



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**Implementación de programa basado en macros de
Excel VBA para cálculos y cotización de instalación
de grupos electrógenos**

Autor

Tomás Rozo Mora

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería

Eléctrica

Medellín, Colombia

2019



**Implementación de programa basado en macros de Excel VBA para cálculos y cotización de
instalación de grupos electrógenos**

Tomás Rozo Mora

Informe de práctica como requisito para optar al título de Ingeniero Electricista

Asesor interno

Jaime Alejandro Valencia

Ingeniero Electricista

Asesor externo

Juan David Henao

Ingeniero Electricista

Universidad de Antioquia

Facultad de ingeniería, Departamento de Ingeniería Eléctrica

Medellín, Colombia

2019



Tabla de contenido

1. Resumen.....	5
2. Introducción	5
3. Objetivos.....	6
3.1. General.....	6
3.2. Específicos	6
4. Marco Teórico.....	6
4.1. Principales componentes de un grupo electrógeno	7
4.2. Clasificación de los grupos electrógenos.....	7
4.2.1. Norma ISO 8528-1 (2005).....	7
4.3. Impacto de las condiciones del sitio de operación del grupo electrógeno.....	8
4.3.1. Altitud.....	9
4.3.2. Calor.....	9
4.3.3. Ambientes corrosivos	9
4.3.4. Humedad.....	9
4.3.5. Polvo	10
4.4. Requisitos del cliente.....	10
4.4.1. Suministro	10
4.4.2. Suministro y conexión a cero metros	10
4.4.3. Suministro e instalación llave en mano	10
4.4.4. Demanda de potencia.....	11
4.5. Consideraciones de grupos electrógenos.....	12
4.5.1. Tipos de carga.....	12
4.6. Sistema de escape.....	14
4.6.1. Partes del sistema de escape.....	14
4.6.2. Contrapresión.....	15
4.7. Insonorización.....	15
5. Metodología	16
6. Explicación de la macro de Excel	17
6.1. Información de entrada	17
6.1.1. Datos para el cálculo eléctrico	17
6.1.2. Datos de la ubicación	17
6.1.3. Características del sistema de escape	18
6.1.4. Requerimientos de insonorización.....	18
6.1.5. Sistema de alimentación de combustible.....	18
6.1.6. Mano de obra	19

6.1.7.	Logística de traslado.....	19
6.1.8.	Información para el cálculo del ducto del circuito alimentador	20
6.1.9.	Información para el cálculo de circuitos de control y servicios auxiliares.....	20
6.1.10.	Requerimientos especiales	21
7.	Procedimiento de cálculo del programa.....	21
7.1.	Creación del consecutivo	21
7.2.	Cálculo del circuito alimentador de potencia	22
7.3.	Cálculo de la transferencia.....	24
7.4.	Selección de la tubería de escape.....	25
7.5.	Selección insonorización	28
7.5.1.	Trampas de aire	28
7.5.2.	Recubrimiento de muros y techos	28
7.6.	Selección del sistema de alimentación de combustible.....	28
7.7.	Cálculo estimado de la mano de obra	28
7.8.	Cálculo estimado de los costos de traslado y ubicación en sitio.....	28
7.9.	Cálculo de la canalización de circuitos.....	29
7.10.	Cálculo de los circuitos de control y servicios auxiliares.....	30
8.	APU	31
9.	Formato de salida	31
10.	Memorias de cálculo	32
11.	Resultados	33
12.	Conclusiones.....	34
13.	Referencias bibliográficas.....	34

1. Resumen

El cálculo y cotización de la instalación de un grupo electrógeno resulta ser un procedimiento engorroso el ser realizado manualmente, lo cual resulta ineficiente para una empresa que se dedica a su comercialización e instalación. Adicionalmente, se reciben solicitudes para realizar dichas cotizaciones de manera constante, lo cual exige que se analicen alternativas con el fin de agilizar el proceso de elaboración y de esa forma incrementar los niveles de competencia en el mercado de los grupos electrógenos. En esta práctica empresarial se aprovecha el uso de una herramienta poderosa, como lo es Microsoft Excel y la programación en Visual Basic for Applications para automatizar los cálculos necesarios con el fin de entregar una cotización precisa, completa y ágil al cliente final, desarrollando una interacción clara con el usuario al momento de ingresar la información de entrada del programa y desarrollando todos los cálculos eléctricos y de cantidades de material necesarios de forma rápida y eficiente. Adicionalmente, dicho programa entrega un formato de salida claro y ordenado con una tabla resumen de los costos asociados a cada ítem requerido para la instalación.

2. Introducción

Los grupos electrógenos son una de las alternativas más confiables que tiene un usuario para dar respaldo a sus cargas eléctricas más críticas, que requieran una alimentación continua ante cualquier posible evento en la red eléctrica, ya sea de carácter interno (cortocircuitos) o externo (fallas en la red). La instalación de este tipo de equipos requiere de un análisis, que, si bien no es muy exhaustivo, requiere de una información precisa para conseguir una operación óptima y confiable. En el ámbito industrial, el dimensionamiento y cotización de todo lo que conlleva instalar uno de estos equipos puede resultar engorroso debido a todos los cálculos que amerita, especialmente si se efectúa de manera manual. En consecuencia, se plantea la creación de una herramienta que permita automatizar todos estos cálculos con base en una serie de algoritmos sencillos, que involucran principalmente el uso de ciclos y condicionales, así también como la manipulación de bases de datos para extraer toda la información necesaria para dar con un resultado preciso.

Cuando se requiere organizar y manipular bases de datos extensas, una de las mejores herramientas que existen actualmente es Microsoft Excel. Dicha aplicación permite almacenar bases de datos y manipularlas por medio de fórmulas para conseguir una gestión más inteligente y ágil de las mismas. También incluye su propio lenguaje de programación basado en eventos llamado Visual Basic for Applications, el cual permite automatizar todos los procesos que realiza normalmente Excel en una secuencia deseada, y ejecutarlo todo con sólo presionar un botón.

Estructuralmente, se organiza toda la información de entrada que se requiere para lograr un cálculo satisfactorio y completo. Dicha información se puede resumir en una serie de ítems que serán expuestos a continuación:

- Carga total a respaldar.
- Ubicación de la planta.

- El tipo de ventilación requerida.
- Requerimientos de insonorización.
- Características del sistema de escape.
- Logística de traslado del equipo.
- Tipo de base de la planta.
- Sistema de alimentación externa de combustible.

El desarrollo del trabajo consiste entonces en completar la aplicación cuyo desarrollo había sido iniciado ya previamente, optimizando sus procesos internos y agregando los ítems faltantes para generar una cotización completa y económica, cumpliendo con los requerimientos de la norma técnica colombiana de instalaciones eléctricas y el RETIE; y entregando un informe final en formato PDF al usuario, el cual puede ser almacenado en una ruta especificada.

3. Objetivos

3.1. General

Finalizar la creación de una herramienta capaz de cotizar con precisión, cumpliendo con toda la normativa respectiva, la instalación de un grupo electrógeno para una demanda y contexto cualquiera.

3.2. Específicos

- Comprender la sintaxis y funciones principales de Visual Basic for Applications.
- Automatizar la cotización de la ductería requerida para cualquier instalación de un grupo electrógeno bajo cumplimiento de la norma colombiana.
- Automatizar la cotización de toda la mano de obra concerniente a cualquier instalación de un grupo electrógeno
- Optimizar los cálculos de conductores y de ATS para un grupo electrógeno.
- Incursionar en el desarrollo de aplicaciones por medio de programación en VBA.

4. Marco Teórico

Un grupo electrógeno no es más que un motor de combustión interna acoplado mecánicamente a un generador eléctrico o alternador, cuya función es convertir energía calorífica en mecánica y posteriormente en energía eléctrica. Se utiliza generalmente como una fuente alternativa de energía eléctrica para alimentar cargas

que deben funcionar continuamente, cuando ocurren apagones o eventos similares. Dependiendo de su dimensionamiento, puede tener diferentes períodos de autonomía. Lo anterior se resume explicando las tres posibles modalidades en las que se puede dimensionar.

4.1. Principales componentes de un grupo electrógeno:

- **Motor de combustión interna:** es un tipo de máquina que obtiene energía mecánica directamente de la energía química de un combustible que arde dentro de una cámara de combustión. Su nombre se debe a que dicha combustión se produce dentro de la máquina en sí misma, a diferencia de, por ejemplo, la máquina de vapor [2].
- **Alternador:** es una máquina eléctrica cuya función es la de convertir energía mecánica en eléctrica. Funciona por medio del principio de inducción de Faraday, el cual demuestra que cuando un conductor corta las líneas de un campo magnético variable en el tiempo, se produce una fuerza electromotriz o FEM, lo que se traduce en tensión eléctrica [3][4]. Los alternadores de los grupos electrógenos cuentan con un sistema de regulación automática de tensión (AVR) el cual mediante un dispositivo electrónico gobierna el campo y, en consecuencia, la tensión generada.
- **Cargador de baterías:** como lo indica su nombre, se encarga de suministrar la corriente eléctrica necesaria para cargar una batería o un conjunto de éstas.
- **ATS (Automatic Transfer Switch):** es un interruptor diseñado para cambiar de una fuente de energía a otra según unas condiciones programadas por un módulo controlador.
- **Controlador:** PLC dedicado a controlar o regular todos los posibles eventos relacionados con el funcionamiento de un grupo electrógeno según una programación realizada por el usuario.

