



UNIVERSIDAD DE SANCTI SPÍRITUS
José Martí Pérez

Facultad de Ciencias Técnicas y Empresariales

Carrera de Ingeniería Industrial

TRABAJO DE DIPLOMA

Título: Identificación de escenarios relevantes para la implementación de fuentes renovables de energía (FRE) en el municipio de Jatibonico

Autor: Yaniela Bello Valdés

Tutor: Dr. C. Ing. Ernesto L. Barrera Cardoso

Curso: 2017-2018



Pensamiento

“Produce una inmensa tristeza pensar que la naturaleza habla mientras el género humano no escucha.....”

Víctor Hugo

Dedicatoria

- *A mi hija que me ha dado fuerzas para seguir adelante y no rendirme.*
- *A mis padres que siempre estuvieron a mi lado dándome apoyándome.*
- *A mi hermano que es mi fuente de inspiración.*
- *A mi tía Miladys que me ha dado su apoyo incondicional.*
- *A todas las personas que de una forma u otra han contribuido para que hoy esté aquí.*

Agradecimientos

- *A mi tutor que siempre ha estado ahí en los momentos que lo he necesitado.*
- *A todas aquellas personas que de una manera u otra han contribuido a la realización de este trabajo.*

A todos infinitas GRACIAS.....

Resumen

Resumen

El constantemente crecimiento poblacional ha contribuido de manera significativa al agotamiento de los combustibles fósiles y al consecuente cambio climático. En Cuba, se han llevado a cabo diferentes acciones encaminadas en la utilización de las Fuentes Renovables de Energía (FRE). Hoy solo se consume de estas fuentes un 4% por lo que se busca aumentar para el 2030 a un 24%. En nuestra provincia se han trazado varias estrategias para la sustitución de la energía eléctrica en FRE. Es por ello que el presente trabajo pretende identificar escenarios relevantes para la implementación de las FRE en el municipio de Jatibonico como al apoyo al desarrollo local. Para la realización del estudio se utilizaron 3 etapas: Etapa 1. Caracterización Energética del municipio, Etapa 2. Determinación de los potenciales existentes, Etapa 3. Selección de los escenarios más relevantes. Dentro de las mismas se utilizaron como herramientas metodológicas, la revisión de documentos, las visitas de campo; el método Delphi, el cálculo del coeficiente de Kendall y las Técnicas Multicriterios. Con el estudio se logró caracterizar el municipio de Jatibonico, tanto social como energéticamente, se logró identificar las potenciales de FRE que aún no se están explotando en el municipio y las toneladas de petróleo equivalentes que se obtendrán de las mismas. Adicionalmente, se pudieron seleccionar los escenarios más relevantes para la implementación de las FRE en el territorio, brindando información valiosa para el desarrollo local.

Abstract

Abstract

The constant population growth has contributed significantly to the depletion of fossil fuels and the consequent climate change. In Cuba, different actions have been carried out aimed at the use of Renewable Energy Sources (RES). Today, only 4% of these sources are consumed, it is predicted a growth in its consumption up to 24% by 2030. In our province, several strategies have been drawn up for the replacement of electricity in renewable energy sources (RES). The present work has as main goal to identify relevant scenarios for the implementation of the RES in the municipality of Jatibonico as support to local development. Three stages were used to carry out the study: Stage 1. Energetic Characterization of the municipality, Stage 2. Determination of existing potentials, Stage 3. Selection of the most relevant scenarios. Within these, methodological tools such as: document review, field visits, the Delphi method, the calculation of the Kendall coefficient and multi-criteria techniques were used. With this study it was possible to characterize the municipality of Jatibonico, both socially and energetically, it was possible to identify the potentials of RES that are not yet being exploited in the municipality and the equivalent tons of oil that could be obtained from them. Additionally, the most relevant scenarios for the implementation of the RES in the territory could be selected, providing valuable information for local development.

Índice

Índice

Introducción.....	1
Capítulo I: marco Teórico referencial de la investigación.....	6
1.1 Situación del uso de las FRE en el mundo.....	7
1.2 Situación del uso de las FRE en Cuba.....	9
1.3 Situación del uso de las FRE en Sancti Spíritus.....	13
1.4 Situación del uso de las FRE en el municipio de Jatibonico.....	15
1.4.1 Aspectos Generales de las Energía Renovables.....	15
1.4.2 Energía Solar Fotovoltaica.....	16
1.4.3 Energía Térmica.....	17
1.4.4 Energía Hidráulica.....	18
1.4.5 Energía Eólica.....	19
1.4.6 Bioenergía.....	19
1.4.7 Las FRE como apoyo al desarrollo local.....	23
Conclusiones Parciales.....	24
Capítulo II: Métodos y Herramientas.....	25
2.1 Introducción.....	25
2.2 Etapa 1: Caracterización del municipio de Jatibonico.....	26
2.2.1 Descripción general del municipio de Jatibonico.....	26
2.2.2 Caracterización del consumo energético.....	26
2.2.3 Fuentes aisladas de generación de energía.....	27
2.3 Etapa 2: Determinación de los Potenciales Existentes.....	27
2.3.1 Clasificación de los Potenciales de las FRE existentes.....	28
2.3.2 Estimación del Potencial energético de las FRE.....	32
2.4 Etapa 3: Selección de los Escenarios más relevantes.....	34
2.4.1 Selección de los expertos.....	34

2.4.2 Aplicación del Método de Selección.....	37
Conclusiones Parciales.....	44
Capítulo III: Resultados y Discusión.....	45
3.1 Introducción.....	45
3.2 Etapa 1: Caracterización general del municipio.....	45
3.2.1 Descripción general del municipio de Jatibonico.....	45
3.2.2 Caracterización del consumo Energético.....	46
3.2.3 Fuentes de generación aislada de energía.....	51
3.3 Etapa 2: Determinación de los potenciales existentes.....	52
3.3.1 Clasificación de los potenciales de las FRE existentes.....	52
3.3.2 Estimación del potencial energético de las FRE.....	53
3.4 Etapa 3: Selección de los escenarios relevantes para la implementación de las FRE.....	55
3.4.1 Conformación del grupo de expertos.....	55
3.4.2 Aplicación del método de selección.....	56
Conclusiones Parciales.....	62
Conclusiones Generales.....	72
Recomendaciones.....	74
Bibliografía.....	73
Anexos.....	76

Introducción

INTRODUCCIÓN

La situación actual del panorama energético es muy controvertida. El consumo aumenta y es previsible que siga aumentando. Las fuentes de que se dispone son múltiples, pero solo unas pocas tienen una importante aportación al abastecimiento, justamente aquellas que por sus previsible efectos futuros o experiencias del pasado, han ocasionado un importante rechazo popular.

La crisis energética de la década de los 70 introdujo una nueva línea de pensamiento en materia de energía y sus formas tradicionales; que han dado paso a la búsqueda de energías renovables como sustitutos del petróleo, sus derivados y demás combustibles fósiles, que tienden a agotarse en un futuro cercano y a su vez producen gases de efecto invernadero durante su transformación.

Actualmente, las energías renovables se han establecido en todo el mundo como una importante fuente de energía. Su rápido crecimiento, particularmente en el sector eléctrico, es impulsado por diversos factores, incluyendo el aumento de la rentabilidad de las tecnologías renovables; iniciativas de política aplicada; un mejor acceso al financiamiento; seguridad energética y cuestiones de medio ambiente; demanda creciente de energía en economías en desarrollo y emergentes; y la necesidad de acceso a una energía modernizada. En consecuencia, en los países en desarrollo están surgiendo mercados nuevos, tanto para la energía renovable centralizada como para la distribuida.

Durante el 2015, se añadió un estimado de 147 gigavatios (GW) de capacidad de energía renovable, el mayor incremento anual jamás registrado; la capacidad calorífica renovable aumentó en alrededor de 38 gigavatios-térmicos (GW_t); y la producción total de biocombustibles continuó incrementándose. Este crecimiento se produjo a pesar del desplome de los precios globales de los combustibles fósiles, los subsidios en curso a los combustibles fósiles, además de otros retos respecto a las energías renovables, incluyendo la integración de los avances en la participación de la generación de energía renovable, reglamentaciones e inestabilidad política, barreras normativas y restricciones fiscales (Sawin, 2016).

En Cuba más del 80 % de la generación eléctrica se realiza a partir de combustibles fósiles (fuel oil, crudo nacional y diésel), por lo que reviste especial importancia la participación de otras fuentes energéticas que contribuyan a su sustitución.

Actualmente el país solo cubre sus necesidades de petróleo equivalente en 47%; la emisión de CO₂, si bien se ha reducido, aún se mantiene a niveles elevados, y la utilización de Fuentes Renovables de Energía (FRE) en la generación eléctrica es de solo 4,3%. La estrategia diseñada para enfrentar esta situación supone básicamente seguir avanzando en la producción petrolera y elevar la generación eléctrica a partir de FRE a 24% del total hacia 2030 (Rodríguez, 5 septiembre 2014).

En Sancti Spíritus para el período 2015-2030 se prevé alcanzar un 24% de generación a partir de las FRE, algo que en la actualidad depende de los hidrocarburos (Rodríguez., 2017).

Por tal motivo, podría resultar ventajoso el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía con potencialidades en los territorios y que aún no se encuentran en explotación.

Recientemente en la provincia se dio un importante paso a favor de la energía renovable con la inauguración en La Sierpe de un nuevo parque fotovoltaico conformado por 520 mesas (cada una con 10 paneles) de la tecnología más avanzada en el mundo. Cerca del pueblo cabecera de ese municipio, el parque ya se encuentra sincronizado al Sistema Electroenergético Nacional (SEN) como parte del proceso de puesta en marcha. Bien cerca de allí se encuentra otro lugar que utiliza la energía renovable, en este caso el agua: la Pequeña Central Hidroeléctrica de la presa Zaza, nacida de un convenio de colaboración con la República Popular China, que funciona desde hace varios años. Y aunque no resulte suficiente a favor de la naturaleza, al menos constituyen dos pasos importantes que en un futuro podrán tener más seguidores en beneficio del hombre, del entorno y del sentido común (Díaz, 2016).

Actualmente se encuentran en la provincia instalados 28 de los 31 biodigestores previstos en cochiqueras de productores que tienen convenios con la Empresa Porcina (Jimenez, 2017).

