



EPERLab
Universidad de Costa Rica

Herramienta de Integración de Recursos Distribuidos en
Redes de Distribución (IRED)

Manual de Instalación y Uso

Versión: 2.0.0
Mayo 2023

IRED es una herramienta programada en Python y embebida en el software de georreferenciación QGIS, que internamente utiliza el software de simulación OpenDSS de EPRI, con el fin de calcular la capacidad de alojamiento en kW de recursos energéticos distribuidos (DER) en circuitos de distribución eléctrica de manera localizada, o sea, por segmentos del circuito. La Figura 1 muestra la interfaz gráfica de la herramienta.

Integración Recursos Energéticos Distribuidos- IRED

Nombre del circuito: XYZ

Nombre barra alimentador: Sourcebus

Ubicación de curva de demanda y tensión: ...

Ubicación de los archivos de salida: S2/Curso/Circuitos/XYZ ...

☒ kA ☐ MVA

Ingreso el dato de cortocircuito 3F: 8.0

Ingreso el dato de cortocircuito 1F: 8.5

Defina la fecha de la simulación: dd/mm/aaaa

Defina la hora de la simulación: 12:00

Distancia entre puntos de instalación (km): 1.00

Verificación Gran escala Pequeña escala

Máxima capacidad a instalar (kW): 40000.00

Aumento de instalación (kW): 1000.00

Tipo de DER a instalar:

- ☒ DER-INV 120.00 % 0.0250 pu
- ☐ DER-MS Aporte Cortocircuito Reactancia Transitoria

Selección de estudios a realizar

Criterios de protecciones:

- ☒ Aumento de corriente de falla Porcentaje máximo: 10.00 %
- ☒ Reducción de alcance Reducción máxima: 10.00 %
- ☒ Coordinación recloser-fusible Aumento máximo: 100.00 A
- ☒ Disparo simpático
- Corriente pick up 51P: 1500.00 A
- Corriente pick up 51G: 750.00 A
- Tipos de fallas: ☒ ABCG ☒ ABG ☒ BCG ☒ ACG ☒ AB ☒ BC ☒ CA ☒ AG ☒ BG ☒ CG

Criterios de tensión:

- ☒ Sobretensión Tensión máxima: 1.05 pu
- ☒ Regulación de tensión
- ☒ Desbalance de tensión Desbalance máximo: 3.00 %
- ☒ Desviación de tensión Desviación máxima MT: 3.00 % Desviación máxima BT: 5.00 %

Criterios térmicos:

- ☒ Análisis térmico

Aceptar Cancelar Ayuda

Figura 1. Interfaz gráfica de la herramienta IRED.

IRED permite encontrar la capacidad de alojamiento tanto para instalación de DER de pequeña escala, localizados donde se encuentran las cargas existentes, como de gran escala, ubicados en barras específicas de la red trifásica de media tensión.

1. Instalación

Los archivos que conforman la herramienta IRED serán proporcionados al usuario en formato de compresión de datos sin pérdida (.zip), en un archivo comprimido llamado ired.zip, el cual debe ser utilizado para instalar la herramienta en QGIS.

Para la instalación en QGIS, se debe acceder a la barra de menú (menu toolbar) en la opción Complementos (*Plugins*), y luego a la opción del menú desplegable llamada Administrar e instalar plugins (*Manage and Install Plugins...*), como se observa en la Figura 2.

