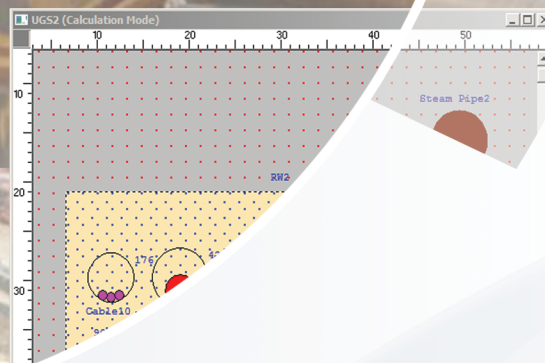
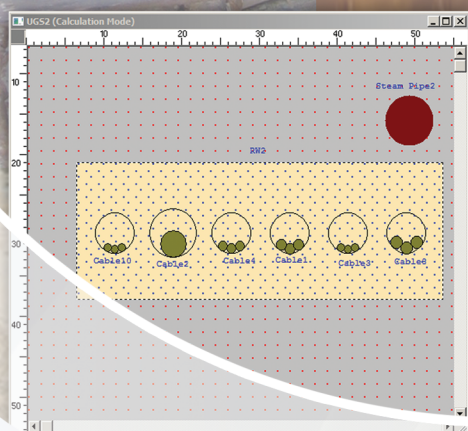
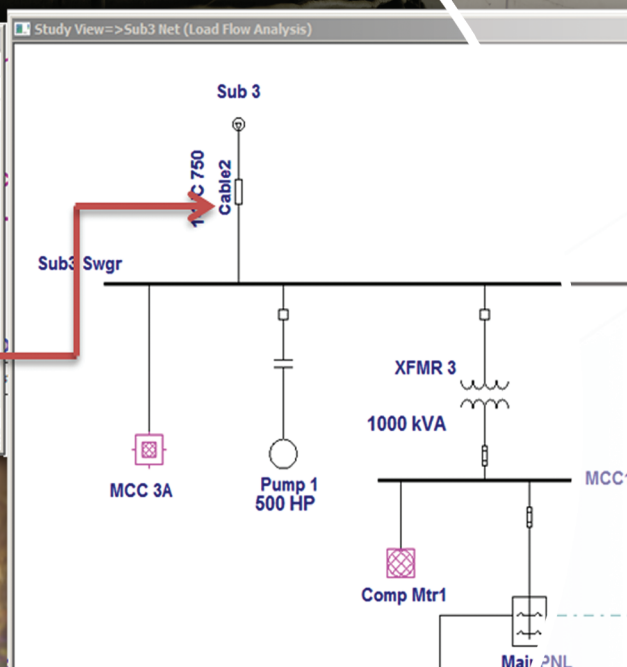
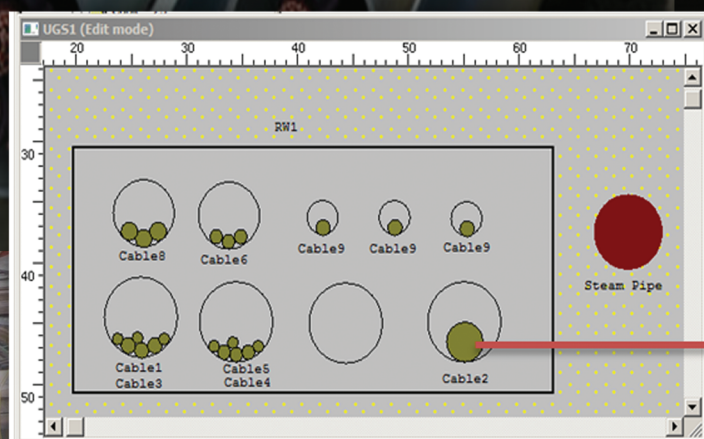




Metodología

para realizar el análisis de instalaciones eléctricas subterráneas, con base al NEC, utilizando ETAP®

Rafael Franco Manrique

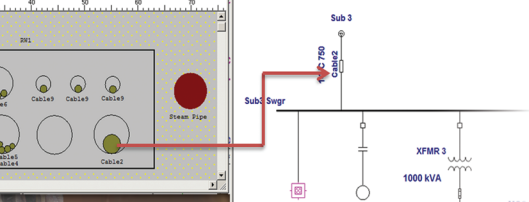
Potencia y Tecnologías Incorporadas S.A.

Carlos Hernán Campo Valencia

Potencia y Tecnologías Incorporadas S.A.

Daniel Enrique Riascos Uribe

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad de los Andes



Metodología para realizar el análisis de instalaciones eléctricas subterráneas, con base al NEC, utilizando ETAP®

El propósito del presente artículo es evaluar el comportamiento térmico de instalaciones eléctricas subterráneas utilizando como caso de estudio, el detalle 3 del anexo B del National Electric Code (NEC -2011); la implementación y simulación se realiza utilizando el módulo Underground Raceway Systems (UGS) de etap. La metodología consiste en presentar los criterios técnicos, la literatura existente y la implementación de este tipo de instalaciones caracterizando el comportamiento térmico a lo largo del tiempo; se presentan comparaciones respecto al perfil de temperatura en estado estable y resultados gráficos que permitan evaluar las condiciones de operación más severas. El estudio simula perfiles de carga a lo largo del tiempo y evalúa los límites de los parámetros térmicos del cable en condiciones de sobrecarga; se plantean conclusiones y consideraciones futuras que evidencien la relevancia de los estudios de cargabilidad y temperatura para instalaciones eléctricas subterráneas.