En el municipio de Jatibonico se reportan como principales potencialidades para el uso de las FRE La Industria Azucarera "Uruguay", la Fábrica de Papel "[Panchito Gómez Toro](#)", Fábrica de Embutido "La Loma" y los diversos porcicultores con los que cuenta el municipio.

El Sector Campesino cuenta con 6 Cooperativas de Producción Agropecuaria (CPA), 3 dedicadas al cultivo de la caña, 2 dedicadas al cultivo de viandas y hortalizas y una dedicada a la ganadería. Además, se han constituido 21 Cooperativas de Crédito y Servicios (CCS) dedicadas al cultivo de la caña y del tabaco ((ONEI), EDICIÓN 2017).

Actualmente en el municipio se llevan a cabo varios proyectos de desarrollo local los cuales hoy están en proceso de ejecución con el financiamiento de la colaboración internacional a través de PRODEL los cuales están encaminados a la línea de producción de alimentos uno y el otro con un centro de gestión de riesgos.

Como proyecto de desarrollo local llevado a cabo y con resultados exitosos tenemos el relacionado con la Fábrica de Conservas Bonico; como objetivo fundamental tuvo el mejoramiento de la producción de dulces y encurtidos en la esta tuvo los beneficios esperados ya que se logró incrementar y diversificar las condiciones de producción e incrementar la capacidad técnica y productiva en las producciones actuales y su diversificación (Dirección de Gobierno Municipal, Grupo de Desarrollo Local; Jatibonico).

Todo lo visto anteriormente nos conduce a la siguiente ***situación problemática***:

- El municipio de Jatibonico, carece de un estudio detallado que le permita el aprovechamiento de sus potenciales de FRE, en función de aportar al desarrollo local.

- Los procesos industriales del territorio, tienen gran incidencia en el consumo y la demanda energética del municipio, pero no se conocen cuáles de los potenciales podrían cubrir estas demandas.
- Existe gran cantidad de residuos que no están cuantificados y que constituyen potenciales para la implementación de las FRE, los que generan un impacto negativo en el medio ambiente.

Como ***problema científico*** se identifica que: No se encuentran identificados los escenarios relevantes para la implementación de las FRE en el municipio de Jatibonico como apoyo al desarrollo local.

Nuestro ***objetivo general*** en la investigación será: Identificar escenarios relevantes para la implementación de las FRE en el municipio de Jatibonico como al apoyo al desarrollo local y como ***objetivos específicos*** trabajaremos en:

1. Caracterizar el municipio de Jatibonico, teniendo en cuenta las principales potencialidades, proyectos de desarrollo local y comunidades rurales para la implementación de las FRE.
2. Determinar los potenciales existentes para la implementación de las FRE como apoyo al desarrollo local.
3. Seleccionar los escenarios más relevantes para la implementación de las FRE como apoyo al desarrollo local.

Hipótesis:

Si se caracterizan y se determinan las potencialidades y necesidades energéticas en el municipio de Jatibonico, entonces se podrán identificar escenarios relevantes para la implementación de las FRE como al apoyo al desarrollo local.

Definir

- Campo de acción: FRE en el municipio de Jatibonico.
- Objeto de la investigación: Las fuentes renovables de energía

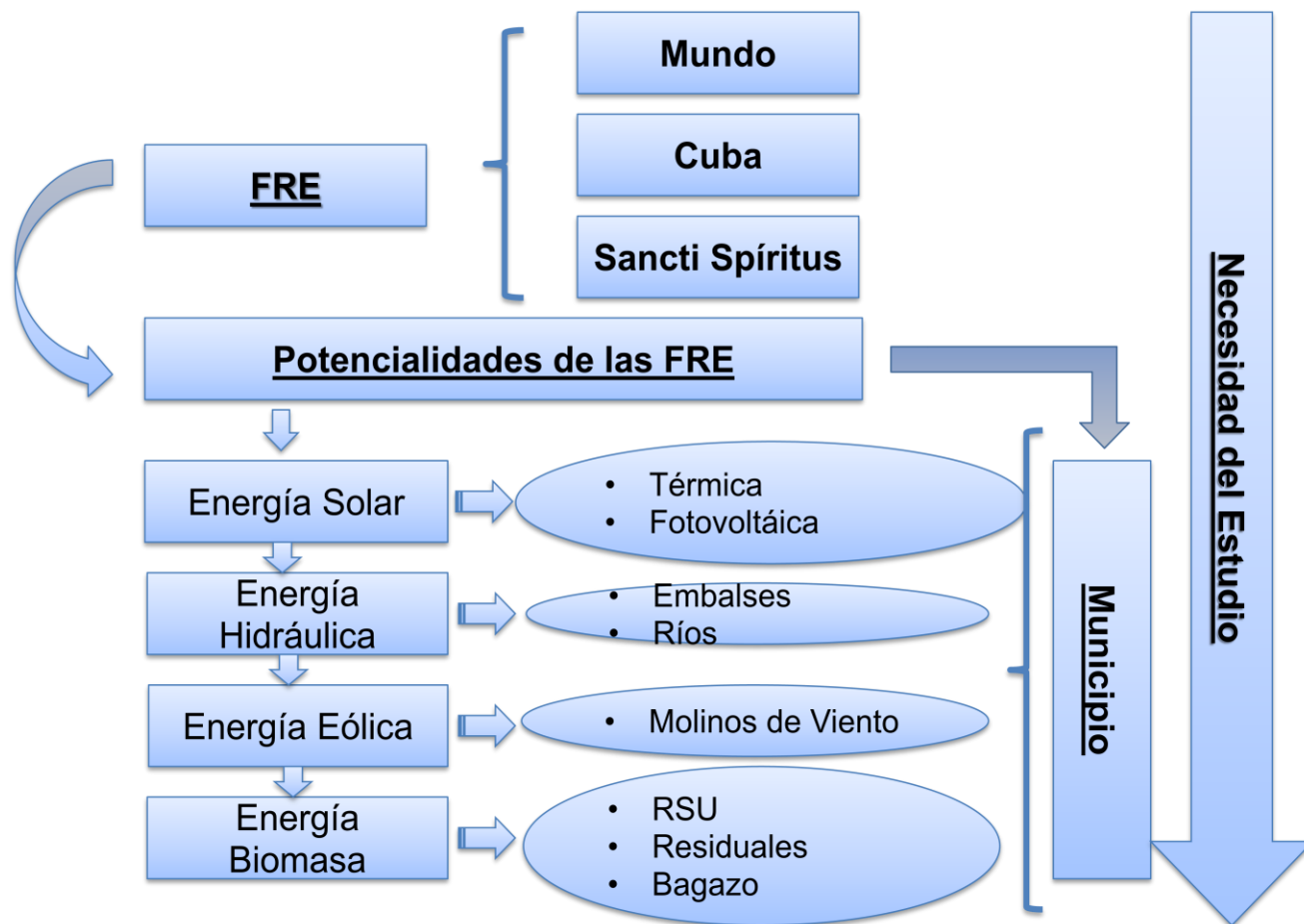
- Valor práctico de los resultados: los resultados obtenidos servirán de base para la futura implementación de proyectos de energía renovable como apoyo al desarrollo local en el Municipio.
- Valor teórico: La estimación de las demandas y las potencialidades de cada fuente renovable de energía será una información útil para los decisores sobre los proyectos a implementar.

Capítulo 1

CAPITULO I: Marco Teórico Referencial

Este capítulo tiene como objetivo mostrar los resultados principales de la revisión de la bibliografía científica disponible para determinar el estado de las FRE, tipos de FRE existentes y estudios de potenciales.

En la [Figura 1.1](#) se muestra el hilo conductor seguido para la construcción del Marco teórico referencial.



La necesidad de caracterizar Energéticamente el Municipio de Jatibonico para el apoyo al Desarrollo Local desde la FRE

Figura. 1.1. Hilo conductor seguido para la construcción del Marco teórico referencial.

Situación Energética

1.1 Situación del Uso de las Fuentes Renovables de Energía (FRE) en el mundo:

El agotamiento paulatino de los recursos energéticos existentes, su impacto en el cambio climático, la salud, la conservación y ahorro de la energía, la disponibilidad real de alternativas basadas en fuentes renovables y su dependencia de la evolución de la población del planeta y de los nuevos descubrimientos científicos en este campo, son hoy un tema candente y continuaran siendo medulares para el futuro de la humanidad, el problema energético tiene hoy una importancia crucial, no solo desde el punto de vista de la satisfacción de la creciente demanda global, sino en lo que se refiere al impacto ambiental y social del sistema energético contemporáneo, basado fundamentalmente en el uso de los combustibles fósiles (EMC, mayo de 2015).

Se ha venido realizando varias acciones a nivel mundial para la sustitución de combustibles fósiles y comenzar a utilizar las Fuentes de Energía Renovables. Sin embargo, los desafíos persisten, sobre todo más allá del sector eléctrico. En este año se observaron diversos avances que influyeron en la energía renovable, incluyendo una dramática disminución en los precios de los combustibles fósiles a nivel mundial; una serie de anuncios respecto a la disminución más sustancial en la historia de los precios en contratos a largo plazo de energía renovable (O'Connor, 2016)

Actualmente, las energías renovables se han establecido en todo el mundo como una importante fuente de energía. Su rápido crecimiento, particularmente en el sector eléctrico, es impulsado por diversos factores, incluyendo el aumento de la rentabilidad de las tecnologías renovables; iniciativas de política aplicada; un mejor acceso al financiamiento; seguridad energética y cuestiones de medio ambiente; demanda creciente de energía en economías en desarrollo y emergentes; y la necesidad de acceso a una energía modernizada. En consecuencia, en los países en desarrollo están surgiendo mercados nuevos, tanto para la energía renovable centralizada como para la distribuida (Sawin, 2016)

Durante el 2015, se añadió un estimado de 147 gigavatios (GW) de capacidad de energía renovable, el mayor incremento anual jamás registrado; la capacidad calorífica

renovable aumentó en alrededor de 38 gigavatios-térmicos (GWt); y la producción total de biocombustibles continuó a la alza. Este crecimiento se produjo a pesar del desplome de los precios globales de los combustibles fósiles, los subsidios en curso a los combustibles fósiles, además de otros retos respecto a las energías renovables, incluyendo la integración de los avances en la participación de la generación de energía renovable, reglamentaciones e inestabilidad política, barreras normativas y restricciones fiscales(Sawin, 2016).

