\sigma_{Adm} > \sigma_{Crit}$	Flecha
E ₁	28 [daN/mm ²]	13.3012 [daN/mm ²]	Verifica	1.23991 [m]
E ₂	28 [daN/mm ²]	18.6993 [daN/mm ²]	Verifica	1.23991 [m]
E ₃	28 [daN/mm ²]	21.4698 [daN/mm ²]	Verifica	3.12965 [m]
E ₄	28 [daN/mm ²]	18.1775 [daN/mm ²]	Verifica	1.24599 [m]
E ₅	16 [daN/mm ²]	16. [daN/mm ²]	Verifica	2.16984 [m]

Figura 38: Tensión y flecha del hilo de guardia.

Se obtiene la flecha del conductor y del hilo de guardia. Se debe verificar que la flecha producida en el hilo de guardia tiene que ser menor al 90 porciento de la flecha en el conductor, lo mismo se observa en la Figura 39.

E	Flecha Conductor	$0.9 * \text{Flecha Conductor}$	Flecha Cable de Guardia	$f_{H. \text{ guardia}} \leq 0.9 * f_{\text{cond.}}$
E ₁	2.15702 [m]	1.94132 [m]	1.23991 [m]	Verifica
E ₂	2.36799 [m]	2.13119 [m]	1.23991 [m]	Verifica
E ₃	3.65747 [m]	3.29172 [m]	3.12965 [m]	Verifica
E ₄	2.33456 [m]	2.10111 [m]	1.24599 [m]	Verifica
E ₅	3.96777 [m]	3.57099 [m]	2.16984 [m]	Verifica

Figura 39: Verificación de las flechas.

Llegado a éste punto, el usuario debe seleccionar la cantidad de postes para cada tipo de estructura, en el ejemplo presentado se considera lo que se muestra en la figura 40.

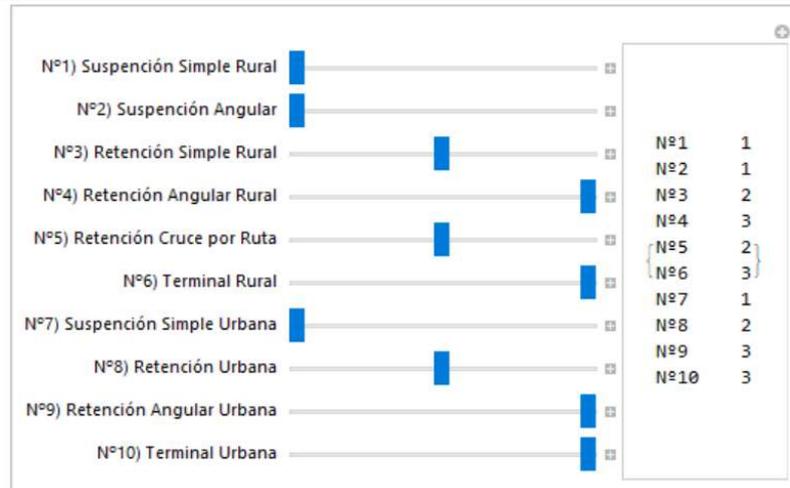


Figura 40: Cantidad de postes por cada tipo de estructura.

Con los datos planteados anteriormente se obtienen las características de los postes utilizados para cada tipo de estructura como se observa en la Figura 41.

Postes	Altura del poste [m]	Peso en [kg]	Diam. Cima [cm]	Diam. Base [cm]	Carga de Rotura [kg]
Suspensión Rural	24.5	11155.	44.	80.75	6850.
Suspensión Angular	27.5	13480.2	44.	85.25	8850.
Retención Rural	25.5	11435.	44.	82.25	4200.
Retención Angular Rural	28.	13332.5	44.	86.	4350.
Cruce de Ruta	27.5	13078.	44.	85.25	4800.
Terminal Rural	28.	13332.5	44.	86.	4350.
Susp. Urbana	27.	12963.9	44.	84.5	6450.
Ret. Urbana	27.5	13078.	44.	85.25	4800.
Ret. Angular Urbana	30.	14901.3	44.	89.	5000.
Terminal Urbana	30.	14901.3	44.	89.	5000.

Figura 41: Características de los postes.

Para el estudio de fundaciones, se deben ingresar los valores siguientes: ángulo de la tierra gravante, peso específico del hormigón y peso específico de la tierra, como muestra la figura 42.