4.2. Clasificación de los grupos electrógenos

4.2.1. Norma ISO 8528-1 (2005)

Esta norma define los tres tipos de servicio que pueden proveer los grupos electrógenos:

- Potencia de operación continua (COP)
- Potencia de funcionamiento principal (PRP)
- Potencia de funcionamiento de tiempo limitado (LTP)

Potencia de operación continua (COP)

La potencia de operación continua es la potencia que un grupo electrógeno puede proveer durante un conjunto ilimitado de horas bajo condiciones especiales

definidas. Para cumplir con estas horas se debe seguir con el mantenimiento estipulado por el fabricante [6].

Potencia de funcionamiento principal (PRP)

La potencia de funcionamiento principal es la potencia que un grupo electrógeno provee ante una secuencia de carga variable durante un número de horas ilimitado bajo unas condiciones ambientales específicas. Para cumplir con estas horas se debe seguir con el mantenimiento estipulado por el fabricante [6].

Potencia de funcionamiento de tiempo limitado (LTP)

Es la potencia máxima que un grupo electrógeno entrega en un período de hasta 500 horas por año, bajo condiciones ambientales específicas. Sólo 300 horas pueden ser de funcionamiento continuo. Para cumplir con estas horas se debe seguir con el mantenimiento estipulado por el fabricante [6].

La Tabla 1 muestra la correlación entre la clasificación de los grupos electrógenos según la ISO y Energía y Potencia S.A.S:

Clasificación de grupos electrógenos	
ISO	Energía y Potencia
LTP	Stand By
PRP	Prime
COP	Continua

Tabla 1. Correlación entre la clasificación de grupos electrógenos según la ISO y Energía y Potencia.

4.3. Impacto de las condiciones del sitio de operación del grupo electrógeno

La clasificación de un motor generalmente está restringida por límites térmicos y estructurales. Estos límites incluyen presión máxima del cilindro durante la combustión,

la velocidad del turbocompresor, y la temperatura de los gases de escape. La relación entre la operación de la máquina con estos límites determinará la altitud y temperatura ambiente máximas para una clasificación determinada. Si un motor excede la altitud o temperatura ambiente máximas, deberá reducirse su potencia.

Las condiciones principales que pueden alterar una clasificación del grupo electrógeno o de una de sus componentes, son: altitud, temperatura, ambientes corrosivos y polvo.

La altitud y la temperatura son los factores que mayor influencia tienen en las clasificaciones del motor. A mayor altitud, menor densidad del aire. Se necesita aire denso y limpio para una combustión eficiente (cantidad de oxígeno). Un aumento en la temperatura disminuye la densidad del aire. Por tanto, debe presentarse una disminución de potencia del motor en condiciones de altitud alta y/o temperatura alta para que el grupo electrógeno cumpla con las expectativas de rendimiento [6].

4.3.1. Altitud

Los generadores que operan a altitudes mayores que 1000 m (3281 pies) requieren una reducción de aumento de temperatura de 1% por cada 100m (328) por encima del valor base (1000 o 3281 pies). Está disponible una tabla de reducción de potencia en Información de Mercadotecnia Técnica (TMI) para los generadores y para cada motor específico [6].

4.3.2. Calor

Cuando la temperatura del aire de ventilación que va al generador excede los 40°C (104°F), podría ser necesaria una reducción de potencia del generador [6].

4.3.3. Ambientes corrosivos

La sal y otros elementos corrosivos pueden dañar el aislamiento del devanado, y puede llevar a que el generador falle. La protección de estos elementos incluye recubrimientos de aislamiento adicionales para los devanados durante el proceso de fabricación y compuestos de epoxi para recubrimiento final del devanado [6].

4.3.4. Humedad

La condensación que resulta de la humedad representa un problema para todos los generadores, a menos que estén completamente protegidos. El aumento de la temperatura de la máquina y la circulación de aire de enfriamiento con una adecuada operación de carga, evitarán generalmente la condensación. Deben usarse calentadores de espacio para aumentar la temperatura 5°C por encima de la temperatura ambiente y evitar así la condensación en áreas de alta humedad [6].

4.3.5. Polvo

El polvo conductivo o abrasivo que fluye a través del ventilador de enfriamiento puede ser muy perjudicial para el generador. Ejemplos de polvo abrasivo son: polvo de hierro fundido, polvo de carbón, arena, grafito en polvo, polvo de coque, polvo de cal, fibra de madera y polvo de canteras. Cuando estas partículas extrañas fluyen a través del generador, actúan como una lija que raya el aislamiento. Estas abrasiones pueden causar un cortocircuito en el generador. La acumulación de estos materiales en las aberturas del sistema de aislamiento actuará como un aislante o como un elemento que atrae la humedad. Los filtros que se instalan en las aberturas de aire de admisión o ventilación de la unidad pueden evitar el daño. Cuando se usan filtros es importante cambiarlos regularmente para que no obstaculicen el flujo de aire. El uso del filtro de aire de un generador hará que el mismo reduzca su potencia debido al mayor aumento de temperatura que resulta del menos flujo de aire de enfriamiento. Los interruptores de presión diferencial pueden ser optativos en muchos grupos electrógenos [6].

4.4. Requisitos del cliente

Actualmente se tienen tres casos generales respecto al servicio de venta de grupos electrógenos en Energía y Potencia:

- Suministro
- Suministro y conexión a cero metros
- Suministro e instalación llave en mano

4.4.1. Suministro

Consiste en la entrega al cliente de la planta que cumple con sus demandas de potencia efectivas en el sitio de operación, junto con su ubicación en sitio, pruebas y capacitación al personal que la recibe.

4.4.2. Suministro y conexión a cero metros

Aparte de suministrar la planta al cliente, también se hace la conexión del circuito alimentador a la salida de potencia de la planta con cables debidamente ponchados provistos por el cliente. Cabe aclarar que dichos cables deben ser dimensionados de acuerdo a la potencia máxima a entregar y al voltaje de trabajo de la planta.

4.4.3. Suministro e instalación llave en mano

En este caso, aparte de suministrar la máquina al cliente, también se realiza la instalación del circuito alimentador de potencia a la transferencia, y aguas abajo de la transferencia al tablero de distribución con la carga a respaldar. Se le llama instalación llave en mano

porque se entrega el servicio completo, de forma que lo único que debe de hacer el cliente es recibir las instrucciones de mantenimiento y operación básicas de la planta.

4.4.4. Demanda de potencia

4.4.4.1. Requisitos de potencia en el sitio

Antes de seleccionar el modelo y la clasificación de un motor, debe realizarse un análisis de carga. Al momento de dimensionar un generador, es crucial tomar en cuenta aspectos como: las necesidades de administración de carga y perfiles de carga.

4.4.4.2. Administración de carga

La administración de carga es el control cuidadoso de las cargas de un grupo electrógeno y/o una empresa de energía para tener costos eléctricos lo más bajos posibles.

La evaluación de los perfiles de carga del cliente es un componente clave para establecer su perfil de administración de carga y el tamaño del grupo electrógeno requerido para operar dentro de este perfil [6].

4.4.4.3. Perfiles de carga

Se debe establecer la duración y la naturaleza de una carga para seleccionar y operar un sistema de grupo electrógeno a eficiencia máxima. Para analizar una carga, es necesaria una familia de tablas de perfiles de carga. Los perfiles de carga cronológicos y de duración son más útiles para este propósito [6].

4.4.4.4. Clasificación de las cargas

Al momento de realizar un estimado de carga, resulta muy útil dividir la carga en dos grupos generales y hacer el debido análisis respectivo: cargas de iluminación y de potencia.

Las cargas del sistema de iluminación son relativamente constantes. Estas cargas se expresan con mayor frecuencia como densidad de carga en voltio-amperios (VA) por pie cuadrado ($VA/pies^2$). Las cargas de potencia involucran cargas diferentes a las del sistema de iluminación. Algunos ejemplos son motores, hornos y rectificadores. A diferencia de las cargas de iluminación, las cargas de potencia varían de acuerdo a diferentes factores, como: tiempos de arranque y parada, el porcentaje de salida y el factor de potencia relacionado.

Ambos tipos de carga inicialmente se calculan por separado y posteriormente se suman para determinar la carga total aproximada [6].

4.4.4.5. Priorización

Es el proceso mediante el cual el cliente identifica qué cargas se requieren y con qué prioridad. Las cargas con mayor prioridad se suplen primero que las demás, incluso si los grupos electrógenos no están preparados para carga. El primer grupo electrógeno que esté listo, alimentará la carga de primera prioridad. Posteriormente se suple la carga de segunda prioridad, y así de manera sucesiva. Cuando no hay cargas prioritarias, se sugiere que las primeras en ser suplidas sean las de mayor proporción, pues su arranque tendrá menos impacto en el resto de las cargas [6].

4.5. Consideraciones de grupos electrógenos

Cuando se desea dimensionar un grupo electrógeno, se debe tener claro el tipo de carga que se requiere suplir, pues su cálculo puede variar.

4.5.1. Tipos de carga

Todas las cargas son diferentes en sus necesidades de calidad de potencia. Un simple bombillo incandescente no exige potencia de alta calidad. La cantidad de luz disminuirá proporcionalmente para el voltaje, pero la onda de frecuencia y voltaje libre de distorsión no es significativa. Otras cargas son sensibles a las variables de voltaje. Las cargas generalmente se definen como lineales y no lineales, y siempre será importante diferenciarlas a la hora de calcular un grupo electrógeno [6].

