



## CONCLUSIONES.

Para el desarrollo de esta tesis se presentó por primera vez de manera formal la topología de la Nueva Red de Distribución Subterránea de 23 [kV] de la Ciudad Universitaria, describiendo el equipo eléctrico que la conformará. De las características sobresalientes, es la selección de equipo eléctrico de última generación y en algunos casos, único; por ejemplo:

- El diseño de un transformador de distribución con las características de un transformador tipo interior, pero con la facilidad de operación de un transformador tipo pedestal, que hasta el momento ningún fabricante ha desarrollado.
- En los seccionadores, la implementación de tecnologías de supresión de arco eléctrico con botellas de vacío o interrupción electrónica, las cuales permiten despejar con mayor seguridad y rapidez corrientes de falla o de sobrecarga. Así mismo, es uso de SF<sub>6</sub> como medio aislante el cual reduce las distancias dieléctricas, teniendo como resultado un equipo mas compacto.
- Para la selección del cable de energía se tiene un diseño de última generación ya que está formado por secciones que impiden el paso de la humedad, además de que al tener un nivel de aislamiento del 133% por lo que se tiene una protección extra para el libramiento de fallas.

Es importante mencionar que el transformador puede tener como medio aislante aceite biodegradable, lo cual muestra preocupación por la implementación de materiales con bajo impacto al medio ambiente.



Cabe destacar que para la primera etapa de la puesta en marcha del proyecto, la operación de la red será manual; sin embargo, para la segunda etapa se pretende que la red este totalmente automatizada para lo cual los equipos ya tendrán la preparación para esta etapa y finalmente en la tercer etapa la red estará telecontrolada, es decir, el monitoreo y operación de la red se llevara a cabo en un cuarto de control en donde se tendrán los parámetros del sistema en tiempo real. Estas características colocarán a la red dentro de las primeras de América Latina, siendo modelo para futuras redes eléctricas.

El método de cálculo de impedancias de secuencia de los cables utilizado fue el de las ecuaciones de Carson, las cuales ofrecen una solución sencilla pero muy laboriosa ya que, en nuestro caso, implicó el cálculo de Distancias Medias Geométricas (DMG) y Radios Medios Geométricos (RMG) equivalentes de las cuatro configuraciones de instalación del cable que estarán presentes. En este punto, es preciso aclarar que si se realiza alguna modificación en el diseño de estas configuraciones se tendrán que hacer las modificaciones pertinentes.

En el análisis del corto circuito utilizamos el método de la matriz de admitancias, ya que simplifica los cálculos cuando se tiene un sistema con demasiados puntos en donde se desea obtener los niveles de corto circuito. Los resultados mostraron niveles de corriente de corto simétrica máximos de 4000 [A] y mínimos de 3000 [A] en el lado de distribución en media tensión de 23 [kV], mientras que en lado de distribución en baja tensión de 220 ó 440 [V], se tienen niveles de corriente de falla trifásica en un rango de 6000 [A] hasta 35000 [A], dependiendo de la capacidad de la subestación derivada y de la cercanía con las Subestaciones Generales a la cual pertenece su anillo de alimentación. En este sentido, se pudo observar que los mayores niveles de corto circuito se tuvieron en las subestaciones derivadas que están mas cerca de la Subestación General 2 la cual es la fuente de mayor contribución de corriente de corto circuito debido a su



cercanía con la subestación de distribución “Odón de Buen” perteneciente a la CFE.

Los resultados fueron verificados por medio de la simulación del corto circuito en EDSA, teniendo un margen de error menor al 1%, con la certeza de que los niveles de corto calculados por el método de de la matriz de admitancias son correctos. En las tablas siguientes se muestran los resultados obtenidos para el Anillo B:



Bus	Corrientes de Corto Circuito [A]											
	Trifasica			Bifasica			Monofasica			Bifasica a Tierra		
	$Z_{BUS}$	EDSA	Error [%]	$Z_{BUS}$	EDSA	Error [%]	$Z_{BUS}$	EDSA	Error [%]	$Z_{BUS}$	EDSA	Error [%]
SG1-BUS	3694.99	3692.91	0.06	3199.96	3198.39	0.05	2412.04	2410.20	0.08	3326.97	3325.17	0.05
SG1-BUS	3613.56	3605.34	0.23	3129.43	3122.53	0.22	2358.21	2351.31	0.29	3275.30	3263.76	0.35
SG1-BUS	3587.48	3576.17	0.32	3106.85	3097.27	0.31	2340.50	2331.14	0.40	3257.01	3242.72	0.44
SG1-BUS	24113.04	24124.10	0.05	20882.50	20892.10	0.05	24625.38	24636.30	0.04	24373.11	24417.40	0.18
SG1-BUS	12608.11	12601.10	0.06	10918.94	10912.90	0.06	12749.78	12742.40	0.06	12674.16	12685.10	0.09

Corrientes de corto circuito para el Escenario 1 del Anillo B.