Dado la caída del precio del petróleo se planea aprovechar esta ventana de oportunidad, para ello el Banco de Desarrollo del Caribe y el BID están financiando un Fondo para la Energía Sostenible de 71 millones de dólares para el Programa del Caribe Oriental. El programa contribuirá a la diversificación de la matriz energética en los seis países del Caribe Oriental para reducir el costo de las tarifas de generación de energía y electricidad. Lo hará a través de la promoción eficiencia energética y tecnologías de energía renovable para reducir la dependencia de la región del Caribe Oriental de los combustibles fósiles líquidos. El programa es compatible con los objetivos de la iniciativa Energía Sostenible para Todos Américas, que promueve el acceso universal a la energía, la eficiencia energética y el uso de las energías renovables en América Latina y el Caribe (Yepez, 2016)

Con el fin de lograr una matriz energética más diversificada y sostenible, Latinoamérica tendrá que cambiar sus marcos legales y reglamentarios para alentar al sector privado a ser un socio en estos proyectos, ya sea a través de inversiones directas o a través de asociaciones público-privadas. Varios países del Caribe ya han comenzado a poner en práctica este tipo de reformas, y están preparando el terreno para un futuro energético más sostenible. Por ejemplo, Jamaica ha comenzado a trabajar con el sector privado para explorar la idea de importar gas natural, un paso que ayudaría a diversificar la matriz energética(Yepez, 2016).

Alemania es la mayor potencia manufacturera del mundo, sobre todo en bienes de equipo y de capital de alta tecnología, y posee el más amplio superávit de cuenta

corriente (US\$ 260.000 millones en 2013), en relación a la población (82 millones de habitantes) y al producto (US\$ 3,6 billones) (Castro, 2014).

Utiliza como principal herramienta la *Energiewende* a grandes rasgos esta tiene como objetivo una reducción de las emisiones de CO₂ del 40% en el 2020, con respecto a los niveles de 1990, y del 80-95% en el 2050. Como la producción de energía eléctrica es lo que emite [un mayor volumen de gases de efecto invernadero](#), los objetivos son producir en el 2025 un 40-45% mediante renovables, un 55-60% en el 2035 y un 80% en el 2050 (en el año 2015 se ha producido un 33%). También se proponen, respecto a los niveles de 2008, una reducción del consumo de electricidad del 10% para el 2020 y del 25% para el 2050(O'Connor, 2016).

1.2 Situación del uso de las Fuentes Renovables de Energía en Cuba:

La energía renovable es una opción atractiva porque los recursos renovables disponibles en Cuba, tomados en su conjunto, pueden suministrar significativamente mayores cantidades de electricidad que la demanda actual o proyectada total(Desarrollo, 2017).

El objetivo final es la abolición del uso de los hidrocarburos, el carbón, la energía nuclear y otros recursos no renovables, de forma que la matriz energética esté compuesta únicamente por FRE.

Si aceptamos que el término «transición» es el proceso o período en el cual ocurre un cambio o se pasa de un estado, etapa o forma a otra, la «transición energética» sería el proceso o período durante el cual tiene lugar un paso del uso de una fuente de energía a otra. En el caso cubano sería el abandono del petróleo y otros combustibles convencionales como fuentes de energía y su sustitución por FRE, apoyado por la eficiencia energética. Hasta el 2013 solo 4,3 % de la producción de electricidad se produjo con FRE; para el 2030 se pretende llegar por lo menos a 24 % con esas fuentes, ver [Figura 1.2](#). A ojo de buen cubero, si en los próximos 15 años aumentásemos en 20 % la participación de las FRE, es de esperar que en los próximos 60 años pudiéramos acercarnos a 100 %. Teniendo en cuenta todo lo anterior,

entonces podemos aseverar que Cuba pasa por una transición energética (Rodríguez, 5 septiembre 2014)

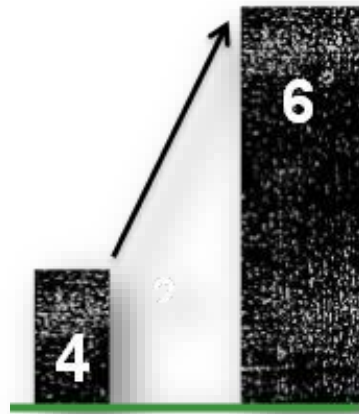


Figura 1.2. Estrategia para el aumento de la explotación de energías renovables.

En realidad se puede decir que la transición energética en Cuba comenzó hace varias décadas. Primeramente con la desaparecida Comisión de Energía, en 1993, y después Cubasolar fue un claro ejemplo de ello en la década de los 90, desde su creación en 1994. Las primeras instalaciones para la energización de zonas rurales con FRE las llevó a cabo esta organización, de una manera sistemática (Feijóo, 2015)

La transición energética da respuesta a tres desafíos: primeramente disminuir la dependencia de los combustibles fósiles que como se sabe tenderán a escasear, disminuir los costos de generación de la energía como resultado de los altos costos del petróleo y a la baja eficiencia del sistema eléctrico, y por otro lado revertir el proceso de cambio climático que nos amenaza.

La eficiencia energética es el segundo sostén de la transición energética, junto con la extensión de las FRE. Cada kilowatt-hora que no sea consumido evita la quema de combustibles fósiles y la construcción de nuevas centrales eléctricas y redes eléctricas. De ahí la importancia de la eficiencia energética. El consumo de electricidad en Cuba va en aumento, por lo que el camino es largo para lograr una disminución aceptable.

Hay que poner el énfasis en el sector residencial, que consume más de 50 % de la electricidad producida, fundamentalmente en la cocción de alimentos(Jimenez, 2017).

Dentro de las principales acciones implementadas para cumplir con lo acordado en la Agenda para el 2030 se encuentran la instalación de dispositivos de Energía Renovables; en la [Tabla 1.1](#) se muestran la cantidad de dispositivos instalados en el país hasta el 2015:

Tabla 1.1: Instalación de dispositivos para el aprovechamiento de las FRE.

Dispositivos	Cantidad
Molinos de viento	5080
Digestores y plantas de biogás	685
Malacates	0
Arietes	46
Hidroeléctricas	112
Calentadores solares	2436
Sistemas fotovoltaicos	3934
Aerogeneradores	18
Parques eólicos	4
Otros	60

Teniendo en cuenta las decisiones adoptadas en apoyo de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, en la [Tabla 1.2](#) se muestra la Matriz de generación de electricidad que nuestro país planea alcanzar *para el 2030*(Social, 29 de febrero de 2016):

Tabla 1.2. Matriz energética de cuba para el 2030

Fuente de Energía	2030 (%)
Fuel en Centrales Térmicas	5.0
Fuel en Motores	9.0
Diesel	1.0

Gasacompañante	8.0
GNL	1.0
Eólica	5.0
Solar	4.0
Biomasa	14.0
Hidráulica	1.0
Crudo	32.0

Fuente: Exposición del Vicepresidente del Consejo de Ministros, Marino Murillo, en la sesión plenaria de la Asamblea Nacional del Poder Popular, Julio del 2014.

Cuba ha reducido los apagones a un nivel aceptable y eso no debe perderse, por lo que se necesitan tecnologías que aseguren la energía necesaria y suministren la electricidad en los momentos en que las FRE no sean suficientes. Se mantendrán durante una larga etapa las centrales eléctricas que queman petróleo cuando la demanda sea mayor que el abastecimiento eléctrico con FRE. Ya a más largo plazo sus prestaciones las proporcionarán las otras fuentes de energía (biomasa, solar, eólica e hidráulica) y sistemas de almacenamiento de energía.

Uno de los problemas para transitar felizmente por este proceso son las redes eléctricas. En estos momentos ello no resulta un gran problema, pero a mediano plazo se necesitarán nuevas redes, más robustas y con mayor rendimiento que lleven la energía de los sitios donde resulta factible la ubicación de estas instalaciones hasta los usuarios finales, generalmente en las ciudades. Por ejemplo, desde los sitios con mayor viento (costa norte de las provincias orientales) a los lugares con menos viento. No debe descartarse la posibilidad de analizar la variante de construir las instalaciones movidas con FRE en los lugares donde se consume mayor cantidad de electricidad (Hernández, 2010)

A corto plazo la transición energética conllevará mayores inversiones y generará mayores gastos al país, pero el balance de costos y beneficios a mediano plazo es en ese sentido positivo. Además, la inversión extranjera jugará un papel preponderante en

este proceso de transición energética (Figueredo, 2014). En la **Figura 1.3** se muestra la potencia que se podrá alcanzar en nuestro país según estrategia enmarcada en la Agenda 2030 para el aumento de los consumos energéticos mediante la explotación de Energías Limpias.

Figura 1.3. Potencia esperada en el 2030

Fuente	Potencia instalada (MW)
Biomasa	755
Eólica	633
Fotovoltaica	700
Hidráulica	56
Biogás	27

Fuente: Exposición del Vicepresidente del Consejo de Ministros, Marino Murillo, en la sesión plenaria de la Asamblea Nacional del Poder Popular, Julio del 2014.

1.3 Situación del uso de las Fuentes Renovables de Energía en Sancti Spíritus:

La necesidad de acelerar el cumplimiento del programa aprobado hasta el 2030 para el desarrollo de las fuentes renovables de energía, así como el cumplimiento de la política energética en Sancti Spíritus la provincia estará enmarcada en reducir la cifra de consumo de diésel y generar a partir de plantas de bioelectricidad conectadas a los centrales, parques eólicos e instalaciones solares y otras energías alternativas, entre ellas la hídrica, el biogás y la electrificación rural.

Uno de los mayores avances de la provincia en ese sentido ha sido la instalación de paneles solares en casi la mitad de las 347 viviendas aisladas ubicadas en zonas montañosas adonde no es posible llegar con la red eléctrica nacional para, de alguna manera, incrementar el nivel de vida de este importante sector de la población y así disminuir el éxodo de la población rural hacia las ciudades (Rodríguez., 2017).

Recientemente en la provincia se dio un importante paso a favor de la energía renovable con la inauguración en La Sierpe de un nuevo parque fotovoltaico conformado por 520 mesas (cada una con 10 paneles) de la tecnología más avanzada en el mundo. Cerca del pueblo cabecera de ese municipio, el parque ya se encuentra

sincronizado al Sistema Electroenergético Nacional (SEN) como parte del proceso de puesta en marcha. Según los entendidos en la materia este emplazamiento asegura una considerable reducción de pérdidas por concepto de distribución y transformación de energía y constituye un ahorro en plantas generadoras de más de 500 toneladas de petróleo al año. Además, su puesta en marcha disminuye considerablemente las emisiones de gases contaminantes a la atmosfera y de ese modo el medioambiente y el hombre también salen ganando. Bien cerca de allí se encuentra otro lugar que utiliza la energía renovable, en este caso el agua: la Pequeña Central Hidroeléctrica de la presa Zaza, nacida de un convenio de colaboración con la República Popular China. Y aunque no resulte suficiente, al menos constituye un paso importante que en un futuro podrá tener más seguidores en beneficio del hombre, del entorno y del sentido común(Díaz, 2016).