Palabras Clave: Sistemas Subterráneos, Metodología de análisis de UGS en

The article evaluates the thermal behavior for underground raceway systems, using as a case base study the detail 3 of the National Electric Code (NEC -2011); the analysis is based on the implementation and simulation using Underground Raceway Systems (UGS) module in etap. The methodology consist in presenting the technical criteria, the literature and the implementation of this type of installations to obtain the thermal behavior along the time; some comparisons in respect to the temperature at steady state and graphical results are presented in order to evaluate the most critical operation conditions. The present study simulates the load profiles in order to determine the temperature limits over time in overload conditions; in this order we conclude and achieve future considerations that show the relevance associated to loading and temperature studies for underground electrical installations.

Keywords: Underground Raceway Systems, Methodology for Cable Thermal Analysis, ETAP cable sir

Introducción

El diseño de un sistema eléctrico involucra una serie de estudios previos que modelen de forma adecuada la topología, construcción y operación del circuito. Dentro de estos estudios se identifican: flujo de carga, cortocircuito, coordinación de protecciones, análisis de sistemas eléctricos subterráneos, entre otros. El propósito de este artículo es mostrar una metodología para la simulación de sistemas subterráneos a través del software de etap.

La instalación de un sistema eléctrico en la actualidad involucra no únicamente aspectos técnicos, sino que debe tener en cuenta el impacto urbanístico asociado a redes de distribución en media o baja tensión. En concreto las redes de alimentación de media tensión anteriormente instaladas de forma aérea, en algunos casos sin el necesario cumplimiento de la normatividad vigente; actualmente son desplazadas por instalaciones subterráneas. Estas instalaciones involucran necesariamente el cumplimiento del Reglamento RETIE [8], y consigo a la Norma Técnico Colombiana [3]; por consiguiente el modelo efectivo de este tipo de instalaciones permite realizar las correcciones necesarias a la ampacidad de los cables, analizar el efecto de fuentes térmicas externas y plantear alternativas o conclusiones para el diseño, instalación u operación.

Estudios previos correspondientes a casos aplicados de instalaciones subterráneas ([1], [2]; comprueban el efecto de las fuentes de calor en la ampacidad del cable. La NEC [3] específicamente menciona algunas causas del incremento de temperatura en el cable o el ducto de instalación, tales como: pérdidas en el conductor dependientes de la cargabilidad(), efecto piel asociado al aumento de la temperatura en el mismo, pérdidas por

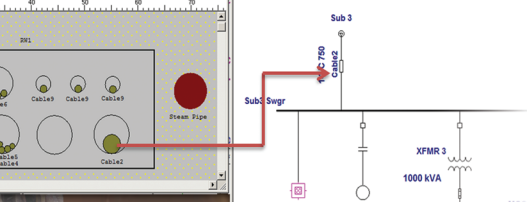
histéresis para ductos mecánicos, incidencia térmica de otros elementos (circuitos adicionales adyacentes), efecto de la temperatura ambiente, resistividad térmica de la instalación o del terreno (RHO).

Este artículo desarrollará el caso estudio expuesto en el anexo B de la NEC (Application Information for Ampacity Calculation), se plantean distintos escenarios en orden para obtener resultados. Finalmente se plantean conclusiones que comprueban la utilidad del software de etap para simular instalaciones subterráneas, que involucran criterios como el análisis a temperatura constante, análisis a corriente constante o la evaluación de forma dinámica.

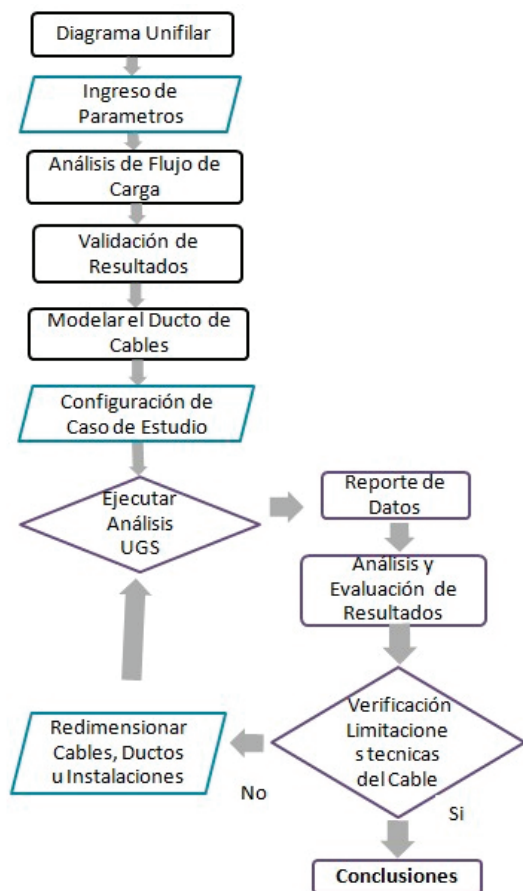
1. Metodología Propuesta

La metodología propuesta corresponde a la implementación de un tipo de instalación eléctrica de forma subterránea dentro del software etap. El tema correspondiente a dimensionamiento de los cables en ductos puede ser consultado en detalle dentro del NEC artículos 310.15 para tensiones menores a 2kV o 310.60 para valores de voltaje mayores. Al igual se sugiere consultar el RETIE para el caso colombiano, en conjunto con literatura que aborda este tipo de estudios [1], [5].