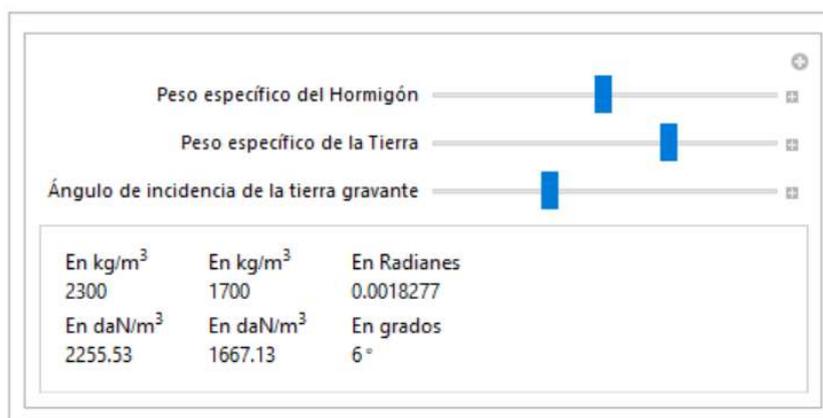


Figura 42: ingreso de datos para el ejemplo planteado: peso específico del homigón, peso específico de la tierra y ángulo de incidencia de la tierra gravante.



Luego se seleccionan las características del suelo: coeficiente de compresibilidad de fondo, la tensión admisible del suelo y el coeficiente de rozamiento entre el hormigón y la tierra. Lo mismo se puede apreciar en la figura 43.

Coeficiente de Compresibilidad C_b en $[\text{kg}/\text{cm}^3]$	3.2
Tensión admisible del suelo en $[\text{kg}/\text{cm}^3]$	6
Coeficiente de rozamiento	0.5

Figura 43: Ingreso de datos: coeficiente de compresibilidad de fondo, tensión admisible del terreno y el coeficiente de rozamiento.

Por último, se introducen los datos para obtener el coeficiente de compresibilidad laterar, como fue explicado en el punto 7 “Datos para el cálculo de fundaciones”.

Altura 1 en [m]	0.5
C_{t1} en $[\text{daN}/\text{cm}^3]$	1.5
Altura 2 en [m]	2
C_{t2} en $[\text{daN}/\text{cm}^3]$	2.7

Figura 44: Ingreso del dato del coeficiente de compresibilidad lateral.

Con estos datos se obtienen las dimensiones de las fundaciones de cada tipo de estructura, como se muestra en la Figura 45.



Postes	A (m)	B (m)	T (m)	Volumen (m ³)
Suspensión Rural	1.8	1.3	2.65	6.201
Suspensión Angular	1.85	1.35	3.45	8.61638
Retención Rural	1.3	2.65	3.25	11.1963
Retención Angular Rural	2.8	2.8	3.	23.52
Cruce de Ruta	1.35	2.75	2.95	10.9519
Terminal Rural	2.8	2.8	3.	23.52
Susp. Urbana	1.35	1.35	2.9	5.28525
Ret. Urbana	1.35	2.75	2.95	10.9519
Ret. Angular Urbana	2.9	2.9	3.2	26.912
Terminal Urbana	2.9	2.9	3.2	26.912

Figura 45: Dimensiones de las fundaciones.

En esta instancia se verifican las hipótesis de carga de cada tipo de estructura, y se obtienen las características de las fundaciones. De la figura 46 a la 65 se muestran los resultados.

Estructura de suspensión rural

Hipótesis de carga:

Hipótesis	Tens. Sometida	Tens. Adm.	Coefficiente de seg	Verif. Coeficiente
1 a)	4812.52	6717.56	4.18755	Verifica
1 b)	542.057	6717.56	37.1781	Verifica
2 a)	2367.93	6717.56	5.67379	Verifica

Figura 46: Hipótesis de carga de la estructura de suspensión rural.

Características de la Fundación:

Datos	Suspensión Rural	Unidad
Longitud Lateral - A	1.3	m
Longitud Transversal - B	1.3	m
Altura - T	3.65	m
Volumen Bruto de Hormigón	6.1685	m ³
Volumen Neto de Hormigón	5.75534	m ³
Peso Total	51839.9	daN
Momento de Vuelco	42993.5	daN*cm
Momento Lateral	33363.6	daN*cm
Momento de fondo	20360.7	daN*cm
Ms/Mb	1.63863	
C.S. necesario	1	
C.S. actuante	1.24959	

Figura 47: Características de la fundación de una estructura de suspensión rural



Estructura de suspensión angular

Hipótesis de carga:

Hipótesis	Tens. Sometida	Tens. Adm.	Coefficiente de seg	Verif. Coeficiente
1 a)	2671.93	8678.89	3.24817	Verifica
1 b)	703.722	8678.89	12.3328	Verifica
2 a)	853.269	8678.89	10.1713	Verifica

Figura 48: Hipótesis de carga de la estructura de suspensión angular.