Se ha logrado en cinco unidades de producción de la empresa porcina de la provincia, la instalación de electrobombas sumergibles que funcionan con energía solar, con el fin de extraer, de pozos, agua para la limpieza de las instalaciones y el consumo de los cerdos. La Empresa Porcina de Sancti Spíritus también tiene, en cuatro unidades de producción y en su fábrica de piensos, calentadores solares para el agua que utilizan los obreros al bañarse, una medida de bioseguridad. Actualmente se terminaron 28 de los 31 biodigestores previstos en cochiqueras de productores que tienen convenios con la Empresa Porcina de Sancti Spíritus, acción que se corresponde con el propósito declarado por el Estado cubano de avanzar más en el uso de las fuentes renovables de energía, con el propósito de cambiar paulatinamente la matriz energética del país y reducir los efectos negativos del cambio climático(Jimenez, 2017).

Además del uso de la energía solar, en las granjas estatales y cochiqueras de campesinos se han construido biodigestores –ya suman 5 en el sector estatal y más de 140 en unidades de productores privados–, con el fin de tratar los residuales y reducir su impacto en el medio ambiente (Díaz, 2016)

1.4 Situación del Uso de las Fuentes Renovables de Energía en el municipio de Jatibonico:

El municipio de Jatibonico antiguamente por la división política – administrativa pertenecía a la provincia de [Ciego de Ávila](#), hoy pertenece a Sancti Spíritus. Está ubicado al este de la provincia de Sancti Spíritus, al norte limita con el municipio de [Yaquajay](#) y la provincia de Ciego de Ávila. Al sur con el municipio de [La Sierpe](#) y al oeste con los municipios [Taguasco](#)(Ecured.cu, 2017)

Fue fundado en [1904](#), su nombre es tomado del ingenio que a su vez fue tomado del río, el cual en estos momentos se llama Jatibonico del sur, con sus 119 Km de longitud, es el segundo de la provincia. Además de poseer tres embalses La Felicidad, Dinorah y Lebrije.

Tiene una población de 43 219 habitantes está formado por 40 asentamientos 2 urbanos y 38 rurales que se encuentran agrupados en 9 Consejos Populares 3 urbanos y 6 rurales y un total de 78 circunscripciones. Los principales asentamientos son el propio municipio Jatibonico y Arroyo Blanco. Dentro de los Consejos Populares los urbanos son La Yaya, El Patio y El Majá.

Se caracteriza por ser un territorio agroindustrial – azucarero. Todo el desarrollo industrial se localiza en la cabecera municipal. El resto del territorio se desarrolla la actividad cañera, pecuaria, forestal y de cultivos varios, además de la acuicultura (Ecured.cu, 2017)

1.4.1 Aspectos Generales de las Energías Renovables:

La energía es una propiedad asociada a la materia que se define como: *la capacidad de un cuerpo para realizar un trabajo mecánico*. En el caso que trata este material, la energía eléctrica que es transportada por la corriente (movimiento de electrones libres). Es la forma de energía más utilizada debido a dos características:

- Capacidad para transformarse con facilidad en otras formas de energía.
- Es posible transportarla a largas distancias con bajos costos y no se pierde excesivamente por lo que podemos decir que esta tiene muchas aplicaciones entre

ellas están: la iluminación, uso dinámico, en el empleo de herramientas y útiles de la informática y telecomunicaciones, etc.

En la actualidad las principales fuentes de generación se detallan en la [Tabla 1.3](#) son las siguientes(Carrillo, 2013):

Tabla 1.3 Clasificación y tipos de energía no renovables

Energías no Renovables	Energías Renovables
Nuclear	Solar
Fósiles	Eólica
Carbón	Oleaje
Petróleo	Hidráulica
Gas	Biomasa
	Geotérmica
	Mareas

Fuente: Tesis en opción al título de Máster en Ingeniería Eléctrica Ing. Roberto C. Ramírez Carrillo 2013

1.4.2 Energía Solar Fotovoltaica:

Se denomina energía solar fotovoltaica a la energía radiante del sol que se transforma en energía eléctrica mediante el empleo de celdas fotovoltaicas; este método clasifica como una forma de aprovechamiento directo de la energía solar. El efecto fotovoltaico genera una fuerza electro motriz, en un dispositivo semiconductor, debida a la absorción de la radiación electromagnética al conectarse a un circuito eléctrico(Feijóo, 2015)

A la interconexión de varias celdas fotovoltaicas se le llama panel fotovoltaico; un grupo de paneles da lugar a un módulo, que conjuntamente con las baterías que almacena la energía eléctrica, el inversor, el conmutador y los cables, forman el sistema fotovoltaico. Se estima que la cantidad de energía eléctrica generada con tecnología fotovoltaica es 0,1 % de la demanda de energía primaria mundial. Al final del 2008 la

potencia fotovoltaica global acumulada fue de 15,5 GWp y el 90 % se hallaba conectada a la red, (Feijóo, 2015).

El conjunto de técnicas fotovoltaica son compatible con la generación distribuida de electricidad. Su tiempo de recuperación energética es relativamente corto y su incidencia ambiental es muy pequeño comparado con las fuentes no renovables de energía. Esta tecnología es un importante pilar para alcanzar una matriz energética que garantice un suministro sostenible y seguro de energía, (Feijóo, 2015)

1.4.3 Energía Solar Térmica:

Se llama energía solar térmica a la energía solar que se transforma en otras formas de energía mediante el calentamiento, este método clasifica como una forma de aprovechamiento directo de la en energía solar. La radiación solar transporta energía radiante a nuestro planeta. La contextura de la atmosfera la cual deben franquear los rayos solares, es un factor importante para determinar la radiación solar que llega a la superficie terrestre. Los rayos solares, después de atravesar la atmosfera terrestre se ponen en contacto con las moléculas de aire y polvo y se dirigen en todas direcciones.

Parte de esa energía se dispersa en la tierra desde el firmamento. A su vez la tierra, como todo cuerpo caliente, emite parte de la radiación hacía el espacio; sin embargo determinados gases presentes en la atmosfera como el dióxido de carbono, el metano, y el vapor de agua denominados Gases de Efecto Invernadero, absorben la mayor parte dela radiación solar produciendo así el calentamiento de la atmósfera. Un efecto análogo se produce en el interior de un automóvil cerrado que se encuentra en un estacionamiento bajo la acción directa de la radiación solar. La radiación solar absorbida por una superficie se convierte inmediatamente en energía térmica (Hernández, 2010).

Diversos son los métodos utilizados para coleccionar la energía térmica de la radiación solar. El ángulo con el que inciden los rayos del sol sobre una superficie determinará la cantidad de energía que recibe la misma. Para captar la energía térmica solar se

pueden emplear materiales sólidos conocidos como superficies absolvedores o sustancia en estado líquido o gaseoso que son los denominados, fluidos térmicos. Como resultado de coleccionar la energía solar térmica, la temperatura de la superficie o la del fluido térmico se incrementa.

Históricamente, el ser humano ha utilizado la energía radiante del Sol para el calentamiento de agua y gases, el secado de productos como especies, plantas medicinales y madera, entre otros, y en la obtención de ambientes controlados y climatización de locales (Hernández, 2010).

1.4.4 Energía hidráulica

Se designa energía hidráulica a la energía solar que se transforma y acumula como energía potencial de agua cuando se encuentra en un punto a mayor altura respecto a otro, este método clasifica como una forma de aprovechamiento indirecto de la energía solar. El ciclo del agua se inicia cuando el sol evapora el agua de ríos, mares y lagos dando lugar a la formación de nubes que viajan largas distancias y se precipitan en forma de lluvia o nieve, a causa de la gravedad, busca de nuevo el nivel del mar formando ríos caudalosos o pequeñas corrientes; este caudal que se presenta en forma de grandes saltos o de pequeñas corrientes, es la fuente de la energía hidráulica que se puede transformar en energía mecánica a través de moto bombeo y molinos, o en energía eléctrica mediante represas hidroeléctricas (Feijóo, 2015)

La hidroenergía es una práctica eficiente y económica para producir electricidad. Sin embargo, la construcción de grandes hidroeléctricas requiere estancar muy grandes volúmenes de agua, lo que provoca un impacto ambiental en ocasiones irreversible sobre el balance ecológico de las zonas implicadas. A pesar de esto, las pequeñas, mini y micro centrales hidroeléctricas que aprovechan los cursos de agua, son una solución muy satisfactoria para la generación de electricidad, tanto desde el punto de vista económico como ecológico (Feijóo, 2015; "Sancti Spíritus: continúa explotación de fuentes de energía renovables,")(Feijóo 2015)(Feijóo 2015)

1.4.5 Energía eólica

Se denomina energía eólica a la energía solar que se transforma en energía cinética del viento, este método clasifica como una forma de aprovechamiento indirecto de la energía solar. La radiación solar no alcanza por igual a toda la atmósfera terrestre (EMC, mayo de 2015)

Como el aire se desplaza en las zonas de alta presión a las zonas de baja presión, se establece un cierto equilibrio energético al transferirse la energía entre zonas de diferentes temperaturas. Todo este proceso ocasiona un desplazamiento de las masas de aire produciéndose los vientos a nivel planetario, este fenómeno meteorológico se denomina circulación atmosférica planetaria (Nápoles, 2015)

El molino es una máquina que transforma la energía del viento en energía mecánica aprovechable. Esta energía proviene de la acción del viento sobre unas aspas oblicuas unidas a un eje común. El eje giratorio puede conectarse a varios tipos de maquinarias para moler granos, bombear agua, o generar electricidad. Cuando el eje se conecta a una bomba recibe el nombre de aerobomba. Si se usa para producir electricidad se le denomina aerogenerador (Díaz, 2016)

Tipos de máquinas eólicas.

- Máquinas eólicas de eje horizontal:
 - Molinos de viento clásicos.
 - Máquinas eólicas de eje horizontal lentas.
 - Máquinas eólicas de eje horizontal rápidas.
- Máquinas eólicas de eje vertical.