La Gráfica 1 muestra la metodología propuesta para la simulación y análisis de distintos casos de estudio de redes subterráneas en el software etap.

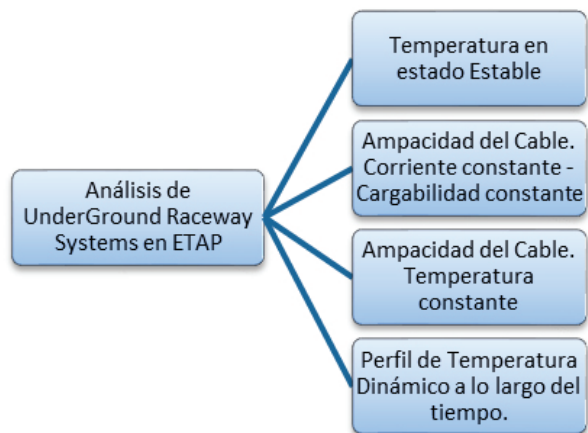


Metodología para realizar el análisis de instalaciones eléctricas subterráneas, con base al NEC, utilizando ETAP®



Gráfica 1. Diagrama de Flujo Metodología propuesta.

El detalle correspondiente a ejecutar el análisis de UGS dentro de etap incluyendo los estudios mencionados en detalle para la sección 1.4

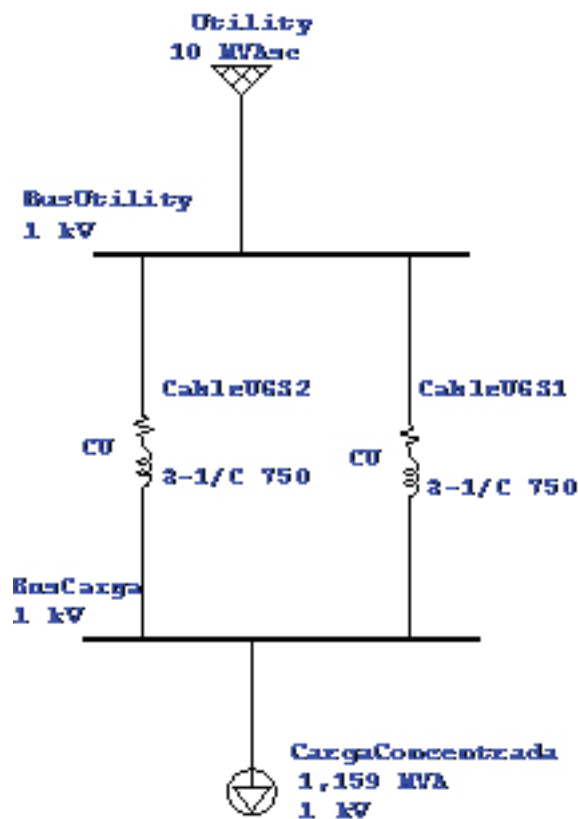


Gráfica 2. de Estudio Térmico en ETAP.

Como se observa en la Gráfica 2, el modelado del banco de ductos en etap permite discriminar entre distintos estudios basados en los documentos técnicos ya mencionados.

1.1 Diagrama Unifilar

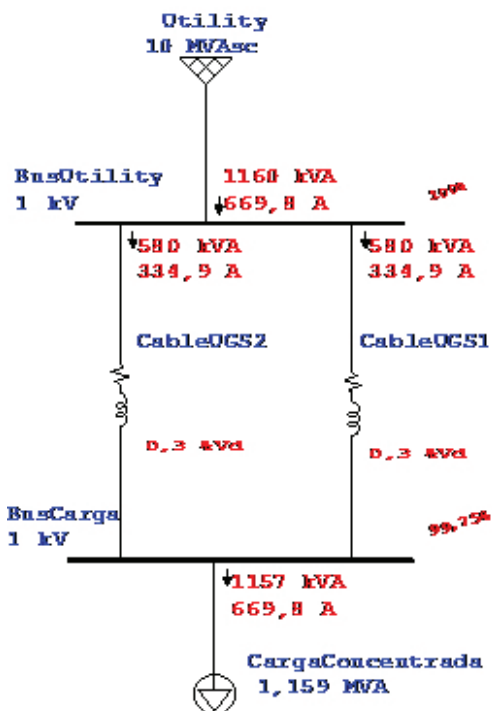
Con base a la topología de un circuito de distribución subterráneo, se modela el diagrama unifilar en ETAP. La región inferior del circuito radial representa la carga equivalente conectada al Nodo BusCarga. Las especificaciones del cable se muestran en detalle en la sección 1.4.