4.5.1.1. Cargas lineales

Son cargas AC en las que la corriente fluye proporcionalmente al voltaje. Hacen fluir la corriente de manera uniforme, en ondas sinusoidales durante todo el ciclo. La carga puede ser resistiva, inductiva (factor de potencia en atraso) o capacitiva (factor de potencia en adelanto). Independientemente del tipo, el flujo de potencia de una carga lineal será sinusoidal.

Las fórmulas eléctricas convencionales para determinar las características eléctricas, como la caída de voltaje, la medición del flujo de corriente, el consumo de potencia y los valores de calentamiento se aplican a cargas lineales y se asume que no hay distorsión de voltaje y corriente.

Algunas cargas lineales típicas son:

- Luces incandescentes.
- Calentadores resistivos.
- Motores de inducción.
- Dispositivos electromagnéticos.

- Transformadores (no saturados)[6].

4.5.1.2. Cargas no lineales

Una carga eléctrica que modifica la onda de corriente o voltaje que no es sinusoidal es una carga no lineal. También lo es una carga que haga fluir la corriente en pulsos.

El desarrollo y la implementación de componentes electrónicos de estado sólido han aumentado las cargas no lineales. Los semiconductores, especialmente los rectificadores controlados de silicio (SCR) tienen la capacidad de “conectarse” o comenzar la transmisión en cualquier punto durante la onda de voltaje aplicada, y de trazar pulsos instantáneos de corriente. Estas demandas de pulsos instantáneos resultan en armónicos, que a su vez resultan en cargas no lineales. Otra fuente de cargas de flujo de corriente no sinusoidal es el equipo magnético saturado, como los transformadores de balastro fluorescente y los reguladores de reactor de núcleo saturado.

Ejemplos típicos de cargas no lineales son:

- Rectificadores controlados de silicio.
- Mandos de velocidad variable.
- Suministros de potencia ininterrumpida.
- Cargadores de baterías.
- Equipo de computación.
- Luces fluorescentes y de descarga de gas.
- Transformadores saturados.

Todos estos dispositivos requieren de corriente que no puede proporcionarse sin causar alguna distorsión al voltaje aplicado. Las cargas no lineales en el sistema pueden causar problemas para otras cargas [6].

4.5.1.2.1. Armónicos

La desviación de una onda sinusoidal pura y simple puede expresarse como ondas de frecuencia sinusoidal adicionales que son un múltiplo de la frecuencia generada. Estas ondas con frecuencias adicionales son conocidas como armónicos.

Debido a que los generadores trifásicos son magnéticamente simétricos, lo que resulta en la cancelación de armónicos regulares, sólo los armónicos irregulares son normalmente irrelevantes. Por ejemplo, una onda cuya frecuencia fundamental es de 60

Hz, tendrá un segundo armónico a 120 Hz, un tercero a 180 Hz y así sucesivamente. En general, cuanto mayor sea el orden del armónico, menor será su magnitud.

La Distorsión Armónica Total (THD) es la medición de la suma de todos los armónicos. La mayoría de cargas operan con un THD de 15% a 20%. Sin embargo, las cargas con equipos electrónicos sensibles pueden desarrollar problemas con un THD mayor a 5%.

Las cargas no lineales generan corrientes armónicas. Dichas corrientes provocan problemas de control y calentamiento interno del generador, lo cual limita su capacidad. Los generadores están diseñados para proporcionar una salida determinada a frecuencias nominales de 60 Hz. Se puede presentar que un generador transmita menos de su corriente nominal y aun así presente sobrecalentamiento en sus devanados debido a las corrientes armónicas generadas por las cargas no lineales.

En casos donde las cargas no lineales provocan mayor calentamiento del generador, generalmente se usan dos técnicas para compensar dicho problema. La reducción de potencia es un método y usar un generador de mayor tamaño es el otro [6].

4.6. Sistema de escape

El sistema de escape de un vehículo es el que se encarga de expulsar todos los residuos al momento de darse la combustión en el motor, incluyendo los gases generados. Todo proceso de combustión genera residuos que se producen por diferentes motivos. Por ejemplo, cuando la combustión no se produce completamente, se generan residuos “no quemados” que deben ser expulsados de la cámara de combustión para repetir el proceso.

Como el proceso de combustión en el motor es cíclico, ello conlleva a que se generen residuos de manera continua, por lo que dicho sistema adquiere un rol fundamental dentro del desempeño del motor. La relevancia del sistema de escape radica en el tamaño de la tubería, pues si es muy grande, los cilindros y toda la cavidad de la recámara se vaciarán con mayor facilidad y rapidez, lo cual aumenta la potencia del motor, al igual que su calentamiento y consumo de combustible. Mientras que, si el diámetro de la tubería es muy pequeño, el proceso de combustión se hará cada vez menos eficiente, pues se obstruirá la cámara de combustión con los desechos generados [5].

4.6.1. Partes del sistema de escape

- Colector de escape.

- Silenciador.
- Conductos de evacuación.
- Sujetadores de tubería.

4.6.2. Contrapresión

El sistema de escape produce una cierta resistencia al paso del gas de escape. Esta contra-presión, o presión de retorno, tiene que quedar dentro de unos límites específicos. Una contra-presión demasiado elevada produce:

- Una pérdida de potencia.
- Un aumento de consumo de combustible.
- Una temperatura de escape demasiado elevada.

Estas condiciones de trabajo entrañan un sobre calentamiento y humos excesivos, esto reduce la longevidad de las válvulas y turbo-compresor. La contra-presión máxima viene dada por el fabricante del motor. Para medir esta contra-presión se utiliza un manómetro, se mide a potencia máxima y en la brida de salida del turbo-compresor.

Generalmente, para aliviar la contra-presión del sistema de escape se incrementa el diámetro de la tubería en una parte de su recorrido o por completo de ser necesario [9].

4.7. Insonorización

Los grupos electrógenos pueden llegar a ser considerablemente ruidosos, lo cual debe ser tomado en cuenta para su ubicación final. Actualmente en Colombia existe la Resolución 0627 del 2006, que es la encargada de definir los niveles máximos de emisiones de ruido tolerables según el recinto. Lo anterior conlleva a que se deban tomar medidas para atenuar suficientemente el ruido generado por la planta, de forma que no se viole la norma. El concepto de insonorización entonces, como su nombre lo indica, consiste en una serie de procedimientos e intervenciones que se realizan ya sea sobre el mismo grupo electrógeno o en el espacio donde éste es ubicado, en aras de disminuir los niveles de ruido emitidos [8].

Algunos métodos de insonorización son:

- Cubrimiento de muros y techo con material atenuante de ondas sonoras (generalmente espumoso).
- Utilización de trampas de aire a la entrada y salida de aire caliente de la planta.
- Encerrar la planta en una cabina especial insonora.
- Uso de silenciadores en el sistema de escape.

5. Metodología

- i. Se estudia la sintaxis, funciones y métodos principales que maneja el lenguaje de programación VBA, junto con las fórmulas más utilizadas en Microsoft Excel.
- ii. Se analiza y se comprende la primera versión del programa sobre el cual se va a trabajar de forma que se comprenda el funcionamiento de los diferentes módulos y macros para su posterior modificación y optimización.
- iii. Se desarrolla la etapa del programa en la que se calcula y se cotiza la canalización de los diferentes circuitos utilizados en la instalación de la planta para todos los posibles escenarios.
- iv. Se desarrolla la etapa del programa en la que se hacen los cálculos y corrección de la contrapresión del sistema de escape de la planta.
- v. Se desarrolla la etapa del programa en la que se hace la cotización de toda la mano de obra concerniente a la logística de traslado e instalación del grupo electrógeno.
- vi. Se optimizan los diferentes módulos creados previamente para cálculos de circuitos ramales y acometidas, como también la elaboración de la APU de toda la instalación.
- vii. Se desarrolla el módulo que calcula la base de concreto para la planta según las condiciones dadas.
- viii. Se desarrolla el módulo que permite consignar las memorias de cálculo del programa y almacenarlas en la ruta deseada.
- ix. Se analiza la posibilidad de agregar procedimientos más avanzados para llevar a cabo cálculos de mayor precisión abarcando todos los posibles casos que se puedan presentar a la hora de calcular y cotizar un grupo electrógeno junto con su instalación.

6. Explicación de la macro de Excel

Se crea una herramienta en Microsoft Excel, haciendo uso de programación en Visual Basic for Applications y de hojas de cálculo. Dicha herramienta requiere de una información específica de entrada, especificando requerimientos técnicos y generales, los cuales son solicitados por el cliente. La herramienta lee la información de entrada y posteriormente, por medio de manipulación de bases de datos almacenadas en las hojas de cálculo, procede a realizar filtrados y diferentes cálculos de forma que seleccione los materiales necesarios junto con sus cantidades, para entregar una cotización precisa de la instalación del grupo electrógeno en un formato formal.

6.1. Información de entrada

6.1.1. Datos para el cálculo eléctrico

En primera instancia, se piden datos como la tensión a la cual trabajará la máquina (si es trifásica o monofásica), la referencia de acuerdo a nuestra base de datos de la empresa, que implícitamente se traduce en la potencia que se va a entregar. También se pide la distancia del circuito alimentador, pues con ésta se calcula la regulación para escoger el conjunto de conductores idóneos según NTC 2050.