1.4.6 Bioenergía

El análisis de la bioenergía comprende tres conceptos esenciales: la biomasa, los biocombustibles y la bioenergía. Biomasa es la abreviatura de masa biológica y resulta el conjunto de la materia orgánica de origen vegetal o animal, y los materiales que producen su transformación natural o artificial, son:

- Cultivos energéticos, productos del manejo del bosque sin valor comercial y plantaciones energéticas.
- Bagazo, paja de caña, marabú, aserrín y residuos de aserraderos.
- Cáscara de arroz, afrecho de café, residuos agrícolas, ganaderos y forestales.
- Aceites vegetales, crudos o usados.
- Excretas animales (porcino, vacuno, avícola, entre otros).
- Residuos sólidos urbanos.

Los biocombustibles son los combustibles orgánicos primarios y secundarios o no, derivados la biomasa, que se pueden utilizar para obtener energía térmica por combustión u otro proceso. La bioenergía es la energía procedente de la biomasa; comprende todas las formas de energías derivadas de combustibles orgánicos utilizados para producir energía. Igual que para el resto de los combustibles, la combustión completa de los biocombustibles tiene como únicos productos el dióxido de carbono y el vapor de agua (Bravo, 2006)

Cuando las plantas crecen fijan el carbono de la atmosfera mediante la fotosíntesis. Al usarla como combustible se emiten las mismas cantidades de carbono que ellas fijaron. Esto cierra un ciclo de fijación del carbono. Que no altera la concentración de este en la atmosfera. Según sea el tipo de biocombustible empleado, así serán sus aplicaciones. Los sólidos se emplean en la generación de electricidad como combustible en hornos y calderas, y se pueden desmenuzar, pulverizar, o astillar. También se pueden compactaren pellets, briquetas o pacas. Los biocombustibles líquidos sustituyen a la gasolina o al diesel y pueden usarse mezclado con ellos. El etanol es un producto de la fermentación anaeróbica y el biodiesel se obtiene de reacciones de transesterificación de aceites vegetales o grasa animal. Los biocombustibles gaseosos se utilizan en el accionamiento de motores de combustión interna, y como combustibles en hornos y calderas; también el biogás que se obtiene a partir de la fermentación anaeróbica de materiales orgánicos y el gas de madera obtenido a partir de la gasificación o descomposición térmica de la biomasa (Jimenez, 2017)

Sin embargo, utilizar la biomasa exige un análisis detallado, porque al integrar la cadena alimentaria, su empleo para obtener cualquier biocombustible está sujeto a restricciones socio-ambientales, ya que su producción está vinculada a la disponibilidad de tierras fértiles, agua y también a la obtención de alimentos, (Jimenez, 2017).

El aprovechamiento de la biomasa forestal con fines energético se debe hacer siguiendo criterios de sostenibilidad en aras de proteger los bosques. La biomasa cañera es el portador energético renovable cuyo uso está más difundido en Cuba. A escala mundial la biomasa es responsable del 10% del suministro global de energía primaria, 35% de los cuales es para servicios energéticos modernos. Para el 2020 se espera que la biomasa cubra hasta el 20% de la demanda global de generación de energía eléctrica. Mención aparte requiere la valorización energética de los residuos sólidos urbanos, aspecto en el que también se avanza en Cuba (Antonio Valdés Delgado, 2015)

Esa biomasa terciaria se quema en las plantas incineradoras para producir energía térmica, electricidad, o ambas. Si bien la eliminación de las cantidades cada vez mayores de basura que generan las grandes ciudades ha animado a adoptar estos sistemas, existe una intensa polémica sobre la contaminación atmosférica que generan estas plantas, al emitir productos muy tóxicos como las dioxinas y los furanos, dado que emplean un combustible muy heterogéneo y de difícil control. El biogás es un recurso bioenergética renovable que se puede usar para producir electricidad, como gas de refrigeración, para la iluminación, la cocción de alimentos y el funcionamiento de los motores de combustión interna en los medios de transportes auto motor. Se obtiene a partir de la digestión anaeróbica, un proceso mediante el cual se descompone la materia orgánica en ausencia de oxígeno. Los principales componentes de biogás son el metano, que le confiere características combustibles (entre 50% y 70%), el dióxido de carbono, el sulfuro de hidrogeno, el nitrógeno, el hidrógeno. La composición varía según la biomasa utilizada. Un volumen de un metro cúbico de biogás con 70% de metano, tiene un contenido energético aproximado de 5 000 Kcal esto permite producir

1,5 kWh de energía eléctrica, cocinar 3 comidas para 5 personas, o remplazar poco más de medio litro de gasolina,(Feijóo, 2015). En la **Figura 1.4** se muestra el esquema general de funcionamiento de un biodigestor.

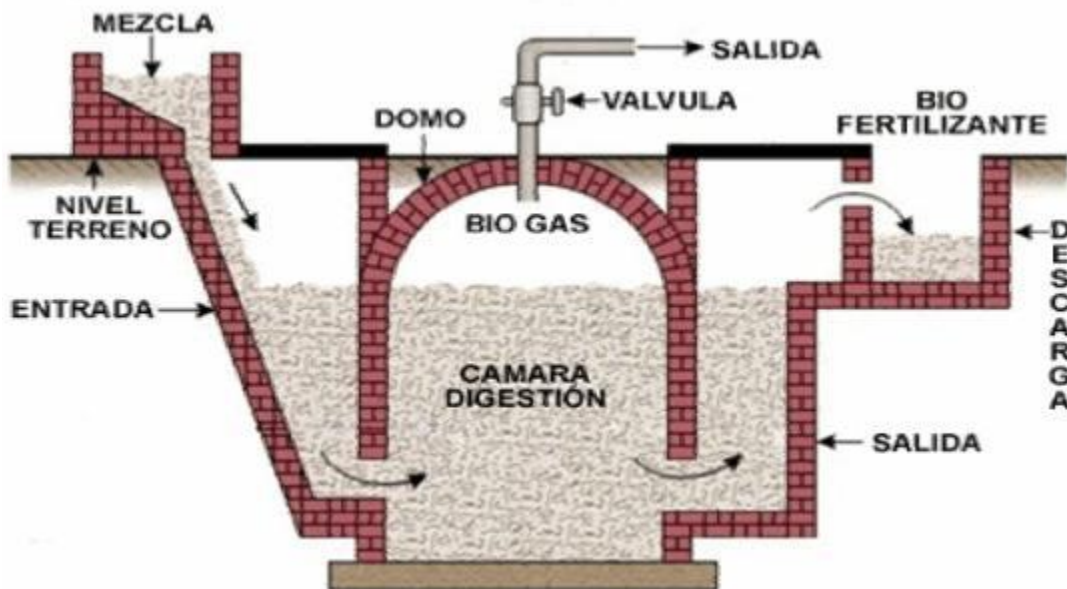


Figura 1.4.Esquema general de un biodigestor

Las tecnologías simples más empleadas se muestran en la **Figura 1.5**:

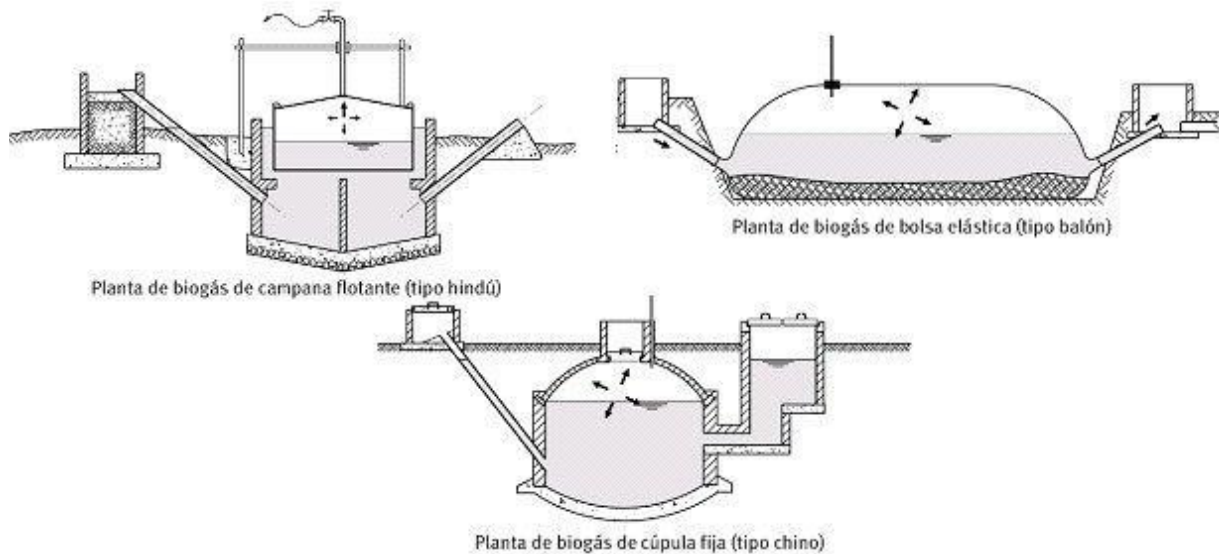


Figura 1.5.Tecnologías biodigestores empleados.

El tema de los biocombustibles líquidos, o sea bioetanol y biodiesel, ha cobrado notoria actualidad. Esta trascendencia no se debe a su empleo novedoso, ya que algunos de los primeros modelos de automóviles usaban estos combustibles. El bioetanol es un alcohol obtenido a partir de procesos de fermentación de materias primas como la caña de azúcar y el maíz. Se puede utilizar directamente como combustible o mezclarse con gasolina en diferentes proporciones para emplearse en los motores de combustión interna de los vehículos automotores. La "fiebre" actual de los biocombustibles podría alimentar la falsa creencia de que hay una solución tecnológica al alcance de la mano para enfrentar y resolver el problema de la dependencia que hoy existe de los combustibles fósiles, (Editorial Feijóo)

1.4.7 Las Fuentes Renovables de Energía como apoyo al desarrollo local.

Cuando se habla de fuentes renovables de energía, resulta inevitablemente necesario, valorar el impacto que generan en el desarrollo local del territorio, el cual no solo se determina por su valor económico, que es trascendental sino también el social. Una de las características de estas fuentes que incide en el desarrollo local, es la capacidad de adaptación que poseen, puesto se conciben para generar energía a pequeña, mediana y gran escala de acuerdo con los potenciales y necesidades del territorio.