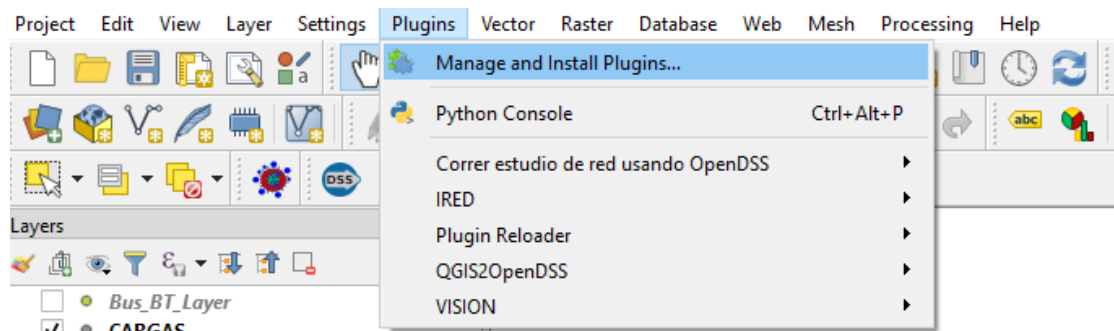


Figura 2. Acceso al menú para administrar e instalar complementos en QGIS.

Una vez en el administrador e instalador de complementos mostrado en la Figura 3, en la barra de opciones a la izquierda de la ventana emergente, se debe seleccionar Instalar desde ZIP (*Install from ZIP*), y aparecerá la opción de cargar el archivo .zip suministrado (ired.zip) desde cualquier localización en la computadora donde el usuario lo tenga almacenado. Finalmente, se debe presionar el botón Instalar Complemento (*Install Plugin*) y el mismo quedará instalado.

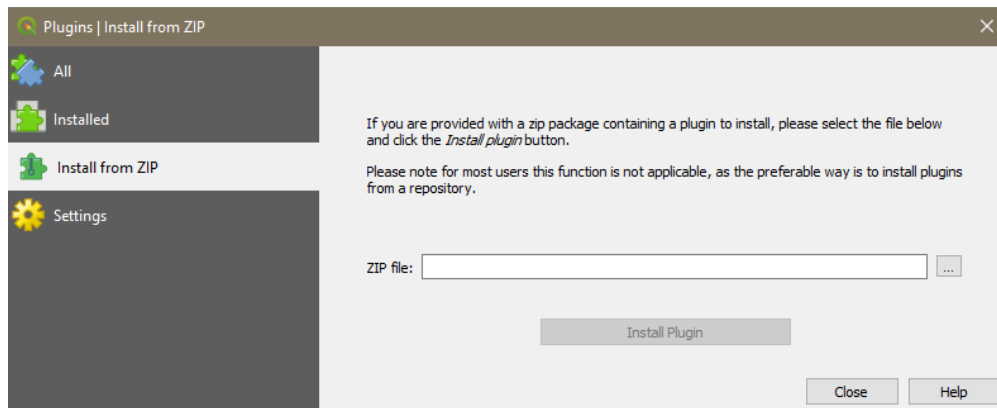


Figura 3. Ventana emergente del administrador e instalador de complementos de QGIS.

La primera vez que se ejecuta la herramienta, QGIS **debe ser ejecutado como administrador y la computadora debe tener conexión a internet**, ya que la herramienta instalará de manera automática los paquetes de Python necesarios para las simulaciones.

La parte superior de la herramienta contiene la información básica necesaria para las simulaciones de capacidad de alojamiento tanto de DER de gran como de pequeña escala. En la Figura 4 se muestran cada una de las entradas de información y seguidamente se describe cada una.

Figura 4. Información básica requerida por la herramienta IREN.

1

Nombre del circuito: corresponde al nombre del circuito inicializado para la simulación en OpenDSS. La herramienta lee esta variable directamente del modelo del circuito generado por el plugin QGIS2OpenDSS. Sin embargo, el usuario podría modificarlo si así lo requiere (debe modificar entonces el nombre del circuito en los archivos del modelo en OpenDSS).

2

Nombre barra del alimentador: corresponde al nombre de la primera barra del circuito. De igual manera, la herramienta lee esta variable de manera automática

del plugin QGIS2OpenDSS. Sin embargo, el usuario puede cambiarla si así lo requiere y es consistente con el modelo del circuito en OpenDSS.