Gráfica 3. Diagrama Unifilar.

1.2. Ingreso de Parámetros para el Análisis de flujo de carga

Se comprueba el comportamiento del sistema eléctrico, flujo de carga, ingresando los datos nominales de cada uno de los elementos del sistema eléctrico: generadores, líneas de transmisión, cables, transformadores, etc. Se aclara que para este caso la carga concentrada, mostrada en la Gráfica 3, es modelada como un 70% de potencia constante y 30% de impedancia constante.



Gráfica 4. Resultados Flujo de Carga

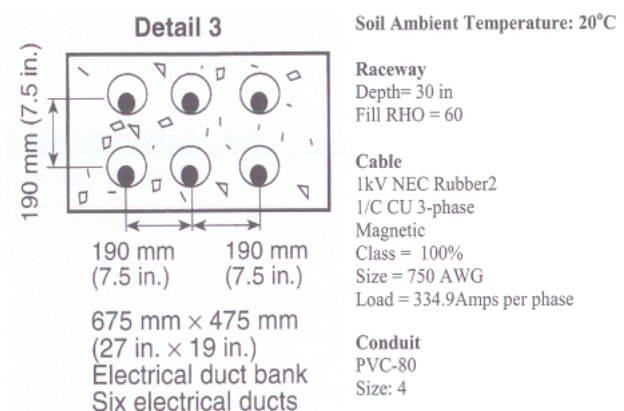
1.4 Ingreso de parámetros para el análisis de usg (Underground Raceway Systems)

Dentro del modelo y simulación del banco de ductos, se debe evaluar la coherencia del

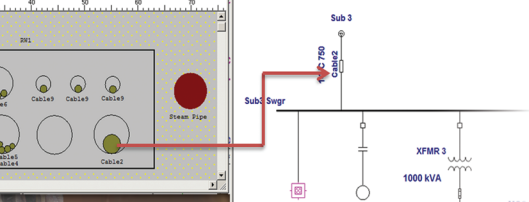
diseño, la geometría y selección de los conductores del diseño. etap brinda herramientas para asociar las características del ducto subterráneo con el diagrama unifilar correspondiente al sistema eléctrico, específicamente en la selección del conductor en el diagrama unifilar y la actualización del mismo de acuerdo a la simulación realizada en el módulo UGS; por tanto se garantiza exactitud, coherencia y confiabilidad en los resultados.

El módulo de UGS (Underground Thermal Analysis Duct) permite visualizar de forma gráfica el ducto subterráneo correspondiente al diseño del sistema eléctrico. La simulación involucra el análisis térmico basado en el método de cálculo de Neher-McGrath [4]; por otra parte el análisis y optimización de la ampacidad de los cables están basados en los estándares [6], [7].

El detalle del modelo del banco de ductos dentro de ETAP se realiza a partir [3], correspondiente al artículo 310 de la NEC. Este elemento corresponde a un banco de seis ductos cada uno de 4 pulgadas como se muestra a continuación.



Gráfica 5. Detalle 3 Figure B.310.15 Anexo B. NEC [3]



El módulo de UGS en etap requiere de parámetros correspondientes a la construcción del ducto, los cables que lo componen y parámetros térmicos asociados al sitio de implementación del mismo. La construcción geométrica requiere como entradas la profundidad, dimensiones, tipo de material del banco de ductos. En cuanto a los ductos se especifican el tipo de material, las dimensiones y la ubicación relativa dentro del banco.

Por otra parte si se abordan las características térmicas del modelado, se requiere: la resistencia térmica del suelo circundante a la instalación del banco y temperatura ambiente de forma general. En cuanto al cable, los parámetros térmicos están asociados de acuerdo a las librerías de conductores seleccionadas en el software, donde se especifican datos tales como el voltaje nominal de operación, tipo de instalación, tipo de apantallamiento, material, amperaje. El software etap permite establecer la magnitud de corriente a la cual está sometido el elemento de acuerdo: a un valor definido por el usuario, una corriente de operación o la FLA (Full Load Ampacity) del elemento. La definición de los parámetros para el caso de estudio se describe a continuación.

Para el ambiente:

- Temperatura Relativa en el suelo = 20 °C
- Tipo = Clay Dry (Arcilla Seca)
- RHO = 90

Para el Banco:

La geometría del ducto se encuentra descrita en la Gráfica 5 del presente documento

Para el Ducto:

- Material= PVC 80
- Tamaño= 4 pulgadas

Para el Cable:

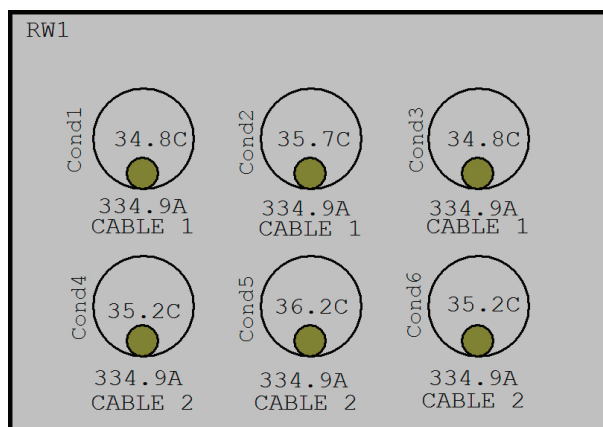
- Tensión: 1 kV
- Fuente: NEC
- Aislamiento = Rubber2 -90°C
- Numero Conductores por fase = 1/C
- Tipo de Cable = Trifásico
- Tipo de Instalación = Magnética
- Clase = 100%
- Tamaño = 750AWG
- Cargabilidad = 334.9 A

1.5 Análisis y resultados instalaciones eléctricas subterráneas (ugs)

Parte del análisis de los datos corresponde a validar los parámetros definidos para el ducto, en las Tablas 1, 2, 3 junto con las Figuras 6, 7 y 8 concentran respectivamente los siguientes análisis realizados en el ducto para este caso de estudio: Steady State Cable Temperature Calculation; Uniform-Ampacity. Cable Ampacity Calculation; Uniform-Temperature Cable Ampacity Calculation; Transient Cable Temperature Calculation. Una vez se ejecuta cada uno de los análisis mencionados, es posible obtener un reporte completo como se muestra a continuación.

Conduit.	Cable ID	Size	Amp	°C
1	Cable1-1A	750	334.90	34.8
2	Cable1-1B	750	334.90	35.7
3	Cable1-1C	750	334.90	34.8
4	Cable2-1A	750	334.90	35.2
5	Cable2-1B	750	334.90	36.2
6	Cable2-1C	750	334.90	35.2

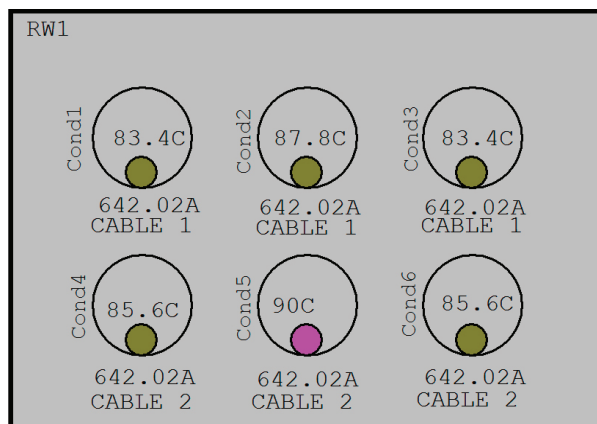
Tabla 1. Steady State Cable Temperature Calculation (Temperatura en Estado Estable).



Gráfica 6. Resultados del Análisis de Temperatura en Estado Estable

Conduct.	Cable ID	Size	Amp	°C
1	Cable1-1A	750	642.02	83.4
2	Cable1-1B	750	642.02	87.8
3	Cable1-1C	750	642.02	83.4
4	Cable2-1A	750	642.02	85.6
5	Cable2-1B	750	642.02	90.0
6	Cable2-1C	750	642.02	85.6

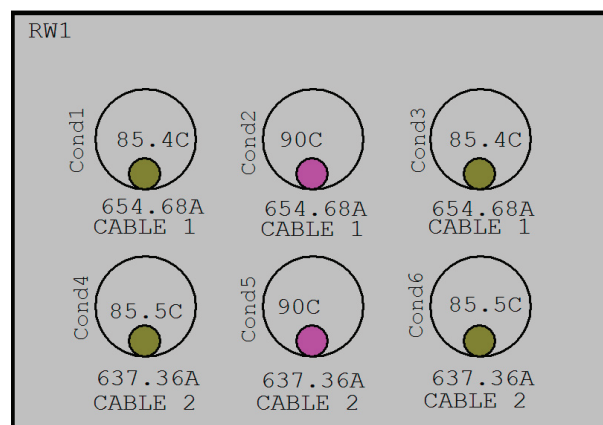
Tabla 2. Ampacity Optimization Analysis - Uniform Ampacity (Cálculo Ampacidad-Corriente Constante).



Gráfica 7. Resultados del Análisis de Temperatura en Estado Estable

Conduct.	Cable ID	Size	Amp	°C
1	Cable1-1A	750	654.68	85.4
2	Cable1-1B	750	654.68	90.0
3	Cable1-1C	750	654.68	85.4
4	Cable2-1A	750	637.36	85.5
5	Cable2-1B	750	637.36	90.0
6	Cable2-1C	750	637.36	85.5

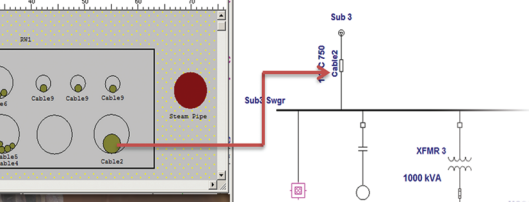
Tabla 3. Ampacity Optimization Analysis - Uniform Temperature (Cálculo Ampacidad-Temperatura Constante).