Diversos factores como la generación de empleos, el aumento del nivel de vida de los pobladores y la disminución de los daños ambientales, constituyen claros ejemplos del aporte de las FRE al desarrollo local. En este sentido juegan un papel fundamental los pequeños productores y las mini-industrias, sectores a los que el país ha llamado a crecer paulatinamente, como vía para impulsar el desarrollo socioeconómico del territorio.

De manera que estos sean capaces de suplir las necesidades locales y aportar a la economía nacional. Por tanto el crecimiento y desarrollo de estas formas productivas, supone un aumento de la demanda energética y la generación de residuos, aspectos en los que entra a jugar un papel decisivo la implementación de FRE, como alternativa primordial para lograr de conjunto con estas instituciones un desarrollo próspero y sostenible, acorde con los objetivos y metas de la agenda de desarrollo 2030.

Conclusiones parciales

- Las fuentes renovables de energía han sido empleadas a nivel mundial como una alternativa para el logro de la sostenibilidad ambiental y la seguridad energética de los países.
- Cuba se propone metas ambiciosas para la implementación de las FRE, potenciando principalmente el desarrollo local de las comunidades urbanas y las potencialidades existentes en el territorio.
- El municipio de Jatibonico, no está caracterizado energéticamente, de forma que se pueden definir los escenarios más propicios para la implementación de las FRE, teniendo en cuenta sus potencialidades, las demandas existentes y las mejores experiencias.

Capítulo 2

Capítulo II: Materiales y Métodos

2.1 Introducción

En este capítulo, se exponen los materiales y métodos empleados para la realización de la investigación, para lo cual se hizo necesario apoyarse en diferentes herramientas, para dar solución al problema planteado y cumplir con los objetivos propuestos. En tal sentido y con el objetivo de organizar la tarea investigativa, se conforma una estructura compuesta por tres etapas (basada en la Norma: ISO 50001), la cual se describe en lo adelante.

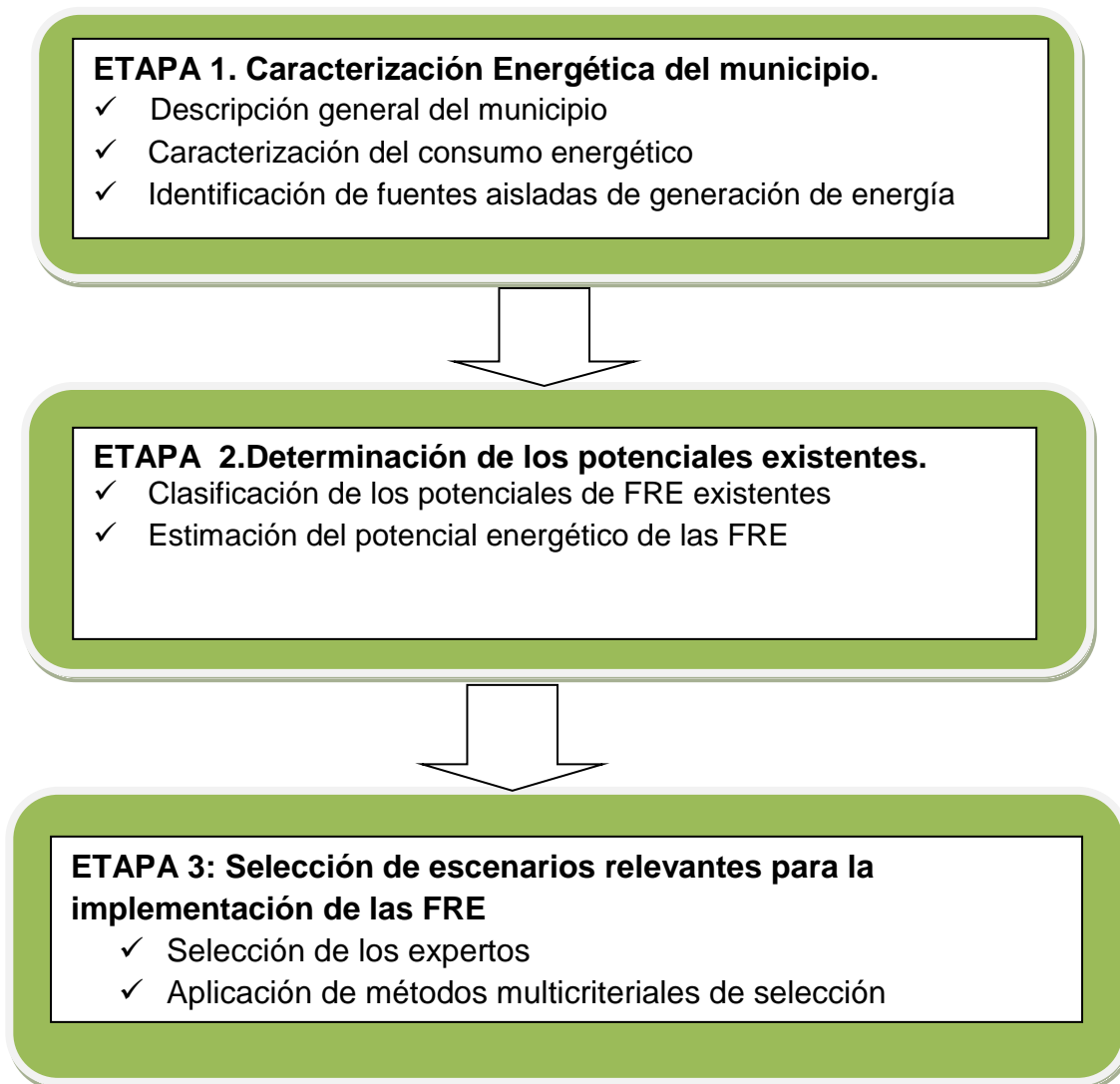


Figura 2.1: Estructura de las etapas de la investigación. Elaboración propia.

2.2. Etapa 1 Caracterización general del municipio

La figura muestra de manera gráfica, la secuencia a seguir en esta primera etapa.

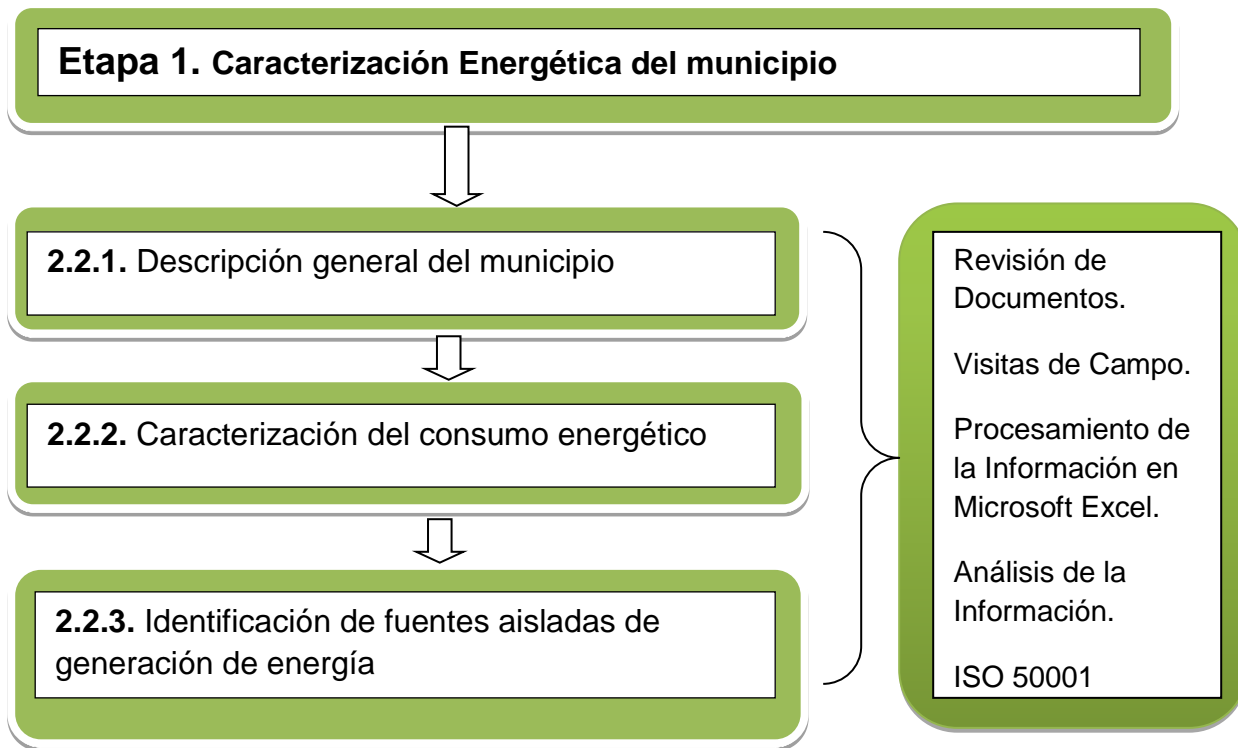


Figura 2.2. Secuencia de la Etapa # 1. **Fuente:** Elaboración propia.

2.2.1. Descripción general del municipio

En este epígrafe de la investigación, se expondrá una caracterización del municipio de Jatibonico, en función de sus principales indicadores políticos, económicos y sociales. Se tendrán en cuenta además, otros elementos que permitan identificar claramente el territorio. El desarrollo de este punto, se basa fundamentalmente en realizar una revisión y análisis de la documentación, así como en la realización de visitas a lugares de interés.

2.2.2. Caracterización del consumo energético

La caracterización energética del territorio está encaminada a mostrar una serie de elementos que de alguna manera evalúen el comportamiento del municipio en este sentido. La estructura del servicio eléctrico, la estratificación de los consumos, la situación energética, sus principales consumidores entre otros aspectos vinculados con este tema serán expuestos en este punto de la investigación.

Con la finalidad de cumplir este propósito se hizo una recopilación de información a través de fuentes fidedignas que proporcionaron estos datos, los cuales se analizaron y se procesaron en una hoja de cálculo de Excel, para agilizar los cálculos y representar gráficamente algunos de estos análisis. Es válido señalar que la información encontrada es correspondiente al año 2017, salvo algunos casos que es 2016.

2.2.3. Fuentes aisladas de generación de energía

En este epígrafe se exponen elementos generales acerca de las fuentes de generación aisladas de energía, que posee el territorio y la situación que este presenta en cuanto a comunidades aisladas. Para desarrollar este se buscó información en la Asamblea Municipal del Poder Popular (AMPP), en el municipio, así como, en la Organización Básica Eléctrica (OBE) del territorio. El resultado del análisis de esta información, se resumió en forma de tabla para hacer más fácil su análisis.