3

Ubicación de los archivos de salida: se debe seleccionar la carpeta donde se desea que se guarden los archivos de salida de la herramienta. Una parte de los resultados se sobrescribirán en las capas de líneas de media tensión, transformadores y cargas de media tensión, por lo que esos resultados se encontrarán en la dirección de los archivos de QGIS del circuito.

Curva de demanda: se debe cargar un archivo separado por comas (.csv) que contenga la información de la demanda trifásica de potencia activa, demanda trifásica de potencia reactiva, hora y fecha, para el circuito en cuestión. El archivo debe tener el siguiente formato (incluyendo los títulos de las columnas):

4

P (kW)	Q (kVAr)	Hora	Día
1948.257	978.1264	0:00	8/10/2019
1948.257	978.1264	1:00	8/11/2019
1948.257	978.1264	2:00	8/12/2019
...

5

Corriente de corto circuito trifásica: corresponde al aporte de la corriente de corto circuito trifásica en el punto de inicio del circuito, en kA o MVA.

6

Corriente de corto circuito monofásica: corresponde al aporte de la corriente de corto circuito monofásica en el punto de inicio del circuito, en kA o MVA.

7

Fecha de la simulación: corresponde a la fecha en la cual se quiere realizar la simulación. La fecha debe coincidir con uno de los días contenidos en la curva de demanda explicada en el punto 4.

8

Hora de la simulación: Corresponde a la hora en la que se quiere realizar la simulación tipo *snapshot* en el circuito. Debe corresponder a una hora válida según la resolución suministrada en la curva de demanda del circuito en el punto 4.

9

Distancia entre puntos de evaluación: para la simulación de capacidad de alojamiento de recursos de pequeña escala, se refiere a la resolución de distancia que se utilizará para agrupar la capacidad instalada en cada segmento de línea trifásica (i.e., es la longitud de cada segmento establecido de línea

trifásica). Para el análisis de gran escala, se refiere a la distancia entre los nodos a los que se les instalarán DER de gran escala.

3. Estudios de IRED

La herramienta IRED posee tres pestañas para realizar tres tipos de estudio: verificación del estado inicial del circuito, estudio de capacidad de alojamiento de gran escala y de pequeña escala.

3.1. Verificación de estado inicial del circuito.

La pestaña “Verificación” es una opción que permite realizar un análisis del modelado del circuito. La Figura 5 ilustra la pestaña mencionada. En esta se permite corroborar el estado de conexión del circuito en vacío (E1) y se puede correr una simulación tipo *snapshot* inicial, en el día y hora especificada anteriormente (E2), con todos los elementos que componen el modelado del circuito, incluyendo los DER existentes registrados. El resultado de esta simulación le permite al usuario ver si hay problemas en el modelado y simulación del circuito antes de realizar el estudio de capacidad de alojamiento con DER de gran y pequeña escala.