Características de la Fundación:

Datos	Suspensión Angular	Unidad
Longitud Lateral - A	1.35	m
Longitud Transversal - B	1.35	m
Altura - T	3.95	m
Volumen Bruto de Hormigón	7.19888	m ³
Volumen Neto de Hormigón	6.71274	m ³
Peso Total	57960.2	daN
Momento de Vuelco	80873.6	daN*cm
Momento Lateral	62400.2	daN*cm
Momento de fondo	23941.8	daN*cm
Ms/Mb	2.60633	
C.S. necesario	1	
C.S. actuante	1.06762	

Figura 49: Características de la fundación de una estructura de suspensión angular.

Estructura de retención simple rural

Hipótesis de carga:

Hipótesis	Tens. Sometida	Tens. Adm.	Coefficiente de seg	Verif. Coeficiente
1 a)	2119.42	32950.3	15.5469	Verifica
1 b)	1648.27	32950.3	19.9909	Verifica
2 a)	2346.16	8237.59	3.51109	Verifica

Figura 50: Hipótesis de carga de la estructura de retención simple rural.



Características de la Fundación:

Datos	Retención Simple Rural	Unidad
Longitud Lateral - A	1.3	m
Longitud Transversal - B	2.65	m
Altura - T	3.25	m
Volumen Bruto de Hormigón	11.1963	m ³
Volumen Neto de Hormigón	10.323	m ³
Peso Total	101950.	daN
Momento de Vuelco	66775.5	daN*cm
Momento Lateral	43386.9	daN*cm
Momento de fondo	48225.6	daN*cm
Ms/Mb	0.899666	
C.S. necesario	1.02032	
C.S. actuante	1.37195	

Figura 51: Características de la fundación de una estructura de retención simple rural.

Estructura de retención angular rural

Hipótesis de carga:

Hipótesis	Tens. Sometida	Tens. Adm.	Coefficiente de seg	Verif. Coeficiente
1 a)	7333.7	38393.	5.23515	Verifica
1 b)	3285.37	38393.	11.6861	Verifica
1 c)	4464.55	38393.	8.59952	Verifica
2 a)	897.837	38393.	42.7617	Verifica

Figura 52: Hipótesis de carga de la estructura de retención angular rural.

Características de la Fundación:

Datos	Retención Angular Rural	Unidad
Longitud Lateral - A	2.8	m
Longitud Transversal - B	2.8	m
Altura - T	3.	m
Volumen Bruto de Hormigón	23.52	m ³
Volumen Neto de Hormigón	22.0228	m ³
Peso Total	146575.	daN
Momento de Vuelco	222380.	daN*cm
Momento Lateral	90300.	daN*cm
Momento de fondo	175769.	daN*cm
Ms/Mb	0.513743	
C.S. necesario	1.15306	
C.S. actuante	1.19646	

Figura 53: Características de la fundación de una estructura de retención angular rural.



Estructura de Cruce de ruta

Hipótesis de carga:

Hipótesis	Tens. Sometida	Tens. Adm.	Coefficiente de seg	Verif. Coeficiente
1 a)	2316.99	37 657.5	16.2528	Verifica
1 b)	1830.96	37 657.5	20.5671	Verifica
2 a)	2468.53	9414.38	3.81376	Verifica

Figura 54: Hipótesis de carga de la estructura cruce de ruta.

Características de la Fundación:

Datos	Cruce de Ruta	Unidad
Longitud Lateral - A	1.35	m
Longitud Transversal - B	2.75	m
Altura - T	2.95	m
Volumen Bruto de Hormigón	10.9519	m ³
Volumen Neto de Hormigón	9.97961	m ³
Peso Total	110 003.	daN
Momento de Vuelco	74 829.4	daN×cm
Momento Lateral	49 098.4	daN×cm
Momento de fondo	54 766.	daN×cm
Ms/Mb	0.896513	
C.S. necesario	1.0211	
C.S. actuante	1.38802	

Figura 55: Características de la fundación de una estructura cruce de ruta.

Estructura de Terminal rural

Hipótesis de carga:

Hipótesis	Tens. Sometida	Tens. Adm.	Coefficiente de seg	Verif. Coeficiente
1 a)	7333.7	38 393.	5.23515	Verifica
2 a)	1211.47	38 393.	31.6914	Verifica

Figura 56: Hipótesis de carga de la estructura terminal rural.



Características de la Fundación:

Datos	Terminal Rural	Unidad
Longitud Lateral - A	2.8	m
Longitud Transversal - B	2.8	m
Altura - T	3.	m
Volumen Bruto de Hormigón	23.52	m ³
Volumen Neto de Hormigón	22.0228	m ³
Peso Total	146575.	daN
Momento de Vuelco	222380.	daN*cm
Momento Lateral	123900.	daN*cm
Momento de fondo	175769.	daN*cm
Ms/Mb	0.704904	
C.S. necesario	1.08063	
C.S. actuante	1.34755	

Figura 57: Características de la fundación de una estructura terminal rural.