Gráfica 8. Resultados del Análisis de Ampacidad Temperatura Constante.

De lo anterior se observa lo siguiente:

- Los resultados de la Tabla 2 (Ampacity Optimization Analysis - Uniform Ampacity), ilustran la corriente máxima por el Cable2-1B para la cual alcanza el límite de temperatura (90°C), es decir, la corriente a la cual se podrá cargar el circuito que alimenta este conductor.
- Los resultados de la Tabla 3 (Ampacity Optimization Analysis Uniform-Temperature), ilustran la corriente máxima permitida por cada conductor para cuando todos llegan a su límite térmico de 90 °C, es decir a la cual se podrá cargar todos los cables a la vez sin sobrepasar los límites térmicos.



Metodología para realizar el análisis de instalaciones eléctricas subterráneas, con base al NEC, utilizando ETAP®

2. Caso de estudio

El presente artículo procede a analizar el efecto de instalar una fuente de calor asociada a una tubería de gas; cambiando la temperatura ambiente de acuerdo a un periodo prolongado de verano. Finalmente se analiza el escenario crítico asociado a un aumento en la cargabilidad en un periodo pico de demanda de dos horas, en conjunto con los efectos ya mencionados anteriormente.

Para los casos de estudio propuestos, se realiza en primer lugar un análisis térmico en estado estable, calculo ampacidad-corriente constante y calculo ampacidad-temperatura constante, con estos tres casos y observando el efecto en el análisis térmico se podría concluir el funcionamiento en estado estable de la red subterránea; posteriormente se realizan los análisis correspondientes al agregar un elemento térmico externo al ducto, y finalmente se agrega un perfil de cargabilidad para visualizar los cambios en el perfil de temperatura a lo largo del tiempo.

2.1 Instalación de una fuente térmica

Para determinar los distintos escenarios es necesario implementar una nueva fuente de calor en el sistema. Se debe por consiguiente determinar la ubicación geométrica de este nuevo elemento la temperatura asociada y los cambios a los parámetros ya existentes.

Para el ambiente:

- Temperatura Relativa en el suelo = 30 °C

Para la fuente térmica:

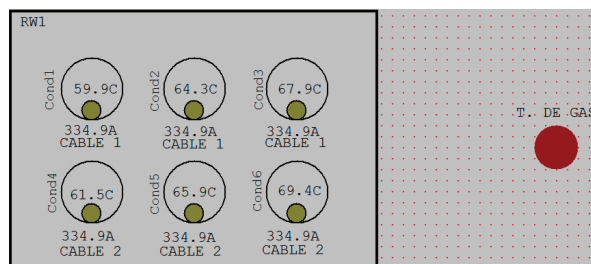
- Temperatura Fuente = 90°C
- Profundidad = 40 pulgadas

- Distancia Referencia eje x =40 pulgadas

Las Tablas 5, 6, 7 junto con las Figuras 9, 10 y 11 concentran respectivamente los análisis realizados en el ducto para el caso de estudio propuesto.

Conduit.	Cable ID	Size	Amp	°C
1	Cable 1-1A	750	483.89	79.5
2	Cable 1-1B	750	483.89	85.4
3	Cable 1-1C	750	483.89	87.9
4	Cable 2-1A	750	483.89	81.8
5	Cable 2-1B	750	483.89	87.6
6	Cable 2-1C	750	483.89	90

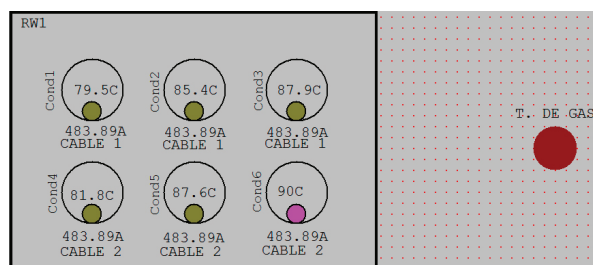
Tabla 5. Steady State Cable Temperature Calculation (Temperatura en Estado Estable). Caso Estudio 2.1



Gráfica 9. Resultados del Análisis de Temperatura en Estado Estable

Conduit.	Cable ID	Size	Amp	°C
1	Cable 1-1A	750	334.90	59.9
2	Cable 1-1B	750	334.90	64.3
3	Cable 1-1C	750	334.90	67.9
4	Cable 2-1A	750	334.90	61.5
5	Cable 2-1B	750	334.90	65.9
6	Cable 2-1C	750	334.90	69.4

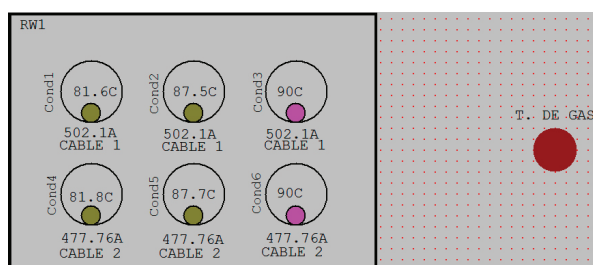
Tabla 6. Ampacity Optimization Analysis - Uniform Ampacity (Calculo Ampacidad-Corriente Constante) Caso Estudio 2.1.