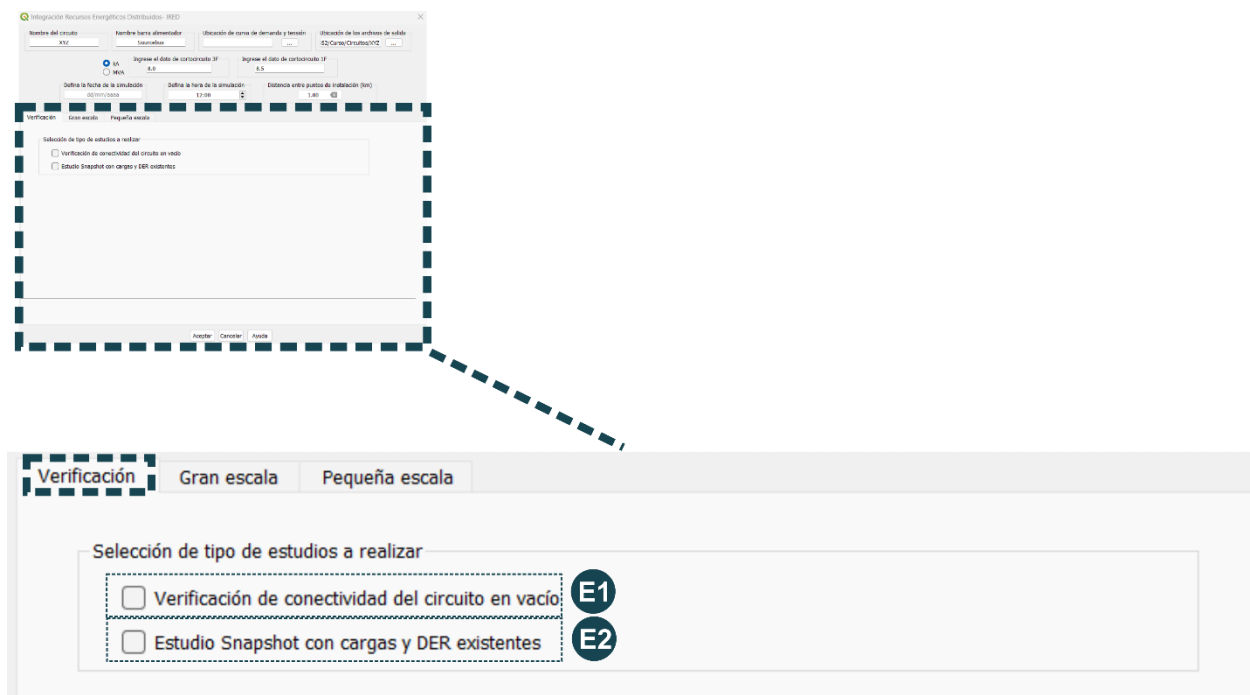


Figura 5. Pestaña de verificación de estado inicial del circuito.

3.2. Estudio de capacidad de alojamiento para DER de gran escala

Los estudios de alojamiento de DER de gran escala se deben realizar utilizando la pestaña definida como **Gran escala** en la interfaz gráfica que se muestra en la Figura 6.

Verificación **Gran escala** Pequeña escala

Máxima capacidad a instalar (kW): 40000.00 Aumento de instalación (kW): 1000.00

Tipo de DER a instalar:
☒ DER-INV 120.00 % 0.0250 pu
☐ DER-MS Aporte Cortocircuito Reactancia Transitoria

Seleccione los estudios a realizar

Criterios de protecciones:

- ☒ Aumento de corriente de falla (a)
Porcentaje máximo: 10.00 %
- ☒ Coordinación recloser-fusible (b)
Aumento máximo: 100.00 A
- ☒ Disparo simpático (c)
Corriente pick up 51P: 1500.00 A
Corriente pick up 51G: 750.00 A
- ☒ Reducción de alcance (d)
Reducción máxima: 10.00 %
- ☒ Tipos de fallas (e)
☒ ABCG ☒ ABG ☒ BCG ☒ ACG ☒ AB ☒ BC ☒ CA ☒ AG ☒ BG ☒ CG

Criterios de tensión:

- ☒ Sobretensión (f)
Tensión máxima: 1.05 pu
- ☒ Regulación de tensión (g)
- ☒ Desbalance de tensión (h)
Desbalance máximo: 3.00 %
- ☒ Desviación de tensión (i)
Desviación máxima MT: 3.00 % Desviación máxima BT: 5.00 %

Criterios térmicos: (j)
☒ Análisis térmico

Figura 6. Pestaña para realizar análisis de capacidad de alojamiento de generadores de gran escala.