2.3 ETAPA 2. Determinación de los potenciales FRE existentes

Para el desarrollo de ésta segunda etapa de la investigación se hizo necesario cumplimentar una secuencia de pasos, los cuales se muestran en la [Figura 2.3](#):

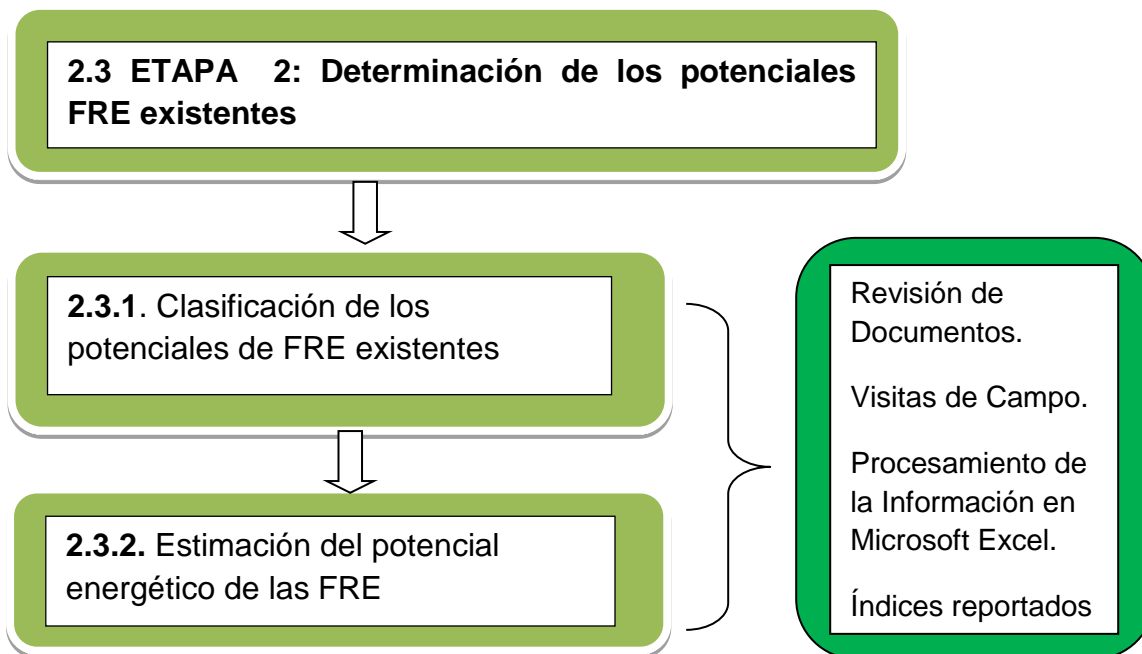


Figura 2.3: Secuencia de la segunda etapa de la investigación. **Fuente:** Elaboración Propia.

2.3.1. Clasificación de los potenciales de FRE existentes

Para determinar las cantidades disponibles de cada residuo se debe realizar la descripción de los recursos en existencia en el municipio en todos sus asentamientos tanto urbanos como rurales; estos residuos pueden ser industriales, agrícolas, pecuarios, solar fotovoltaica, térmica, entre otros.

Residuos pecuarios (porcinos, vacunos y avícolas):

En el municipio de Jatibonico existe un gran potencial biodegradable proveniente de los residuos pecuarios ya sean porcinos, avícolas o vacunos, todos ricos en metano. Para la realización de esta investigación solo se tomaron en cuenta los porcinos y avícolas debido a que son animales que permanecen estabulados durante toda su vida, lo cual permite una mejor recolección de las excretas.

Se analizaron todas las unidades porcinas del municipio, convenios porcinos o cochiqueras existentes, aunque los convenios no son muy factibles a utilizar pues el tiempo de duración es corto -5 meses- y aunque muchas veces los convenistas deciden hacer una renovación del convenio, estas condiciones no son fiables, pero no obstante a esta situación del mismo modo se deben analizar. Todas las entidades antes mencionadas pertenecen a distintas CCS y están en convenio con la empresa porcina del municipio y en algunos casos poseen gran cantidad de residuales que se deben tener en cuenta. De igual forma se analizan las excretas provenientes de dos Unidades Empresariales de Base (UEB) Avícolas existentes en el municipio ya que estos residuos son sólidos mezclados con agua, que en la actualidad causan un problema para el medioambiente pues en la mayoría de los casos los sistemas de tratamiento no funcionan adecuadamente y además causan malos olores en los alrededores de las instalaciones y contaminan las aguas.

Primeramente se debe elaborar el inventario del movimiento de rebaño de cada una de las unidades porcinas y avícolas, luego se calcularon aproximadamente las cabezas de animales equivalentes a 50 y 3.3 Kg respectivamente, pues según (Sánchez, 1993) este es el peso referente a tener en cuenta para la obtención de biogás.

Residuos industriales

En esta investigación se estudian los residuales de las industrias fundamentales del municipio: La Papelera "Panchito Gómez Toro" y la Fábrica de Conservas "Bonico". Los residuos biodegradables que se obtienen en la Papelera son fundamentalmente líquidos que se unen en un sistema de laguna de oxidación, en el caso de conservas, se producen residuos sólidos biodegradables como los semillas y cáscara de tomate, guayaba, mango, fruta bomba, pero en la actualidad son empleados como alimentación animal, por lo que no son considerados en esta investigación.

Según análisis realizados por técnicos de la propia Unidad se estima que por cada tonelada de materia prima que se utilice se obtendrá 0.4 m³ de agua residual y opera un total de 280 días al año teniendo en cuenta los días no laborables, mantenimientos y tiempos perdidos.

Residuos agroindustriales de las producciones de azúcar:

- *Residuos Agrícolas Cañeros, RAC (Sólidos).*

En estos residuos se incluye el cogollo y las hojas verdes y secas. En función de la variedad de caña seleccionada y el rendimiento agrícola, la masa de los mismos equivale de 20 a 26 por ciento de la masa molida. De ellos, cerca de la mitad se extrae del campo con la caña cosechada, al no poder ser separada por la cosechadora. Cerca de 50 a 60 por ciento de la masa extraída, es separado en los centros de acopio y estaciones de limpieza (Sosa, 2013).

Según este mismo autor, en el campo debe quedar aproximadamente el **11,5%** del RAC, pero este número es variable, pues depende de algunos factores como por ejemplo, el tipo de combinada que se ha usado para el corte de la caña. Este residuo no es recomendable usarlo en la producción de biogás pues el mismo debe quedar en el campo como fertilizante y para evitar que prosperen las malas hierbas. El **6,325%** del RAC se extrae de los centros limpieza, este valor es muy variable depende de la eficiencia de cada centro. Actualmente después de la limpieza, lo que queda verde es para alimento animal; el resto se quema en el campo emitiendo gases a la atmósfera, lo que resulta muy perjudicial.

La utilización de este residuo en la producción de biogás tiene efectos positivos pues se dejan de emitir gases a la atmósfera, se obtiene energía y un biofertilizante orgánico de calidad, pero también tiene efectos negativos pues requiere un pre tratamiento previo para disminuir tamaño y elevar biodegradabilidad, lo que eleva los costos de producción de energía y se le extraen nutrientes al suelo, es por esto último que en esta investigación se decide rechazarlos.

- *Cachaza (Sólidos)*

La cachaza o torta de los filtros al vacío es un residuo rico en nitrógeno, fósforo y calcio, que resulta del proceso de clarificación del guarapo. Incluye en su contenido materias terrosas y una cantidad importante de materia orgánica. La cachaza representa de 2,8 a 4,5% de la masa de caña molida (Sosa, 2013).

Este residuo en la actualidad es usado en la fabricación de compost, obteniendo un abono orgánico pero se emiten gases volátiles a la atmósfera, por lo que se recomienda la utilización del mismo para la obtención de energía eléctrica a través de este.

- *Aguas residuales (Líquidos)*

Las fábricas de azúcar producen gran cantidad de aguas residuales que contaminan el medio ambiente (González, 2006). En la actualidad este residuo es tratado en las lagunas de oxidación y luego se utiliza en el fertirriego. Según datos obtenidos en el CITMA el índice de consumo establecido para los Centrales Azucareros es de 0.5 a 0.8 m³/ton caña molida.

Biomasa:

Actualmente se utilizan los residuos de bosques y plantaciones energéticas para la obtención de energía eléctrica a partir de la combustión de los mismos. En el municipio no contamos con residuos de bosques, aunque existen extensas áreas cubiertas de marabú. Aunque a criterio de varios especialistas presenta una problemática, que es el ciclo de vida y reproducción de la planta el cual es muy largo (7 años), lo que dificulta su aplicación práctica en función de la generación de energía eléctrica. Otro aspecto fundamental es el alto precio del carbón de marabú en el mercado internacional, por lo

que el país se ha propuesto una estrategia para la exportación de la misma hacia mercados Europeos y de Asia. En consideración a lo expuesto anteriormente no se tendrá en cuenta en la investigación.

Solar Fotovoltaica:

La energía solar se define como la energía producida por reacciones nucleares al interior del Sol, que son transmitidas en forma de ondas electromagnéticas a través del espacio (radiación solar). El efecto fotovoltaico genera una fuerza electro motriz, en un dispositivo semiconductor, debida a la absorción de la radiación electromagnética al conectarse a un circuito eléctrico.

En cuanto a este potencial, se puede referir que a nivel global es uno de los mayores potenciales con que cuenta la humanidad, pues según la edición de 2018 del Energy Outlook de British Petroleum (BP), citado por (Martínez Plasencia, 2018), este potencial presenta una alta competitividad con las restantes fuentes de energía, el cual aporta el mayor crecimiento en 2018 dentro de las FRE.

En el territorio en particular, esta fuente tiene gran potencial, pues según datos publicados en el anuario estadístico año 2016, la temperatura máxima media en ese periodo fue de 31.7 °C, por encima de la media provincial y nacional de 30.4 °C y 30.0 °C respectivamente, lo cual evidencia en gran medida el impacto que recibe el territorio de las radiaciones solares. En comunicación efectuada, con especialistas del departamento de inversiones de la empresa eléctrica en la provincia, se pudo conocer que esta organización, tiene identificadas las áreas donde se pueden instalar parques solares fotovoltaicos (PSFV), lo cual responde a intereses nacionales y para lo cual existe un programa de desarrollo dirigido por la Unión Nacional Eléctrica (UNE).