Gráfica 10. Resultados del Análisis de Ampacidad Corriente Constante.

Cond. ut.	Cable ID	Size	Amp	°C
1	Cable 1-1A	750	502.10	81.6
2	Cable 1-1B	750	502.10	87.5
3	Cable 1-1C	750	502.10	90.0
4	Cable 2-1A	750	477.76	81.8
5	Cable 2-1B	750	477.76	87.7
6	Cable 2-1C	750	477.76	90.0

Tabla 7. Ampacity Optimization Analysis - Uniform Temperature (Calculo Ampacidad-Temperatura Constante). Caso Estudio 2.1.

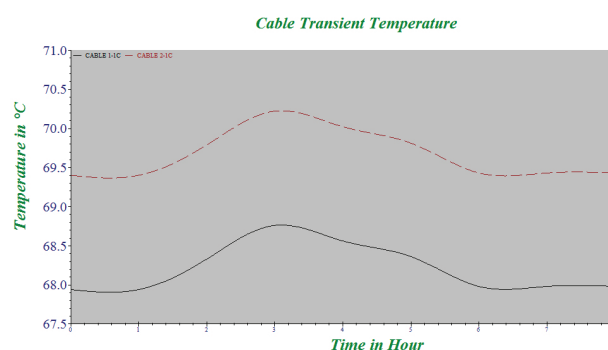


Gráfica 11. Resultados del Análisis de Ampacidad Temperatura Constante.

Se observa que la fuente de calor producto de la tubería de gas, produce un cambio térmico importante tanto en la ampacidad de los cables como en la temperatura de operación de los mismos, de esta forma estaríamos cubriendo todo el análisis eléctrico asociado a los ductos o redes subterráneas necesario para emitir un diagnostico técnico apropiado para un diseño o una red subterránea existente.

2.2 Perfil de carga

La definición del perfil de cargabilidad de los conductores se define en la Tabla 8. Esto con el fin de llevar a cabo un análisis transitorio de temperatura para los cables más cercanos a la fuente térmica (Cable1-1C y Cable2-1C), los cuales probablemente pueden alcanzar rápidamente sus límites térmicos.



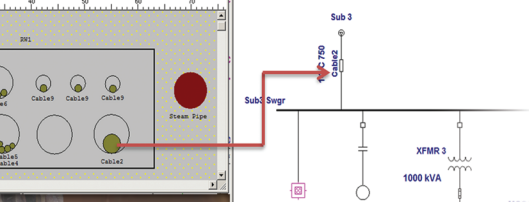
Gráfica 12. Resultados Perfil de Carga

Se observa que a pesar de la variación de la corriente en el tiempo, el cable presenta un comportamiento transitorio respecto a la temperatura, para lo cual dicho perfil de cargabilidad de los conductores no representa una condición crítica para el sistema pues no compromete los límites térmicos de los cables.

Tiempo (Horas)	Porcentaje de la Carga Inicial (%)	Corriente (A)
0	100	334,9
1	110	368,5
2	120	402
3	115	385,25
4	110	368,5
5	100	334,9
6	100	334,9

Tabla 8. Definición Perfil de Cargabilidad. Caso Estudio 2.3

La Figura 12, permite observar el comportamiento en temperatura de los conductores bajo estudio de acuerdo con el perfil de carga definido para los mismos.



3. Resultados

Analizar de acuerdo a la metodología propuesta las consecuencias directas asociadas a los diferentes escenarios involucrados en una instalación subterránea y revisar detenidamente los efectos que éstos tienen en la ampacidad y los límites térmicos de los distintos cables, debido al aumento de la temperatura producto de fuentes de calor externa, perfiles de carga, geometría del ducto. La temperatura ambiente es de vital importancia para garantizar el buen funcionamiento de la red subterránea que a su vez tendrá un desempeño adecuado en el sistema eléctrico, brindando confiabilidad y disponibilidad del suministro de energía al cliente final.

Por último se comprueba, también, que la geometría y el tipo de instalación asociado al banco de ductos, cumple con la normatividad vigente, es decir, no existen violaciones para la temperatura en estado estable; que puedan evidenciar daños al aislamiento del cable.

4. Conclusiones

- ✓ El módulo de Underground Raceway Systems (UGS) del software etap es una herramienta muy útil para el análisis del sistema eléctrico de potencia ya que permite complementar a los estudios de Flujo de cargas y dimensionamiento de los cables asociados a los diferentes escenarios y de manera integral permite al ingeniero emitir un concepto técnico e integral apropiado.
- ✓ El análisis térmico en el módulo de UGS en etap en conjunto con una librería de cables real permite obtener una simulación o resultado que refleja las condiciones dadas en la instalación real.