La entrada “**Máxima capacidad (kW)**” corresponde a la máxima capacidad de DER que se permitirá instalar en cada nodo evaluado del circuito en una simulación. “**Aumento de instalación (kW)**” permite definir el paso de instalación de DER en cada nodo trifásico de media tensión evaluado. La entrada “**Tipo de DER a instalar**” permite elegir el tipo de generador a instalar en la simulación: si el generador es de tipo inversor (**DER-INV**) consulta por el porcentaje de aporte de cortocircuito con respecto a la corriente nominal del inversor, mientras que si es de tipo máquina sincrónica (**DER-MS**) consulta por el

dato de reactancia transitoria en pu en base de la máquina. Esta información se usará para modelar el aporte de los DER a cortocircuitos.

3.3. Estudio de capacidad de alojamiento para DER de pequeña escala

Si se requieren hacer análisis de capacidad de alojamiento considerando DER de pequeña escala, se debe utilizar la pestaña en la interfaz gráfica denominada **Pequeña escala**, la cual se muestra en la Figura 7.

The screenshot displays the 'Pequeña escala' tab in the IREC software. The interface is organized into several sections with various input fields and checkboxes:

- Top Section:** Includes tabs for 'Verificación', 'Gran escala', and 'Pequeña escala'. Below these are input fields for 'Máxima capacidad a instalar (kW)' (40000.00), 'Aumento de instalación' (Circuitos de BT: 10.00 kW, Cargas de MT: 100.00 kW), and 'Aporte cortocircuito DER (%)' (120.00). A checkbox 'Limitar instalación máxima con capacidad del transformador' is checked.
- Selecciones de estudios a realizar:**
 - Criterios de protecciones:**
 - a:** 'Aumento de corriente de falla' (Porcentaje máximo: 10.00 %).
 - b:** 'Coordinación recloser-fusible' (Aumento máximo: 100.00 A).
 - c:** 'Disparo simpático' (Corriente pick up 51P: 1500.00 A, Corriente pick up 51G: 750.00 A).
 - d:** 'Reducción de alcance' (Reducción máxima: 10.00 %).
 - e:** 'Tipos de fallas' (Checkboxes for ABCG, ABG, BCG, ACG, AB, BC, CA, AG, BG, CG).
 - Criterios de tensión:**
 - f:** 'Sobretensión' (Tensión máxima: 1.05 pu).
 - g:** 'Regulación de tensión'.
 - h:** 'Desbalance de tensión' (Desbalance máximo: 3.00 %).
 - i:** 'Desviación de tensión' (Desviación máxima MT: 3.00 %, Desviación máxima BT: 5.00 %).
 - Criterios térmicos:**
 - j:** 'Análisis térmico' (checked).
- Bottom Section:** Includes buttons for 'Aceptar', 'Cancelar', and 'Ayuda'.

Figura 7. Pestaña para realizar análisis de capacidad de alojamiento de generadores de pequeña escala.

La entrada “**Máxima capacidad (kW)**” corresponde a la máxima capacidad de DER a evaluar en la totalidad del circuito. Las entradas de “**Aumento de instalación**”, corresponden a los pasos máximos de instalación de DER en cargas de MT o circuitos

de BT, y “**Aporte cortocircuito DER (%)**”, indica el aporte de corriente de cortocircuito, en porcentaje, con respecto a la corriente nominal del DER.

4. Criterios de evaluación

Los criterios que se pueden evaluar en IRED son de 3 tipos: tensión, térmicos y de protecciones. Estos a su vez se dividen en subcriterios que pueden considerarse en el estudio siempre y cuando el usuario así lo especifique, al marcar con un *check* los criterios que se desea evaluar. A continuación, se describen cada uno de los subcriterios que la herramienta permite considerar, la información necesaria para evaluarlos y sus valores por defecto en la herramienta.