INFORMACIÓN DE ENTRADA			
Seleccione la tensión [V]=	Trif-120/208VAC	Potencia en [kVA]=	200,0
Actualizar generadores	Seleccione el gen- GDC300-LSY	GENERADOR DIÉSEL ENERMAX 351kVA TRIF(127/220Vac-60hz)1800rpm ABIERTO ALT LEROY-S	
	Distancia cto alimentador [m]=	15	Se instalará puesta a tierra: Si

Fig 1. Información de entrada para cálculo del circuito alimentador.

6.1.2. Datos de la ubicación

Se ingresa también la información sobre la región geográfica en la que va a operar la planta. Se escoge una ciudad (a nivel nacional), para internamente extraer datos como la temperatura media, la altura sobre el nivel del mar y la humedad relativa. Todo lo anterior sirve para determinar si la planta debe entregarse con cabina, o si es necesario derratear la potencia de la misma cuando opera a más de 1000 m sobre el nivel del mar.

Calcular alimentador independiente	Lugar de instalación:	Bogotá	Temp media de la población [°C]	14
			Altura sobre el nivel del mar [m]=	2600
			Humedad relativa de la población	85%

Fig 2. Datos de la ubicación del grupo electrógeno.

6.1.3. Características del sistema de escape

El programa también permite calcular el costo del sistema de escape con base en una información básica, como la longitud que tendrá, la cantidad de curvas, la longitud del revestimiento térmico cuando se necesita, y la cantidad de tubos flexibles adicionales que se requieran. También hay una macro creada para hacer cálculos de contra-presión en el sistema de escape, pues cuando las distancias son considerables, se puede generar contra-presión por fuera de los límites permitidos por el motor, lo cual reduce su vida útil. La contra-presión es calculada con base en la distancia total del sistema de escape, el número de codos y de tubos flexibles. Cuando sobrepasa los límites permitidos por el motor, calcula de nuevo la contra-presión con mitad del tramo de un diámetro mayor, sucesivamente hasta que el sistema cumple. Cuando se termina el cálculo, la macro automáticamente agrega las cantidades correspondientes al APU según los resultados.

Corregir contrapresión		La contrapresión está bien.		Diámetro del mofle [pulg]	5
				Distancia total del mofle [m]=	3
Lleva tubería de escape de gases	Si			Cantidad de curvas a instalar=	2
Tipo de silenciador	Grado Crítico			Aislamiento térmico (en el recorrido incluye chaqueta de protección) [m]=	5
Lleva silenciadores en serie?	No			Cantidad de flexibles (adicionales)=	0

Fig 3. Información del sistema de escape.

6.1.4. Requerimientos de insonorización

En caso de requerir insonorización, se ingresan los métodos a utilizar, como la inclusión de trampas de aire, el cubrimiento de muros y techo con material especial que atenúa ondas sonoras (black theater) o el uso de una cabina especial insonora para la planta. Para el recubrimiento de muros y techo se debe ingresar el área total a cubrir, pues generalmente se cobra por metro cuadrado. Para la cabina se debe especificar el material.

LLEVA TRAMPAS DE AIRE FRÍO -entrada- ducto enfocador alternador	Si	Área radiador=	1,3
		Distancia del alternador a la pared (m)=	1
LLEVA TRAMPAS DE AIRE CALIENTE -salida- ducto enfocador radiador	Si	Área radiador=	1,3
		Distancia del radiador a la pared (m)=	1
LLEVA INSONORIZACIÓN DE CUARTO DE MÁQUINAS?	Si	Área total de muros y techos a insonorizar (m2)=	70
		Seleccione el tipo de Puerta:	Doble
		Seleccione el tipo de cabina:	Insonora
Lleva cabina especial?	Si	Seleccione el material:	Cold Rolled
		Seleccione el peso:	

Fig 4. Información de la insonorización.

6.1.5. Sistema de alimentación de combustible

Generalmente los grupos electrógenos vienen de fábrica con una base-tanque para que tengan una autonomía mínima de aproximadamente ocho horas. No obstante, el cliente

a veces puede necesitar de un tiempo mayor, lo que hace necesario que se instalen tanques de combustible adicionales, cuya capacidad se calcula con base en el consumo de combustible del motor a plena carga y la autonomía deseada. La instalación del tanque externo de combustible incluye la tubería de alimentación de combustible a la planta y sus respectivas válvulas, soportes y accesorios. También se especifica la disposición del tanque (vertical u horizontal), la cantidad de tubería de conducción de ACPM según el diámetro requerido, y la inclusión de un spill container, que es un artefacto que previene derrames de combustible.

TANQUE DE COMBUSTIBLE	Si	Capacidad de tanque de combustible (gal)	50
		Tipo de tanque (Htzal, Vertical)	Horizontal
		Metros de tubería conducción ACPM 1'	10
		Metros de tubería conducción ACPM 1.5'	0
		Metros de tubería conducción ACPM 2'	0
		Spill Container	Si

Fig 5. Información del sistema de combustible.

6.1.6. Mano de obra

En este segmento se ingresan las especificaciones en cuanto a la mano de obra necesaria para el proyecto. Se selecciona un número de días aproximado para la instalación, si se requieren técnicos (pareja), SISO (persona encargada de la salud y seguridad en la obra), ingeniero residente, técnico residente (para los casos en los que no se pueden enviar técnicos propios), alimentación, viáticos y director de obra. Los costos asociados se ven reflejados en elAPU.

MANO DE OBRA	Si	Pareja técnicos	Si
		Siso	No
		Ing. Residente	No
		Tec. Residente	No
		Alimentación	Si
		Viáticos	Si
		Director	No

Días estimados para la instalación: 3

Fig 6. Información sobre la mano de obra.

6.1.7. Logística de traslado

Para la logística de traslado de la planta se tienen varias opciones dependiendo de la complejidad de las maniobras a realizar para el ingreso. Cuando el acceso es fácil, basta con un montacargas que resista el peso de la máquina. Cuando las condiciones para bajar la planta del camión que la transporta son complicadas, se opta entonces por una grúa con camabaja. Cuando es incluso más complicado, especialmente por el tema de

alturas, se recurre al uso de una grúa PH. Sin embargo, esta opción es la que presenta la mayoría de restricciones, como permisos de uso de vía pública, permisos ambientales, etc. También se cotiza el uso de otras herramientas como andamios certificados y ayudas mecánicas como gatos hidráulicos y demás.

Uso de otros equipos necesarios	<input checked="" type="checkbox"/> Sí	Transporte al sitio (*): \$	750.000
	<input checked="" type="checkbox"/> Sí	Costo por hora del montacargas (\$/hora)	90.000
	<input checked="" type="checkbox"/> Sí	Uso de PH (día): \$	2.500.000
	<input checked="" type="checkbox"/> Sí	Costo de andamios certificados (semana): \$	1.000.000
	<input checked="" type="checkbox"/> Sí	Costo ayudas mecánicas (o equipo) (día): \$	93.000
	<input checked="" type="checkbox"/> Sí	Costo permisos uso vía pública (\$): \$	47.500

Fig 7. Información sobre el traslado de la planta.

6.1.8. Información para el cálculo del ducto del circuito alimentador

Se ingresa información como el tipo de edificación en la cual estará la planta, ya sea comercial o industrial, pues de eso depende si se puede instalar bandeja porta cables o canastilla. También se debe especificar el medio por el cual estará inmerso el circuito, pues de éste depende el tipo de tubería a utilizar. Se ingresa la longitud del circuito y el número aproximado de curvas. Adicionalmente se requiere el número de cambios de medio para calcular la cantidad de cajas de empalme. Cuando el programa calcula la cantidad de conductores y estos ocupan un área mayor a la permitida en la tubería comercial más grande, selecciona bandeja o canastilla, y pide se especifique la cantidad de las diferentes curvas.

Cxto de potencia:	Canalización por tubería	Cantidades	Canalización por canaleta o bandeja	Número de cambios de medio
	Longitud de la instalación (m) =	10		0
	Número de curvas de la instalación (un) =	3		
Tipo de instalación:				Nota: es el número de veces que se cambia de un tipo de tubería a otra.
Industrial/Comercial				
Medio de la instalación:				
Interiores				
Nota: por subterráneo, también se entiende la instalación que vaya empotrada. Si tiene tramos diferentes tanto subterráneos como empotrados, ingrese la longitud total y el número de curvas total.			Nota: para ductos que puedan estar expuestos a daños físicos como golpes y demás, considere utilizar protección especial.	

Fig 8. Información sobre la canalización del circuito.

6.1.9. Información para el cálculo de circuitos de control y servicios auxiliares

Finalmente, se recoge la información para el cálculo de los circuitos de control y servicios auxiliares de la planta. El circuito de control es el que va desde el grupo electrógeno hasta la transferencia, y es el que se encarga de conectar el módulo de control de la planta a ésta. El circuito de servicios auxiliares se encarga de energizar el cargador de

baterías del grupo electrógeno y el precalentador, y se conecta desde la planta al tablero de distribución más cercano. Por todo lo anterior, se requiere de la información observada en Fig9.

¿La transferencia y el tablero están en el mismo punto?	Sí
Distancia desde la planta al tablero más cercano [m]=	15
Medio de la instalación:	Interiores
Número de curvas=	2
Distancia desde la planta a la transferencia [m]=	12
Medio de la instalación:	Exteriores
Número de curvas=	3
Tipo de protección:	Breaker enchufable
Cxto de control:	
Distancia desde la transferencia al tablero más cercano a la planta [m]=	10
Medio de la instalación:	Exteriores
Número de curvas=	1

Fig 9. Información sobre circuitos de control y servicios auxiliares.