Bus	Corrientes de Corto Circuito [A]											
	Trifasica			Bifasica			Monofasica			Bifasica a Tierra		
	$Z_{BUS}$	EDSA	Error [%]	$Z_{BUS}$	EDSA	Error [%]	$Z_{BUS}$	EDSA	Error [%]	$Z_{BUS}$	EDSA	Error [%]
SG2-BUS	4410.02	4408.68	0.03	3819.19	3818.03	0.03	2964.75	2963.68	0.04	3981.96	3980.67	0.03
SG2-BUS	4375.47	4371.32	0.09	3789.26	3785.68	0.09	2932.49	2937.61	0.17	3958.55	3956.05	0.06
SG2-BUS	4315.20	4306.42	0.20	3737.07	3729.46	0.20	2890.67	2891.18	0.02	3919.42	3912.14	0.19
SG2-BUS	4280.88	4268.26	0.30	3707.35	3696.42	0.30	2866.48	2863.28	0.11	3896.28	3885.66	0.27
SG2-BUS	18755.86	18757.60	0.01	16243.04	16244.60	0.01	19013.68	19015.20	0.01	18886.61	18901.80	0.08
SG2-BUS	12681.36	12674.20	0.06	10982.38	10976.10	0.06	12799.62	12792.10	0.06	12739.43	12741.10	0.01
SG2-BUS	14921.06	14927.50	0.04	12922.02	12927.60	0.04	15087.28	15093.60	0.04	14999.66	15025.20	0.17
SG2-BUS	18733.98	18735.40	0.01	16224.10	16225.40	0.01	18998.70	19000.00	0.01	18857.05	18894.50	0.20

Corrientes de corto circuito para el Escenario 2 del Anillo B.



Bus	Corrientes de Corto Circuito [A]											
	Trifásica			Bifásica			Monofásica			Bifásica a Tierra		
	$Z_{bus}$	EDSA	Error [%]	$Z_{bus}$	EDSA	Error [%]	$Z_{bus}$	EDSA	Error [%]	$Z_{bus}$	EDSA	Error [%]
SG1-BUS	3695.00	3692.92	0.06	3199.96	3198.39	0.05	2411.89	2410.20	0.07	3326.90	3325.17	0.05
SG1-BUS	3613.56	3605.34	0.23	3129.43	3122.54	0.22	2358.00	2351.31	0.28	3275.14	3263.76	0.35
SG1-BUS	24113.04	24124.10	0.05	20882.50	20892.10	0.05	24625.46	24636.30	0.04	24373.22	24417.40	0.18
SG1-BUS	12608.1	12601.10	0.06	10918.94	10912.90	0.06	12749.78	12742.40	0.06	12749.78	12685.10	0.51
SG2-BUS	3495.12	3476.82	0.53	3026.86	3011.21	0.52	2270.05	2260.71	0.41	3188.81	3169.22	0.62
SG2-BUS	3520.22	3503.24	0.48	3048.60	3034.10	0.48	2293.17	2279.68	0.59	3208.52	3189.06	0.61
SG2-BUS	3563.60	3549.16	0.41	3086.17	3073.87	0.40	2323.66	2312.24	0.49	3239.95	3223.03	0.52
SG2-BUS	3587.51	3576.17	0.32	3106.88	3097.27	0.31	2340.31	2331.14	0.39	3256.98	3242.72	0.44
SG2-BUS	18562.58	18563.80	0.01	16075.66	16076.80	0.01	18880.88	18882.10	0.01	18698.96	18768.10	0.37
SG2-BUS	12598.08	12590.80	0.06	10910.26	10904.00	0.06	12742.95	12735.40	0.06	12660.64	12681.70	0.17
SG2-BUS	14818.75	14824.80	0.04	12833.39	12838.70	0.04	15017.36	15023.50	0.04	14908.04	14947.00	0.26
SG2-BUS	18584.17	18585.70	0.01	16094.35	16095.80	0.01	18895.72	18897.20	0.01	18728.07	18775.40	0.25

Corrientes de corto circuito para el Escenario 3 del Anillo B.