- ✓ La simulación transitoria asociada al perfil de carga en los conductores permite observar el comportamiento de la temperatura a lo largo del tiempo y de este modo determinar el comportamiento térmico de los conductores para diagnosticar el posible estado del aislamiento del conductor, garantizando la vida útil de los mismos, y consecuentemente ofreciendo al cliente final la disponibilidad de un suministro eléctrico confiable.
- ✓ La instalación de una fuente térmica externa cerca al banco de ductos impacta de manera considerable las condiciones operativas en los distintos cables analizados. La temperatura aumenta y consigo la ampacidad del cable se disminuye. Por tanto es importante analizar y verificar la existencia de este tipo de condiciones puesto que puede afectar negativamente el buen funcionamiento de nuestro sistema eléctrico.

5. Referencias

- [1] Abu Zarin, Aida. "Ampacity simulations of Various Underground Cable Installation Systems". PEOCO2011- The fifth International Engineering and Optimization Conference. Junio 2011.
- [2] Cunningham Bob and Zadehgoel Hamed. "Underground urban distribution cables – Ampacity analysis and capacity improvements in Seattle City Light system". Seattle City Light Company. Mayo 2011.
- [3] Early Mark, Sargent Jeffrey, Coache Christopher, Roux Richard. "National Electric Code -2011 (NEC)". National Fire Protection Association. 2011

[4] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC. Norma

Técnica Colombiana 2050, Noviembre 25 de 1998.

[5] McGrath M. H., Neher J. "The Calculation of the Temperature Rise and Load Capability of Cable Systems". AIEE Transactions, Part III, Volume 79, pp 752-772. Octubre 1957.

[6] Workshop Notes, "Underground Raceway System Analysis", Etap Power Station Operation Technology, Inc, Irvine California 2012.

[7] IEEE Power Engineers Society. "IEEE Standard Power Cable Ampacity Tables". 1994

[8] IEC 60287 - International Electromechanical Comision. "Electric Cables and current rating calculation". 2002

[9] República de Colombia, Ministerio de Minas y Energía. "Reglamento Técnico de Instalaciones eléctricas- RETIE". expedido mediante Resolución 90708 de Agosto 30 del 2013.



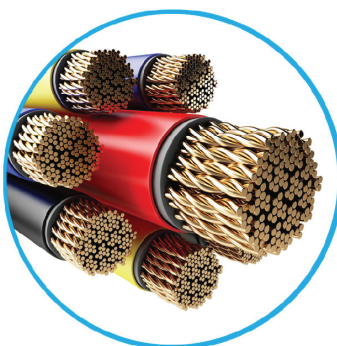
Cuando le ponemos la **fibra**, el trabajo se vuelve **arte** y nuestros productos **obras**, por eso llevan nuestra firma.



40
años
compuestos
de pasión



Inspección de instalaciones



Sabía usted que:

- Las instalaciones eléctricas, sean nuevas o antiguas, deben cumplir con los requisitos de seguridad definidos por los reglamentos técnicos expedidos por el Ministerio de Minas y Energía.
- Los constructores o propietarios de las instalaciones eléctricas están obligados a velar por la seguridad, la cual puede ser garantizada a través de la contratación de servicios especializados de inspección de las mismas con un organismo acreditado por ONAC.
- Existen varios organismos de inspección legalmente acreditados por ONAC, dentro de los cuales CIDET se destaca por ser referente en temas técnicos en el sector eléctrico colombiano dada su alta competencia y ser el primer organismo acreditado en Colombia en el año 2007.
- Una adecuada inspección técnica de su instalación eléctrica, además de la seguridad y cumplimiento de la reglamentación vigente, le puede representar importantes ahorros económicos.
- Ahorrar sin un claro criterio de costos en el valor de la inspección de sus instalaciones, no es una buena decisión. Seleccione un organismo de inspección que se encuentre acreditado y que le garantice el cumplimiento de los objetivos de las normas y reglamentos técnicos en Colombia, que es validar la calidad, integridad, y seguridad de su instalación.

CIDET cuenta con certificado de acreditación bajo reglamento RETIE 2013, otorgado por ONAC.

Tipos de instalaciones que inspecciona CIDET:

- Todos los procesos de la cadena de energía: Generación, transmisión, transformación de la energía (alta y extra alta tensión), sistemas de distribución de energía eléctrica e instalaciones de uso final básicas (residenciales, industriales, comerciales) y de uso final especiales (hospitalarias, áreas clasificadas, alta concentración de personas, escenarios deportivos, ampliaciones y remodelaciones, para cumplimiento RETIE)
- Sistemas e iluminación de alumbrado público nuevos, ampliaciones y remodelaciones, para cumplimiento RETILAP
- Para instalaciones antes de la entrada en vigencia de los reglamentos RETIE y RETILAP, CIDET ofrece el servicio de Inspecciones voluntarias, con fines de mejoramiento de la seguridad de la instalación
- Medidas especializadas bajo cumplimiento de RETIE y RETILAP, con equipos calibrados por laboratorios acreditados, para garantizar la adecuada operación y mantenimiento de las instalaciones.

Consúltenos sus inquietudes, tenemos un grupo técnico dispuesto a atenderlo

CIDET es su mejor opción para la Inspección técnica y profesional de sus instalaciones

Medellín: PBX: (4) 444 1211 ext. 180, Bogotá: PBX: (1) 489 7190
paula.montoya@cidet.org.co

www.cidet.org.co



CERTIFICACIÓN

evolución continua