6.1.10. Requerimientos especiales

Ocasionalmente el cliente también puede requerir ítems como: monitoreo remoto, fabricación e instalación de encerramiento con malla eslabonada, dique contenedor de líquidos, sincronismos, etc. Dichos ítems se cotizan por aparte como un adicional a lo que entrega el programa y se agregan manualmente al formato de cotización final.

7. Procedimiento de cálculo del programa

7.1. Creación del consecutivo

El primer paso al momento de utilizar el programa es la creación de un consecutivo, que es el código con el cual se guarda la cotización con el fin de generar una trazabilidad y poder llevar a cabo análisis estadísticos. Se pide información general del cliente, luego información del proyecto, con especificaciones técnicas, y finalmente algunas notas especiales en caso de ser necesario.

Datos de la cotización ×

Asesor comercial:

Información del cliente

Cliente:

Contacto:

Teléfono:

Correo electrónico:

Información del proyecto

Proyecto:

Ubicación:

Referencia planta:

Tipo de planta:

Voltaje:

Transferencia:

Especificaciones especiales:

Fig 10. Formulario con información básica del proyecto.

7.2. Cálculo del circuito alimentador de potencia

Se tiene una hoja de cálculo de Excel que es la que ejecuta los cálculos del “racimo” de conductores óptimo para el circuito. Se calcula con base en la potencia nominal del grupo electrógeno, el voltaje de operación, la distancia total que abarcará el circuito, el tipo de ducto por el cual irá canalizado (para calcular la impedancia de los conductores, pues ésta depende del material del ducto). También se aplican factores de agrupamiento y de temperatura en la corriente resultante. Con toda la información anterior, se calcula la regulación de tensión y el costo total que tendría el circuito. Es un procedimiento iterativo, pues se tiene todas las posibles opciones según calibre de conductor y cantidad de hilos por fase, de forma, que se calcula la regulación para cada caso y se selecciona al final la opción que cumple norma y que sea más económica.

Planta kVA	Sistema	Datos de entrada		CÁLCULOS DEL CIRCUITO ALIMENTADOR			
200	Trifasico	Voltaje de Operacion (V L-L)=	208	para FASE	% factor NTC2050 (25% más Incluido en Stby)	556,0	Amperios
Corriente STANDBY	escribir	Corriente nominal (A)=	556		Cable recomendado x Fase	2x300	KCM
556		Temp. Min Aislam Cable (°C)=	75°		Caida actual de voltaje	0,91	Voltios (en fase)
Volver a Inicio		Temperatura ambiente (°C)=	21-25°C		Regulación Actual	0,76%	OK
CANALIZACIÓN		Longitud de cable (m)=	15,0	para NEUTRO	70% x (1 fase)	389,2	Amperios
DUCTO		Regulación aceptable (%)=	3,0%		Cable recomendado x Neutro	2x250	KCM
		Caida Vf a 0m (máxima para reg)	3,60		Caida actual de voltaje	0,71	Voltios ("en fase")
					Regulación Actual	0,59%	OK
				para TIERRA	Cable recomendado	1x0	KCM
				Conductores puestos a tierra. Un conductor puesto a tierra no debe tener una sección menor de la exigida por el Artículo 250-23.b).			
Descripción del conductor calculado=				3x(2x300)F + (2x250)N + (1x0)T			

Fig 11. Datos para cálculo de circuito alimentador.

Capacidad de Corriente NTC2050 (Tabla 310-10) pag 182 Hasta 3 con portadores de corriente por canalización			FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3	FACTOR 4	FACTOR Total	Corriente neta capaz de conducir	TÉCNICAS				Caida de voltaje en la carga al final cada cable
1	900	520	1	1	1	1,05	1,05	546,0	1x900	KCM	0,060195057	0,50	
1	800	490	1	1	1	1,05	1,05	514,5	1x800	KCM	0,063255610	0,53	
1	750	475	1	1	1	1,05	1,05	498,8	1x750	KCM	0,149620000	1,25	
1	700	460	1	1	1	1,05	1,05	483,0	1x700	KCM	0,192800427	1,61	
1	500	380	1	1	1	1,05	1,05	399,0	1x500	KCM	0,170580000	1,42	
1	400	335	1	1	1	1,05	1,05	351,8	1x400	KCM	0,188320000	1,57	
1	350	310	1	1	1	1,05	1,05	325,5	1x350	KCM	0,200800000	1,67	
1	300	285	1	1	1	1,05	1,05	299,3	1x300	KCM	0,218460000	1,82	
1	250	255	1	1	1	1,05	1,05	267,8	1x250	KCM	0,244120000	2,04	
1	0000	230	1	1	1	1,05	1,05	241,5	1x0000	KCM	0,265740000	2,22	
1	000	200	1	1	1	1,05	1,05	210,0	1x000	KCM	0,283960000	2,37	
1	00	175	1	1	1	1,05	1,05	183,8	1x00	KCM	0,368800000	3,08	
1	0	150	1	1	1	1,05	1,05	157,5	1x0	KCM	0,427200000	3,56	
1	2	115	1	1	1	1,05	1,05	120,8	1x2	KCM	0,637160000	5,31	
1	4	85	1	1	1	1,05	1,05	89,3	1x4	KCM	0,931820000	7,77	
1	6	65	1	1	1	1,05	1,05	68,3	1x6	KCM	1,412080000	11,78	
1	8	50	1	1	1	1,05	1,05	52,5	1x8	KCM	2,175260000	18,14	
1	10	35	1	1	1	1,05	1,05	36,8	1x10	KCM	3,273620000	27,30	
1	12	25	1	1	1	1,05	1,05	26,3	1x12	KCM	5,383220000	44,90	
1	14	20	1	1	1	1,05	1,05	21,0	1x14	KCM	8,280180000	69,06	
1	16	10	1	1	1	1,05	1,05	10,5	1x16	KCM	12,600000000	105,08	
1	18	8	1	1	1	1,05	1,05	8,4	1x18	KCM	30,800000000	256,87	

Fig 12. Hoja de cálculo con datos de conductores.

COSTO Cable hilos x fase	Descripción de cable	AWG kcmil	Corriente neta capaz de conducir	Referencia terminal	Costo de terminales	SE PUEDE USAR COLOR?
\$ 150.000	1x800	800	514,5	TOJOCU800-5-12	\$ 35.001	NE
\$ 119.949	1x750	750	498,8	TOJOCU750-5-12	\$ 35.000	NE
\$ 80.000	1x700	700	483,0	TOJOCU700-5-12	\$ 30.000	NE
\$ 80.112	1x500	500	399,0	TOJOCU500-5-12	\$ 17.912	NE
\$ 62.219	1x400	400	351,8	TOJOCU400-5-12	\$ 11.782	NE
\$ 53.953	1x350	350	325,5	TOJOCU350-5-12	\$ 10.509	NE
\$ 45.956	1x300	300	299,3	TOJOCU300-5-12	\$ 10.509	NE
\$ 38.693	1x250	250	267,8	TOJOCU250-5-12	\$ 8.620	NE
\$ 32.038	1x0000	0000	241,5	TOJOCU0000-5-12	\$ 8.620	NE
\$ 27.121	1x000	000	210,0	TOJOCU000-5-12	\$ 5.870	NE
\$ 20.462	1x00	00	183,8	TOJOCU00-5-12	\$ 5.870	NE
\$ 16.366	1x0	0	157,5	TOJOCU0-5-12	\$ 3.904	NE
\$ 10.016	1x2	2	120,8	TOJOCU2-5-12	\$ 2.480	NE
\$ 6.458	1x4	4	89,3	TOJOCU4-5-12	\$ 1.756	NE
\$ 4.186	1x6	6	68,3	TOJOCU6-5-12	\$ 1.756	ok color
\$ 2.708	1x8	8	52,5	TOJOCU8-5-12	\$ 1.756	ok color
\$ 1.826	1x10	10	36,8	TOJOCU10-5-12	\$ 1.756	ok color
\$ 1.262	1x12	12	26,3	TOJOCU12-5-12	\$ 1.715	ok color
\$ 883	1x14	14	21,0	TOJOCU14-5-12	\$ 271	ok color

Fig 13. Costos de conductores según calibre y cantidad.

7.3. Cálculo de la transferencia

Dicho cálculo se efectúa almacenando las variables con las características eléctricas que debe tener la transferencia y luego haciendo un filtrado por columnas empezando por la corriente, tipo de conmutador (interruptor, contactor, doble tiro), tipo de operación (manual o automática) y por número de fases del sistema. El último paso consiste en seleccionar la más económica comparando los precios de las referencias que arroje el filtrado.

Todo el procedimiento de filtrado se ejecuta con la ayuda del comando Autofilter, cuya sintaxis es la siguiente:

expression.AutoFilter (*Field*, *Criteria1*, *Operator*, *Criteria2*, *SubField*, *VisibleDropDown*)

de donde:

- **Field:** es un número entero en el cual se basa el filtrado, tomado desde la primera columna de izquierda a derecho en un rango de celdas.
- **Criteria1/criteria2:** Es una cadena especificando el tipo de comparación que se quiere hacer. Por ejemplo “=” es para encontrar celdas en blanco.
- **Operator:** es simplemente una condición lógica (and/or).
- **SubField:** es la clasificación del tipo de datos sobre el que se hará el filtrado.
- **VisibleDropDown:** permite visualizar o no la “flechita” que indica que se está llevando a cabo un filtrado [7].