Estructura de suspensión urbana

Hipótesis de carga:

Hipótesis	Tens. Sometida	Tens. Adm.	Coefficiente de seg	Verif. Coeficiente
1 a)	1659.03	6325.29	3.81264	Verifica
1 b)	211.496	6325.29	29.9074	Verifica
2 a)	1223.55	6325.29	5.16962	Verifica

Figura 58: Hipótesis de carga de la estructura suspensión urbana

Características de la Fundación:

Datos	Suspensión Urbana	Unidad
Longitud Lateral - A	1.35	m
Longitud Transversal - B	1.35	m
Altura - T	2.9	m
Volumen Bruto de Hormigón	5.28525	m ³
Volumen Neto de Hormigón	4.81183	m ³
Peso Total	48799.8	daN
Momento de Vuelco	47773.3	daN*cm
Momento Lateral	61277.4	daN*cm
Momento de fondo	21211.4	daN*cm
Ms/Mb	2.88889	
C.S. necesario	1	
C.S. actuante	1.72667	

Figura 59: Características de la fundación de una estructura suspensión urbana.



Estructura de retención simple urbana

Hipótesis de carga:

Hipótesis	Tens. Sometida	Tens. Adm.	Coefficiente de seg	Verif. Coeficiente
1 a)	1659.03	6325.29	3.81264	Verifica
1 b)	211.496	6325.29	29.9074	Verifica
2 a)	1223.55	6325.29	5.16962	Verifica

Figura 60: Hipótesis de carga de la estructura de retención simple urbana

Características de la Fundación:

Datos	Retención Simple Urbana	Unidad
Longitud Lateral - A	1.35	m
Longitud Transversal - B	2.75	m
Altura - T	2.95	m
Volumen Bruto de Hormigón	10.9519	m ³
Volumen Neto de Hormigón	9.97961	m ³
Peso Total	110003.	daN
Momento de Vuelco	74829.4	daN*cm
Momento Lateral	72203.6	daN*cm
Momento de fondo	54766.	daN*cm
Ms/Mb	1.3184	
C.S. necesario	1	
C.S. actuante	1.69679	

Figura 61: Características de la fundación de una estructura de retención simple urbana.

Estructura de retención angular urbana

Hipótesis de carga:

Hipótesis	Tens. Sometida	Tens. Adm.	Coefficiente de seg	Verif. Coeficiente
1 a)	7845.56	44129.9	5.62483	Verifica
1 b)	3536.48	44129.9	12.4785	Verifica
1 c)	4885.89	44129.9	9.03211	Verifica
2 a)	958.449	44129.9	46.0431	Verifica

Figura 62: Hipótesis de carga de la estructura de retención angular urbana.



Características de la Fundación:

Datos	Retención Angular Urbana	Unidad
Longitud Lateral - A	2.9	m
Longitud Transversal - B	2.9	m
Altura - T	3.2	m
Volumen Bruto de Hormigón	26.912	m ³
Volumen Neto de Hormigón	25.2526	m ³
Peso Total	167059.	daN
Momento de Vuelco	254740.	daN×cm
Momento Lateral	219090.	daN×cm
Momento de fondo	207653.	daN×cm
Ms/Mb	1.05508	
C.S. necesario	1	
C.S. actuante	1.67521	

Figura 63: Características de la fundación de una estructura de retención angular urbana.

Estructura de terminal urbana

Hipótesis de carga:

Hipótesis	Tens. Sometida	Tens. Adm.	Coefficiente de seg	Verif. Coeficiente
1 a)	7845.56	44129.9	5.62483	Verifica
2 a)	1324.08	44129.9	33.3288	Verifica

Figura 64: Hipótesis de carga de la estructura terminal urbana.

Características de la Fundación:

Datos	Terminal Urbana	Unidad
Longitud Lateral - A	2.9	m
Longitud Transversal - B	2.9	m
Altura - T	3.2	m
Volumen Bruto de Hormigón	26.912	m ³
Volumen Neto de Hormigón	25.2526	m ³
Peso Total	167059.	daN
Momento de Vuelco	254740.	daN×cm
Momento Lateral	240208.	daN×cm
Momento de fondo	207653.	daN×cm
Ms/Mb	1.15677	
C.S. necesario	1	
C.S. actuante	1.75811	

Figura 65: Características de la fundación de una estructura terminal urbana.



Para finalizar se realiza el cálculo de la franja de seguridad, la cual se la determina para la parte rural y para la urbana, obteniendo los resultados que se muestran en la Figura 66.

Franja de Seguridad

Rural	31.2307	metros
Urbana	35.6307	metros

Figura 66: Franja de seguridad.



ANEXO IX

PLANOS PARA EL EJEMPLO DE USO DEL PROGRAMA