4.1. Tensión

El criterio de tensión contempla 4 subcriterios:

Sobretensión (f)	<p>Se define la variable tensión máxima, como el máximo valor permitido en el rango de tensiones obtenidas en la simulación.</p> <p>Se debe especificar en por unidad (pu), y su valor por defecto es 1.05 pu</p>
Regulación de tensión: (g)	<p>La opción regulación de tensión permite al usuario considerar las desviaciones máximas de tensión permitidas en los puntos donde se encuentran los elementos que regulan la tensión, como lo son los reguladores en línea y capacitores controlados para regular tensión. El valor máximo permitido es un cambio de tensión igual a un medio de la banda de control del equipo regulador.</p> <p>Para el caso de los reguladores, la información de la banda de control debe estar incluida en la capa del GIS de reguladores del circuito, como una columna de atributos llamada BANDWIDTH, así como también la tensión nominal del transformador de control VREG, el cual habitualmente es de 120 V.</p> <p>Para el caso de los capacitores, la banda de control se calcula por medio de la diferencia de los valores de los atributos OBJ_MAX y OBJ_MIN en los capacitores que posean control de tensión (CONTROL = V). Estos atributos corresponden a los límites máximo y mínimo de tensión admisibles en la barra controlada por el banco de capacitores.</p>
Desbalance de tensión: (h)	<p>El desbalance de tensión es el valor porcentual máximo permitido para la relación de desbalance, el cual está definido por la razón de la tensión de secuencia negativa y la tensión de secuencia</p>

Desviación de tensión: (i)	<p>positiva de cada barra trifásica del circuito. El valor predefinido es de 3%.</p> <p>Las variables Desviación máxima MT y Desviación máxima BT son los valores porcentuales máximos permitidos para la variación de tensión en cada uno de los elementos del circuito en media y baja tensión con respecto al caso base, respectivamente.</p> <p>El cálculo se basa en la diferencia de los valores de tensión obtenidos en la simulación mientras se instalan los recursos distribuidos con respecto a los valores de tensión que resultaron en el estudio base. Sus valores predefinidos son 5% para baja tensión y 3% para media tensión</p>
-----------------------------------	--

En la simulación para instalación de DER de pequeña escala, el usuario puede limitar la cantidad de recursos distribuidos por instalar en los circuitos secundarios de forma que la suma de las capacidades instaladas no supere la capacidad nominal del transformador que le sirve. Esto se logra al seleccionar la opción referenciada con la letra **(k)** en la Figura 7.

4.2. **Térmico**

El criterio térmico posee 2 subcriterios:

Capacidad térmica de líneas: (j)	<p>Mediante la selección de este subcriterio, la simulación revisa si hay sobrecargas en cada uno de los conductores del circuito.</p> <p>El subcriterio revisa que el nivel de carga de los conductores no supere el 100% de su ampacidad.</p>
Capacidad térmica de transformadores: (j)	<p>Para el cálculo de este subcriterio, se toma como base la razón entre el valor de la medición de potencia aparente en la simulación con respecto a la capacidad nominal del transformador.</p> <p>Análogo al subcriterio anterior, se revisa que el nivel de carga de los transformadores no supere el 100%.</p>

4.3. **Protecciones**

Para evaluar el impacto de DER en las protecciones del circuito es necesario realizar simulaciones de cortocircuito en diferentes puntos del circuito y revisar la corriente pasante en los diferentes elementos de protección del circuito (interruptores, fusibles y reconectadores).

Los 10 tipos de falla que se pueden tomar en cuenta se muestran en la sección **(e)** de la Figura 6 y de la Figura 7, los cuales comprenden fallas monofásicas a tierra (AG, BG,

CG), bifásica pura (AB, BC, CA), bifásicas a tierra (ABG, BCG y CAG) y trifásica a tierra (ABCG). Se considera una impedancia de falla de 0 ohms.

La capa de fusibles y reconectadores deben contener el atributo "HC", el cual diferencia a los elementos que se evaluarán dentro de los criterios de protección. Se toman en cuenta si aparecen con un valor de SI o YES. En caso contrario, se ignorarán para el cálculo la capacidad de alojamiento.