Bus	Corrientes de Corto Circuito [A]											
	Trifasica			Bifasica			Monofasica			Bifasica a Tierra		
	$I_{bus}$	EDSA	Error [%]	$I_{bus}$	EDSA	Error [%]	$I_{bus}$	EDSA	Error [%]	$I_{bus}$	EDSA	Error [%]
SG2-BU1	4410.0	4408.6	0.03	3819.1	3818.0	0.03	2964.7	2963.6	0.04	3982.0	3980.6	0.03
SG2-BU2	4375.4	4371.3	0.09	3789.2	3785.6	0.09	2932.6	2937.6	0.17	3958.7	3956.0	0.07
SG2-BU3	4315.2	4306.4	0.20	3737.1	3729.4	0.20	2890.8	2891.1	0.01	3919.5	3912.1	0.19
SG2-BU4	4281.6	4268.2	0.31	3708.0	3696.4	0.31	2866.7	2863.2	0.12	3897.0	3885.6	0.29
SG2-BU5	18733.9	18757.6	0.13	16224.1	16244.6	0.13	18998.7	19015.2	0.09	18886.6	18901.8	0.08
SG2-BU6	12671.3	12674.2	0.02	10973.6	10976.1	0.02	12792.7	12792.1	0.01	12739.4	12741.1	0.01
SG2-BU7	14921.0	14927.8	0.04	12922.0	12927.6	0.04	15087.2	15093.6	0.04	14999.6	15025.2	0.17
SG2-BU8	18733.9	18735.4	0.01	16224.1	16225.4	0.01	18998.7	19000.0	0.01	18857.0	18894.5	0.20
SG1-BU1	4127.8	4103.8	0.58	3574.8	3554.0	0.58	2751.3	2739.1	0.45	3792.9	3766.2	0.71
SG1-BU2	4244.7	4227.1	0.42	3676.0	3660.7	0.42	2840.1	2832.7	0.26	3871.7	3856.5	0.40
SG1-BU3	24279.4	24288.7	0.04	21026.6	21034.6	0.04	24741.0	24750.6	0.04	24474.4	24589.2	0.47
SG1-BU4	12671.3	12663.8	0.06	10973.6	10967.1	0.06	12792.7	12785.1	0.06	12725.8	12737.1	0.09

Corrientes de corto circuito para el Escenario 4 del Anillo B.



Con estos niveles de corto circuito se tiene el propósito de ayudar al diseño de los demás componentes que conforman un sistema eléctrico como por ejemplo: el diseño de sistemas de puesta a tierra, la correcta coordinación y selección de protecciones (relevadores, interruptores, etc.) para ofrecer una mayor confiabilidad y seguridad tanto a los operadores de la red como a la comunidad universitaria en general.

Una vez resuelta la problemática de la distribución en media tensión dentro del campus universitario, el siguiente problema al cual se enfrentará será en la distribución en baja tensión en lo que respecta a calidad de la energía, debido al constante crecimiento de cargas no lineales (computadoras, lámparas con balastro electrónico, etc.) lo que provoca la presencia de disturbios eléctricos, por ejemplo:

- Bajas de tensión y sobretensiones de corta o larga duración.
- Transitorios.
- Ruido eléctrico
- Armónicas (corriente y voltaje).
- Variaciones de frecuencia, etc.

Las consecuencias de la presencia de estos disturbios se pueden manifestar en los componentes de la siguiente forma:

- Corrientes excesivas en los conductores de neutro que los sobrecalientan.
- Sobrecalentamiento de transformadores y motores.
- Pérdidas de algunos datos y daños en algunas componentes electrónicas debido a que el voltaje máximo es superior al nominal o a que existe un diferencial de voltaje entre neutro y tierra.



Dentro de las medidas para mitigar los efectos producidos por una mala calidad de la energía encontramos:

- Dimensionamiento de conductores considerando armónicas.
- Disminución de las corrientes por el neutro mediante balance de cargas.
- Disminución de las corrientes armónicas mediante filtros y transformadores de aislamiento.
- Tableros separados para equipos sensibles.

Por lo que es de vital importancia realizar estudios de calidad de la energía para identificar los problemas y tomar las medidas necesarias y disminuir su presencia en el sistema de distribución en baja tensión del campus universitario.