Ejemplo de aplicación del comando:

ActiveSheet.Range("\$A\$3:\$S\$600").AutoFilter *Field:=5, Criteria1:=CStr(FiltroSIS),*
*Operator:=xlOr, Criteria2:="=*Ambos*"*

“ActiveSheet.Range(“(\$A\$3:\$S\$600”).AutoFilter” es para generar un filtrado en un rango de celdas específico en la hoja de Excel que esté activa en ese momento, es decir,

se activa la opción de filtro. Como “Field” es igual a 5, quiere decir que el filtrado se hará en relación a los valores que contenga la quinta columna. “FiltroSIS” es una variable que contiene el tipo de sistema según el número de fases, es decir “Trifásico” o “Monofásico”, de forma que el primer criterio es que el valor que se esté analizando sea igual a alguna de estas dos opciones. Hay una segunda condición, pues el operador es un “OR”, lo que quiere decir puede ser igual al primer criterio o al segundo, que en este caso sería “Ambos”, para ambos sistemas.

RANGO [-] JA ACT	REFERENCIA	Contactador marca		SISTEMA	POLOS	HILOS	CORRIEN TE ACT	CORRIEN TE ACS	POSIBLES TENSIONES DE TRABAJO	AJUSTE TENSIO N NOMINA L	POTEN CIA MAX NOMINA L	Peso	Ancho	Alto	Profundidad	COSTO EYP	COSTO DE TRFCE-2 (VEL @440)
	rEF	m.c	Descripción	Mono o Tri	2 o 3	4 o 5	[-]JA	[-]JA	[-]Vao	[-]Vao	[-]VVA	[-]kg	[-]cm	[-]cm	[-]cm	[+] \$ CCL @ 6 JUNIO 2017	[+] \$ COL @ 13SEP 2018
25	PA0025ABB020101001	ABB	Transferencia con contactores ABB de 25AC103AC3 *YAC	Ambos			25	9	*YAC	*	9,0	18		50x30x20		1100000	1220000
28	PA0028ABB020101002	ABB	Transferencia con contactores ABB de 28AC103AC3 *YAC	Ambos			28	12	*YAC	*	10,0	18		50x30x20		1150000	1270000
30	PA0030ABB020101003	ABB	Transferencia con contactores ABB de 30AC103AC3 *YAC	Ambos			30	16	*YAC	*	11,0	18		50x30x20		1300000	1420000
45	PA0045ABB020101004	ABB	Transferencia con contactores ABB de 45AC103AC3 *YAC	Ambos			45	26	*YAC	*	17,0	24		60x40x20		1550000	1675000
50	PA0050ABB020101005	ABB	Transferencia con contactores ABB de 50AC103AC3 *YAC	Ambos			50	32	*YAC	*	19,0	24		60x40x20		1800000	1925000
70	PA0070ABB020101006	ABB	Transferencia con contactores ABB de 70AC103AC3 *YAC	Ambos			70	40	*YAC	*	26,0	24		60x40x20		2100000	2225000
100	PA0100ABB020101007	ABB	Transferencia con contactores ABB de 100AC103AC3 *YAC	Ambos			100	53	*YAC	*	38,0	24		60x40x20		2200000	2325000
105	PA0105ABB020101008	ABB	Transferencia con contactores ABB de 105AC103AC3 *YAC	Ambos			105	65	*YAC	*	40,0	24		60x40x20		2500000	2625000

Fig 14. Datos para cálculo de la transferencia.

7.4. Selección de la tubería de escape

En principio, la tubería de escape se calculaba simplemente teniendo en cuenta la distancia total y el número de curvas, pues el diámetro se conocía implícitamente al seleccionar la referencia del grupo electrógeno. Sin embargo, se debe hacer un análisis de la contra-presión aproximada que se puede generar en la tubería de escape a causa de su longitud y accesorios, pues cuando ésta supera los niveles máximos tolerados por el motor, puede reducir considerablemente la vida útil de la máquina. Se requiere información técnica específica del motor según su fabricante, como el caudal de gases y la máxima contra-presión con el fin de hacer el cálculo y tener un punto de referencia para comparar. Se hace uso de tablas con datos de contra-presión generada proporcionalmente según el tipo de accesorio, la cantidad y el diámetro de la tubería, de forma que se calcula el “aporte” que hace cada elemento y se obtiene un total, el cual es comparado con la máxima soportada por el motor.

Cuando efectivamente la contra-presión en el sistema es mayor a la máxima, se recalcula asumiendo un diámetro de tubería mayor comercialmente y se promedia con la resultante del diámetro original. Si dicho promedio cumple, se reemplaza la mitad del tramo de la tubería por la que le sigue en tamaño por medio de un acople, sino, se repite el procedimiento con el diámetro siguiente. En ocasiones no basta con instalar medio tramo de un diámetro mayor, así que se lleva a cabo toda la instalación con dicho diámetro.

CONTRAPRESIÓN DEL SISTEMA DE ESCAPE

Diámetro tubo [in]	Diámetro tubo [ft]	Área [ft ²]
5	0,4166665	0,136353739
Flujo de gases del motor [CFM = ft ³ /min]		2656
Velocidad de los gases de escape [ft/min]		19479
		Grado Industrial Grado Residencial Grado Crítico
Contrapresión del sistema de escape [in-H2O]		17,81 22,20 27,79
Contrapresión de la tubería de escape por pie de 2 a 16 pulgadas		0,357
Longitud equivalente de los codo 90° grande		8,5 6,069
Longitud equivalente del flexible		4 1,428
Contrapresión del silenciador		27,79 27,79
Contrapresión de la tubería de escape		3,51288
Contrapresión total [inH2O]		38,79988

Modelo Motor	NTA855-G1
Contrapresión máxima [inH2O]	40,7853373
Longitud del escape [m]	5
Diámetro siguiente	6

El sistema cumple con los límites de contrapresión permitidos.	
---	--

Fig 15. Hoja de cálculo de contra-presión del sistema de escape.

TIPO DE ACCESORIO	MEDIDA NOMINAL DEL TUBO PULGADAS (MILIMETROS)														in	
	Und	2	2,5	3	3,5	4	5	6	8	10	12	14	15	18		mm
		50,8	63,5	76,2	88,9	101,6	127	152,4	203,2	254	304,8	355,6	381	457,2		
Codo 90° Estandar	ft	5,2	6,2	7,7	9,6	10	13	15	21	26	32	37	42	47	ft-long mm	
		1,6	1,9	2,3	2,9	3	4	4,6	6,4	7,9	9,8	11,3	12,8	14,3		
Codo 90° Medio	ft	4,6	5,4	6,8	8	9	11	13	18	22	26	32	35	40	ft-long mm	
		1,4	1,6	2,1	2,4	2,7	3,4	4	5,5	6,7	7,9	9,8	10,7	12,2		
Codo 90° grande	ft	3,5	4,2	5,2	6	6,8	8,5	10	14	17	20	24	26	31	ft-long mm	
		1,1	1,3	1,6	1,8	2,1	2,6	3	4,3	5,2	6,1	7,3	7,9	9,4		
Codo 45°	ft	2,4	2,9	3,6	4,2	4,7	5,9	7,1	6	8	9	17	19	22	ft-long mm	
		0,7	0,9	1,1	1,3	1,4	1,8	2,2	1,8	2,4	2,7	5,2	5,8	6,7		
Te Entrada o salida lateral	ft	10	12	16	18	20	25	31	44	56	67	78	89	110	ft-long mm	
		3	3,7	4,9	5,5	6,1	7,6	9,4	13	17	20	23,8	27,1	33,5		
Tubo Flexible	ft	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	ft-long mm	
		1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2		

Fig 16. Aporte de contra-presión según el tipo de codo.

7.5. Selección insonorización

7.5.1. Trampas de aire

Las trampas de aire se seleccionan dependiendo de la potencia de la máquina. De esa forma se tiene un estimado de la cantidad de aire que deben recibir y la que debe ser expulsada por el radiador, pues permite una cotización ágil cuando se requiere. Sin embargo, lo ideal es conocer las dimensiones del cuarto de la máquina, del acceso de aire fresco (ya sea puerta o ventana) y de la cavidad por donde se expulsa el aire caliente.

7.5.2. Recubrimiento de muros y techos

Éste simplemente se calcula conociendo el área total a cubrir (área de paredes y techo), pues generalmente se cotiza por metro cuadrado.



Fig 19. Láminas de espuma (Black Theater).

7.6. Selección del sistema de alimentación de combustible

Se selecciona un tanque de combustible según la capacidad requerida por el cliente de una hoja de cálculo con los costos según el tamaño. También se calcula el costo de la tubería de alimentación de combustible según el calibre requerido y la longitud, de manera similar a como se hace con el tanque. Finalmente se incluye el spill container si el cliente así lo desea, cuyo costo también se extrae directamente de una hoja de cálculo.

7.7. Cálculo estimado de la mano de obra

Se hace un cálculo estimado asumiendo el número de días y personal requeridos. Cabe aclarar que el protocolo real consiste en hacer una visita al sitio de instalación de forma que se contemplen todas las posibles necesidades.