Se evalúan 4 subcriterios:

<p>Aumento de corriente de falla: (a)</p>	<p>Por medio de la variable Porcentaje máximo se define el máximo incremento de corriente de cortocircuito que pasa por los elementos de protección con respecto a la simulación en el caso base. El valor predefinido es de 10%.</p>
<p>Disparo simpático: (b)</p>	<p>Se definen la variable corriente de disparo 51G y 51P, las cuales establecen el valor máximo de corriente de pick-up de tierra y de fase, respectivamente, que puede pasar por el interruptor en la cabecera del circuito cuando ocurre una falla en otro circuito adyacente. Por lo tanto, este criterio solo se aplica al interruptor principal del circuito. El valor predefinido es de 750 A para 51G y 1500 A para 51P.</p>
<p>Coordinación reconector-fusible: (c)</p>	<p>A través de la variable aumento máximo se define la máxima diferencia que puede llegar a existir entre el aumento de corriente que pasa por los fusibles y sus respectivos reconectadores salva fusible. Para identificar a los conjuntos fusible-reconector que se evaluarán dentro de la simulación, es necesario revisar que la celda del atributo "SAVE" de la capa de fusibles sea "SI" y que en la celda del atributo "COORDINATE" aparezca el nombre del reconector asociado en el modelo de OpenDSS. El valor predefinido para este subcriterio es de 100 A.</p>
<p>Reducción de alcance: (d)</p>	<p>La variable Reducción máxima establece el porcentaje máximo de reducción del valor de corriente de cortocircuito censado en cada interruptor o reconector cuando hay una falla, ya sea en el punto más lejano de la zona de protección del dispositivo o el punto más lejano para el cual actúa como respaldo de protección. Al igual que los demás subcriterios, el cálculo de la diferencia se hace con respecto a la simulación en el estudio base. El valor predefinido es de 10%.</p>

5. Resultados de IRED

Los resultados para los estudios de capacidad de alojamiento por segmento son mostrados por la herramienta IRED en las siguientes formas:

- La capacidad de alojamiento en cada segmento del circuito se guarda en las capas de QGIS de las líneas de media tensión (aéreas y subterráneas) del circuito, según un proceso de agregación de ramales monofásicos, circuitos secundarios y cargas de media tensión, que pertenecen a un mismo segmento de líneas de media tensión trifásicas. Dicho segmento fue definido por la variable ***Distancia entre puntos de evaluación*** descrita en la sección 2.

IRED colorea las líneas de media tensión trifásica, según el valor de capacidad de alojamiento encontrado y asignado en la correspondiente capa para lograr una visualización gráfica de los resultados en QGIS, como se muestra en la Figura 8.



Figura 8. Ejemplo de visualización de resultados de capacidad de alojamiento en QGIS.

- Para el cálculo de la capacidad de alojamiento de recursos de pequeña escala, IRED escribe la capacidad de alojamiento que se encontró para cada punto de carga considerado, en la capa de transformadores (para los circuitos secundarios de baja tensión en el transformador reductor correspondiente) y en la capa de cargas de media tensión.

Al final de la simulación, se indica la capacidad total instalada en el circuito y la razón por la cual se llegó a la máxima capacidad de alojamiento. Además, se

exporta un archivo de Excel que contiene la información detallada de los criterios que ocasionaron la imposibilidad de instalar más DER en cada punto de carga, cuyo nombre es “Resultados_Secundarios.xlsx”.

También se exporta un archivo tipo *.txt que contiene la información de los criterios utilizados en la simulación, con sus respectivos valores seleccionados. Incluye también el historial de iteraciones, mostrando el tiempo de simulación por cada criterio evaluado, además de brindar la información final del resultado y la razón por la cual la simulación se detuvo.

- Para la simulación con generación de gran escala, la herramienta además exporta un documento tipo *.csv donde se indica cada barra evaluada, cuál fue la capacidad de alojamiento respectiva y cuál criterio definió la capacidad de alojamiento máxima.