7.8. Cálculo estimado de los costos de traslado y ubicación en sitio

Dicho cálculo consiste en analizar todas las posibles ayudas requeridas al momento de desplazar la máquina. Es clave conseguir fotos y vídeos del acceso al sitio, pues por lo general éste es un procedimiento complicado ya que involucra maniobras con equipos

de mucho peso. Cuando el ingreso resulta sencillo, basta con ingresar el grupo electrógeno con un montacargas acorde a su peso. Sin embargo, también se dan situaciones en las que se hace necesario el uso de grúas cama baja o PH, cuando la altura representa uno de los obstáculos.



Fig 20. Grúa cama baja.



Fig 21. Grúa PH.

7.9. Cálculo de la canalización de circuitos

Los ductos para el circuito alimentador de potencia se calculan con base en el área total que ocupa el “racimo” de conductores (transversalmente). De la tabla 310-16 de la NTC 2050 se obtienen las áreas transversales correspondientes a cada calibre de conductor,

de manera que al conocer los calibres a utilizar se puede calcular el área total que ocupan. Luego, se calcula el factor de ocupación respecto a las áreas de tuberías comerciales y se escoge el diámetro para el cual dicho factor sea igual o menor a 0.4.

$$\text{Factor de ocupación} = \frac{\text{Área transversal del ducto}}{\text{Área total de los conductores}}$$

El criterio del 40% de ocupación máxima de la tubería viene de la norma NTC 2050 capítulo 9. Dicho criterio se aplica cuando 2 o más conductores van canalizados por el mismo ducto. No obstante, debido a la constante manipulación de los conductores (especialmente en las curvas), se generan irregularidades en la superficie de su aislamiento, de forma que pueden llegar a ocupar un poco más espacio del previsto. Debido a lo anterior, para este caso particular, los cálculos se hacen con un factor de ocupación del 30%.

Cuando la potencia es de una magnitud tal que las tuberías no proveen suficiente espacio, se ejecutan los cálculos con bandejas porta cables o canastillas, respetando las disposiciones de los conductores sugeridas por la norma.

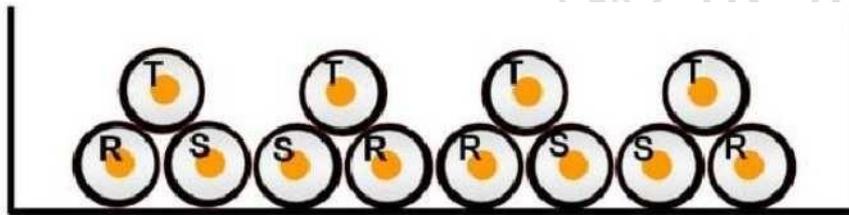


Fig22. Ejemplo de distribución correcta de conductores en bandeja porta cables para un circuito trifásico.

7.10. Cálculo de los circuitos de control y servicios auxiliares

El procedimiento es muy similar al del cálculo del circuito alimentador de potencia. La diferencia es que las distancias varían, pues una de las conexiones es entre el módulo de control de la planta y la transferencia, y la otra es entre la planta y el tablero de distribución más cercano. Con las distancias se calculan las cantidades de cable, tubería y curvas. Con el tipo de medio en el cual está inmerso el circuito, se determina si debe ser tubería EMT (interiores), IMC (exteriores) y PVC (subterránea o empotrada). Hay ocasiones en las que la transferencia y el tablero más cercano se encuentran en el mismo punto, de forma que todos los circuitos pueden ir canalizados en paralelo, lo que simplifica el cálculo de las cantidades. Cabe aclarar que todas estas instalaciones siguen lo sugerido por la norma técnica colombiana y el reglamento técnico de instalaciones eléctricas, respetando distancias y tomando en cuenta factores de seguridad y demás.

8. APU

El programa posee una hoja de cálculo dedicada a la elaboración del APU, la cual contiene todos los posibles materiales requeridos en la instalación, con sus respectivos precios y descripciones. Luego de que todas las cantidades necesarias son calculadas, el programa internamente las traslada a la hoja del APU. Allí, a partir de fórmulas, se calculan los subtotales por cada ítem y un gran total con el precio final de la instalación. Posteriormente, se ejecuta una macro que realiza un filtrado por ítems, y traslada los subtotales con sus respectivas descripciones al formato final, aplicando la rentabilidad asignada por el área comercial.

REFERENCIA	DESCRIPCIÓN		CANTIDAD	COSTO Unitario	Costo Total
TUBPVC3,5in-3m	TUBERIA PVC 3 1/2 Pulgadas x 3m	Potencia	4	\$ 23.704	\$ -
TUBPVC4in-3m	TUBERIA PVC 4 Pulgadas x 3m			\$ 29.482	\$ 117.928
CURPVC0,5in-un	CURVA PVC 1/2 Pulgadas x un			\$ 1.200	\$ -
CURPVC0,75in-un	CURVA PVC 3/4 Pulgadas x un			\$ 1.200	\$ -
CURPVC1in-un	CURVA PVC 1 Pulgadas x un	Potencia	3	\$ 1.200	\$ -
CURPVC1,25in-un	CURVA PVC 1 1/4 Pulgadas x un			\$ 1.200	\$ -
CURPVC1,5in-un	CURVA PVC 1 1/2 Pulgadas x un			\$ 1.200	\$ -
CURPVC2in-un	CURVA PVC 2 Pulgadas x un			\$ 1.200	\$ -
CURPVC2,5in-un	CURVA PVC 2 1/2 Pulgadas x un			\$ 1.200	\$ -
CURPVC3in-un	CURVA PVC 3 Pulgadas x un			\$ 1.200	\$ -
CURPVC3,5in-un	CURVA PVC 3 1/2 Pulgadas x un			\$ 1.200	\$ -
CURPVC4in-un	CURVA PVC 4 Pulgadas x un			\$ 1.200	\$ 3.600
TERPVC0,5in-un	TERMINAL PVC 1/2 Pulgadas x un			\$ 150	\$ -
TERPVC0,75in-un	TERMINAL PVC 3/4 Pulgadas x un			\$ 200	\$ -
TERPVC1in-un	TERMINAL PVC 1 Pulgadas x un			\$ 600	\$ -
TERPVC1,25in-un	TERMINAL PVC 1 1/4 Pulgadas x un			\$ 1.350	\$ -
TERPVC1,5in-un	TERMINAL PVC 1 1/2 Pulgadas x un			\$ 1.750	\$ -
TERPVC2in-un	TERMINAL PVC 2 Pulgadas x un			\$ 2.350	\$ -
TERPVC2,5in-un	TERMINAL PVC 2 1/2 Pulgadas x un			\$ 2.900	\$ -

Fig 23. Hoja del APU.

9. Formato de salida

Como se explicaba anteriormente, en el formato de salida se consignan los cálculos resumidos por ítems o secciones. Inicialmente tiene un encabezado con la información básica del cliente, el proyecto, fecha, asesor comercial a cargo, etc. También se muestra un cuadro resumen de los ítems calculados por la macro, y, finalmente, observaciones técnicas y comerciales importantes.

Energía & Potencia		OFERTA DE SERVICIO DE INSTALACIÓN LLAVE EN MANO	
Ciudad y fecha: Itagüí Asesor: ACUNA ARENAS OSCAR JAVIER	07-may-2019	Objeto: <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Suministro de planta eléctrica <input type="checkbox"/> Suministro e instalación de planta eléctrica a cero metros <input type="checkbox"/> Suministro e instalación de planta eléctrica con circuito alimentador 	COTIZACIÓN N° COT-AAO-000013
En atención a: Contacto: Juan H Ciudad: EPM Celular o fijo: 400 56 87 Email: juan.henao@energíaypotencia.com	Proyecto: Acucar Ubicación: Bogotá	FECHA: 07-may-2019 ELABORÓ: JH REVISÓ: JG	CAPACIDAD DE LA PLANTA ELÉCTRICA EN kVA: 351
Técnico o asesor que realiza la visita: N/A		NOTA: El técnico lo coordina Energía y Potencia SAS desde Itagüí por el área de Servicio Técnico, si el cliente acepta el precio asignado por el gerente de la unidad de negocio, esto lo informará el asesor. Luego de esto se envían las ordenes de fabricación necesarias y se consultan las fechas de entrega para que el asesor negocie con el cliente la agenda de instalación y lo relacionado con el personal y los temas de documentación, seguridad social y permisos.	
Se usó información para la cotización: <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Planos arquitectónicos <input checked="" type="checkbox"/> Fotos y vídeos, accesos, contador tablero principal, cuarto técnico, etc <input type="checkbox"/> Sin información. Cotización estándar con acometida menor a 20m <input type="checkbox"/> Planos eléctricos (unifilar o similar) <input type="checkbox"/> Ubicación con coordenadas del sitio de instalación <input type="checkbox"/> Tablas de datos consumos análisis de carga, cuadros de carga, datalogger, etc 			

Fig 24. Encabezado del formato de salida.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1	Grupo electrógeno			Subtotal	\$ -
1,1	Planta eléctrica 200kVA STBY.	Un	1		\$ -
2	Cableado				\$ 6.800.578
2,1	Circuito alimentador de potencia: 3x(2x300)F + (2x250)N + (1x0)T. Incluye terminales, cintas y marcadores.	ML	15	\$ 449.803	\$ 6.747.040
2,2	Conductores para los circuitos de servicios auxiliares y control de la transferencia. Incluyen terminales.	ML	15	\$ 3.569	\$ 53.538
3	Canalización de circuitos				\$ 931.356
3,1	Canalización de potencia en tubería: TUBPVC4in-3m.	ML	15	\$ 17.449	\$ 261.732
3,2	Canalización de circuitos de control y servicios auxiliares en tubería EMT 3/4".	ML	15	\$ 5.975	\$ 89.624
4	Transferencia				\$ 75.700
4,1	No se solicitó.	Un	1	\$ 75.700	\$ 75.700
5	Tubería de escape				\$ 1.082.067
5,1	Tubería de escape con diámetro de 5" y 5 metros de longitud. Incluye revestimiento térmico.	ML	5	\$ 216.413	\$ 1.082.067
6	Insonorización				\$ 11.968.000
6,1	Insonorización del cuarto de la máquina con un área de 70 metros cuadrados.	m ²	70	\$ 170.971	\$ 11.968.000
7	Trampas de aire				\$ 4.702.500
7,1	Trampa de aire fresco.	Un	1	\$ 2.277.000	\$ 2.277.000
7,2	Trampa de aire caliente.	Un	1	\$ 2.425.500	\$ 2.425.500
8	Cabina especial				\$ 9.996.656
8,1	Cabina insonora cold rolled	Un	1	\$ 9.996.656	\$ 9.996.656
9	Sistema de alimentación de combustible				\$ 2.830.000
9,1	Tanque externo de 50 gal, horizontal (un) con tubería de llenado de acom en 1 pulg (x m). Incluye Spill container (un)	GLB	1	\$ 2.830.000	\$ 2.830.000
10	Transporte y ubicación en sitio				\$ -
10,1	Transporte, ubicación en sitio, desensamble, etc.	GLB	1		
11	Mano de obra				\$ 1.910.000
11,1	Incluye pareja de técnicos, alimentación, viáticos,	Días	3	\$ 636.667	\$ 1.910.000
12	Otros				\$ -
12,1	Amortiguadores, encerramiento en malla eslabonada, ducto enfocador, monitoreo remoto, etc.	X	1	\$ -	
SUBTOTAL					\$ 39.716.858
IVA 19%					\$ 7.546.203
TOTAL					\$ 47.263.061

Fig 25. Ejemplo de cuadro resumen del formato de salida.

10. Memorias de cálculo

Finalmente, el programa tiene la opción de exportar en formato PDF las memorias de cálculo de la instalación. Dichas memorias incluyen de forma resumida los requerimientos técnicos ingresados por el usuario y los resultados respectivos. También se explican criterios de cálculo tenidos en cuenta con base en la norma colombiana y explicaciones concisas de algunos procedimientos.

The image shows a software interface for calculating generator requirements. At the top, there are three buttons: 'CALCULAR INSTALACIÓN' (orange), 'Exportar memorías' (black with white text, circled in blue), and a logo for 'Energía & Potencia'. Below the buttons is a form titled 'INFORMACIÓN DE ENTRADA' with various input fields and dropdown menus. The fields include: 'Seleccione la tensión [V]:' (Trif-120/208VAC), 'Potencia en [kVA]:' (200,0), 'Seleccione el generador:' (GDC300-LSY), 'Distancia ctoal alimentador [m]:' (15), 'Se instalará puesta a tierra:' (SI), 'Lugar de instalación:' (Bogotá), 'Temp media de la población [°C]:' (14), 'Altura sobre el nivel del mar [m]:' (2600), 'Humedad relativa de la población:' (85%), and 'Lleva transferencia:' (No). On the right side of the form, there are three radio buttons labeled '1 stb', '5 stb', and 'Desr'.

Fig26. Botón que activa la exportación de las memorias de cálculo en formato PDF.

Memorias de cálculo				
1. Información de la planta				
Potencia nominal [kVA]	Tensión de línea [V]	Corriente nominal [A]	Sistema	
200	208	556	Trifásico	
2. Información de la instalación				
Calibre y número de hilos				
Longitud cxto [m]	Fases	Neutro	Tierra	Total de hilos
15	3x2x300	2x250	1x0	9
<p><i>Nota: el calibre de las fases se calculó con base en la ampacidad, la regulación de tensión y el precio. El neutro se calculó con el 70% de la corriente nominal por las fases. No obstante, lo ideal es hacer una caracterización rigurosa de la carga de forma que se encuentre su porcentaje de contenido de armónicos o el desbalance entre fases para determinar un neutro óptimo. El conductor de tierra se calculó con base en la tabla 250-95 de la NTC2050.</i></p>				
La regulación se calcula de la siguiente forma:		$%R = [ZEF \cdot L \cdot I / VL-N] \cdot 100\%$		
L: longitud del circuito		I: corriente de línea	VL-N: voltaje de fase	
ZEF: impedancia efectiva del circuito.		$ZEF = R \cos \theta + XL \sin \theta$		
<i>R y XL dependen del ducto por el cual se canalice la instalación (aluminio, acero o PVC). θ es el ángulo del factor de potencia (0.8).</i>				
R =	0,1476	X =	0,1673	$\theta =$ 36,86989765
Impedancia efectiva (ZEF) [Ω/km]		Regulación		
0,10923		0,76%		Ok
Canalización del circuito				
Área total del manajo de conductores [pul ²]	Diámetro de tubería [pul]	Área útil del ducto [pul ²]	Porcentaje de ocupación	
1,889298779	4	12,56637061	15%	
<p><i>Nota: el área total de los conductores se obtiene sumando el área de cada calibre individual desde la tabla 310-16 de la NTC2050. Se calcularon las dimensiones de la ductería de forma que no se superara el 40% de ocupación respecto al ducto.</i></p>				

Fig 27. Ejemplo de memorias de cálculo.

11. Resultados

- Se adquieren conocimientos básicos y avanzados sobre los métodos que posee Excel desde VBA para automatizar procesos. Esto se logra por medio de un análisis previo de las primeras versiones del programa a todas las macros involucradas, entendiendo los procedimientos y los diferentes comandos utilizados. De forma similar, se estudian todas las hojas de cálculo junto con sus fórmulas, condiciones, formatos y conexiones.
- Se obtiene un cálculo preciso de las cantidades de obra necesarias para ejecutar la instalación de grupos electrógenos satisfaciendo todas las necesidades del cliente y entregando un servicio completo llave en mano.
- Se complementa la primera versión del programa con cálculos de la canalización de los circuitos aplicando la norma técnica, y los circuitos de control y servicios auxiliares del grupo electrógeno.
- Se optimizan los procesos de filtrado y llenado de tablas resumen.
- Se depuran errores presentados en versiones anteriores.
- Se incorporan macros para la exportación de información en diferentes formatos como Excel y PDF.
- Se actualizan los precios de los materiales en las bases de datos y se incorporan otros adicionales conforme se expandieron los cálculos.
- Se diseña y automatiza el formato formal de salida de las cotizaciones.
- Se incorpora macro para corregir contra-presión en el sistema de escape y generar las modificaciones necesarias en las cantidades de los materiales.
- Se agrega macro para cálculo de circuitos ramales independientes.

- Se diseña un cuadro resumen organizado y se automatizan las memorias de cálculo de la instalación del grupo electrógeno.

12. Conclusiones

Se deben analizar diferentes aspectos, como: el espacio donde será ubicado el grupo electrógeno, las distancias necesarias para instalación de sistema de escape y los diferentes circuitos eléctricos, la circulación de aire en el cuarto de la máquina, los requerimientos de insonorización según norma nacional, el tiempo de la mano de obra, las herramientas necesarias para la ubicación en sitio de la máquina y las condiciones de acceso de la planta al sitio de operación. Lo anterior con la intención de hacer un cálculo y una cotización completa de la instalación de un grupo electrógeno.

Es importante seguir los lineamientos de la norma técnica colombiana y el reglamento técnico de instalaciones eléctricas al momento de calcular la instalación de un grupo electrógeno, pues ello garantiza condiciones seguras para las personas encargadas de su manipulación.

La automatización por medio de macros en Excel VBA permite agilizar procesos y cálculos que resultan engorrosos y extenuantes al efectuarse de forma manual.

13. Referencias bibliográficas

[1] “Reciprocating internal combustion engines performance, Part 1: Declarations of power, fuel and lubricating oil consumptions, and test methods – Additional requirements for engines for general use”, ISO 3046-1, 5ta edición, Ginebra, 2002.

[2] “Motor de combustión interna” [Online]. Disponible: https://www.ecured.cu/Motor_de_combusti%C3%B3n_interna

[3] Maria del Mar. (2018, Octubre 02). “Ley de Faraday|Inducción electromagnética” [Online]. Disponible: <https://espaciociencia.com/ley-de-faraday-induccion-electromagnetica/>

[4] (2017, Octubre 08). “¿Qué es y cómo funciona un alternador?” [Online]. Disponible: <https://caymansseo.com/que-es-como-funciona-un-alternador>

[5] “Sistema De Escape: Elementos, Conceptos Y Funcionamientos” [Online]. Disponible: https://www.mundodelmotor.net/sistema-de-escape/#partes_del_sistema_de_escape

[6] “Dimensionamiento de motores y generadores en aplicaciones de ingeniería eléctrica” [Online]. Disponible: <https://es.slideshare.net/Cesar2705/dimensionamiento-del-grupo-electrogeno>

[7] “Método Range.Autofilter en Excel” [Online]. Disponible: <https://docs.microsoft.com/en-us/office/vba/api/excel.range.autofilter>

[8] Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, «Resolución 0627 del 07 de abril del 2006».

[9] “Sistema de escape, consideraciones generales” [Online]. Disponible: https://www.academia.edu/30102309/SISTEMA_DE_ESCAPE_CONSIDERACIONES_GENERALES