En consonancia con lo expuesto anteriormente, se decide rechazar esta FRE en la investigación.

territorio. Los principales tipos de residuos que se encuentran en el territorio se describen en lo adelante.

2.3.2 Estimación del potencial energético de las FRE

Como se puede apreciar el territorio cuenta con una gran variedad de potenciales de FRE, que no se manifiestan de la misma forma ni en la misma medida. Por tal motivo para determinar el volumen de estas fuentes y estimar su potencial se hace necesario, analizar cada uno por separado y convertirlos todos en una misma unidad de energía, en el caso de esta investigación el autor decide expresar los resultados finales en toneladas equivalentes de petróleo (Tep.), para determinar este resultado se multiplicará los metros cúbicos de biogás obtenido por 0.45 ya que es el índice utilizado por la Oficina Nacional de Estadísticas e Información (ONEI) y en los casos de los residuos obtenidos en las excretas porcina y avícolas se calculará el potencial obtenido en el año.

Potencial de Residuos pecuarios:

Primeramente es necesario determinar el inventario de rebaño de estos animales, por cada unidad dentro de cada traza. Para la evaluación de este potencial solo se tuvo en cuenta, los productores pertenecientes al sector estatal, debido que es el sector que mayor estabilidad presenta en sus producciones, además de ser el más fiable en cuanto a la información presentada.

Posteriormente se procedió a calcular la cantidad estimada de metros cúbicos de biogás, que se pudieran haber producido por cada traza en los sistemas productivos seleccionados durante un año. Estos cálculos fueron procesados en una hoja de cálculo Excel. Para la estimación de este potencial se utilizó la expresión 1 tomando como referencia los índices propuestos en (Red Mexicana de Bioenergía, DICIEMBRE 2012) quedando de esta forma:

$$\mathbf{PT}_{\text{porcino y avícola}} = \text{unidades} * \text{peso (kg)} * \% R * \% SV * Bsv * 0.45 \text{ Tep} \quad (1)$$

Donde:

PT_{porcino y avícola}: Potencial total de energía porcino (Tep).

Unidades: cantidad de animales existentes.

Peso: peso en Kg (50 kg en porcino y 3.3 para avícolas).

%R: por ciento de excretas más orina (5% en porcino y 9.15 avícolas).

%SV: por ciento de sólidos volátiles (12% en porcino y 25 avícolas)

Bsv: índice de producción de biogás (0,45m³/kg SV en porcino y 0.46 m³/kg SV en avícola).

Residuos industriales

Para la estimación de este potencial se utiliza la expresión 2, según estudios realizados por la ((ICIDCA), Junio 2004) el índice para la obtención de m³ de biogás a partir de las aguas residuales será 0.38 m³biogás/kgresidual:

$$PT_{\text{industrial}} = 0.38 \text{ m}^3\text{biogás/kgresidual} * \text{kg}_{\text{residual}} * 0.45 \text{ Tep} \quad (2)$$

Donde:

PT_{industrial}: Potencial total de energía (Tep).

Kg_{residual}: residual existente (kg)

Residuos agroindustriales de las producciones de azúcar:

Para la estimación de este potencial se utiliza la expresión 3 y 4 respectivamente, según ((ICIDCA), Junio 2004) el índice para la obtención de m³ de biogás a partir de las aguas residuales será 0.38 m³biogás/kgresidual y en estudios realizados por (Lisbet Mailin López González, 2013) el índice para el cálculo de la cachaza será de 250 m³biogás/tncachaza:

- *Cachaza (Sólidos)*

$$PT_{\text{cachaza}} = 250 \text{ m}^3\text{biogás/tncachaza} * \text{tn}_{\text{cachaza}} * 0.45 \text{ Tep} \quad (3)$$

Donde:

PT_{cachaza}: Potencial total de energía (Tep).

tn_{cachaza}: Residual existente (tn).

- *Aguas residuales (Líquidos)*

$$PT_{\text{residual}} = 0.38 \text{ m}^3\text{biogás/kgresidual} * \text{kg}_{\text{residual}} * 0.45 \text{ Tep} \quad (4)$$

Donde:

PT_{residual}: Potencial total de energía (Tep).

Kg_{residual}: Residual existente (kg).

2.4. Etapa 3. Selección de escenarios relevantes para la implementación de las FRE

Al igual que en las etapas anteriores, se cumple una secuencia para el desarrollo de esta etapa los cuales se muestran en la [Figura 2.4](#).

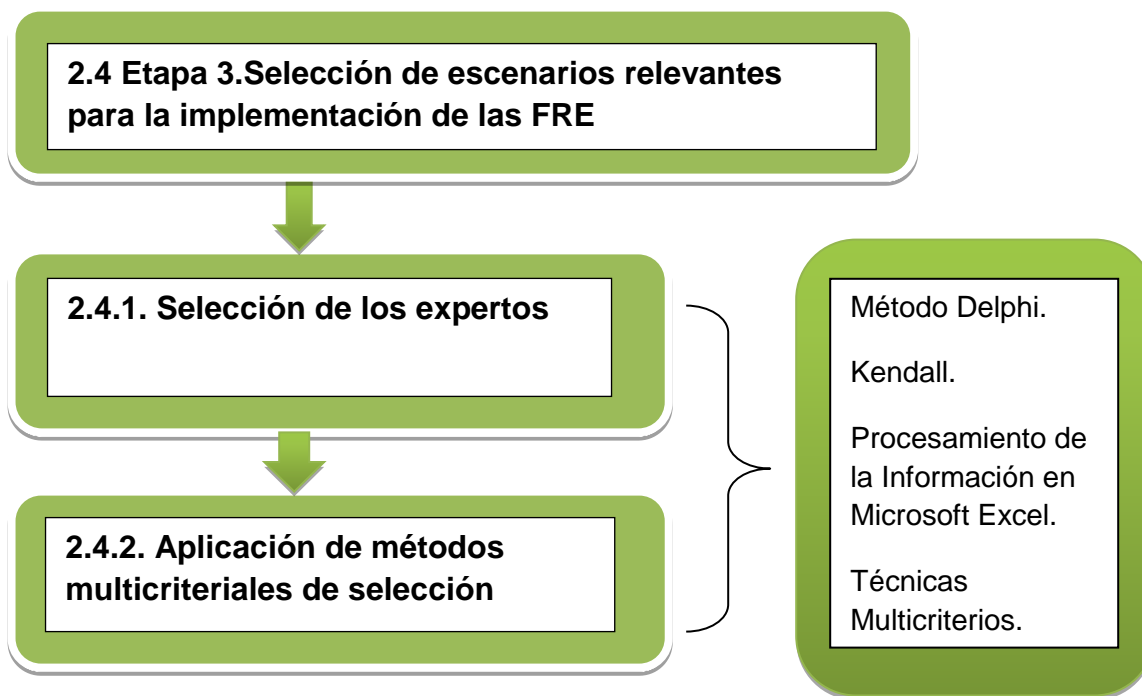


Figura 2.4. Secuencia de la tercera etapa de la investigación.

Fuente: Elaboración Propia.

2.4.1 Selección de los expertos

Para dar cumplimiento a esta etapa de la investigación, es necesario tener en cuenta lo siguiente:

Primeramente, se identifican los posibles expertos a utilizar en la investigación, los cuales deben estar relacionados de alguna manera con el tema de tratado. Un elemento importante dentro de este paso es que los expertos deben ser identificados a partir de las características siguientes: experiencia, competencia, creatividad, disposición a participar en la encuesta, capacidad de análisis y de pensamiento, interés colectivista y autocrítico.

Luego se realiza, la evaluación de los expertos, a partir de determinar su nivel competencia, para lo cual se utilizó el método Delphi a través de la metodología establecida por (Mendoza, 2003) la cual se describe a continuación:

Primeramente se calculó el **Coefficiente de Conocimiento o Información (Kc)**, a través de la expresión (5).

$$K_{cj} = n * (0,1) \tag{5}$$

Donde: K_{cj}: Coeficiente de Conocimiento o Información del experto “j”

n: Rango seleccionado por el experto “i” (tabla 2.1).

Tabla 2.1: Rango de conocimiento en el tema, auto-seleccionado por cada experto.

Experto “i”\ Escala	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Posteriormente se calculó el **Coefficiente de Argumentación (Ka)** de cada experto, expresión (6).

$$K_a = \sum_{i=1} N_j \tag{6}$$

Donde: K_a: Coeficiente de Argumentación

n_i: Valor correspondiente a la fuente de argumentación “i” seleccionada por cada uno de los expertos (1 hasta 6). Las casillas marcadas por cada experto en la tabla se llevaron a los valores de una tabla patrón (tabla 2.2).

Tabla 2.2: Fuentes de argumentación evaluadas en cada uno de los expertos.

Fuentes de argumentación	Alto	Medio	Bajo
Estudios teóricos realizados	0.27	0.21	0.13
Experiencia obtenida	0.24	0.22	0.12
Conocimientos de trabajos en Cuba	0.14	0.10	0.06
Conocimientos de trabajo en el extranjero	0.08	0.06	0.04
Consultas bibliográficas	0.09	0.07	0.05
Cursos de actualización	0.18	0.14	0.10

Una vez obtenidos los valores del **Coefficiente de Conocimiento** (K_c) y el **Coefficiente de Argumentación** (K_a), se procedió a obtener el valor del **Coefficiente de Competencia** (K), que finalmente fue el coeficiente utilizado para la selección de los expertos tomados en consideración para la ponderación de cada indicador. Este coeficiente (K) se calculó según la expresión (7).

$$K = 0,5 (K_c + K_a) \quad (7)$$

Donde: K : Coeficiente de Competencia

Posteriormente se valoró el resultado del coeficiente de competencia de cada experto en la siguiente escala según el método empleado:

0,8 < K < 1,0 Coeficiente de Competencia Alto

0,5 < K < 0,8 Coeficiente de Competencia Medio

K < 0,5 Coeficiente de Competencia Bajo

Se seleccionaron para la consulta, a los expertos de competencia alta y media, nunca a los de competencia baja.

Después se seleccionan los expertos, para lo cual se hace necesario primero que todo, determinar la cantidad de expertos necesarios para la investigación. Este valor se determinó por la expresión (8), a partir de la distribución binomial.

$$n_e = \frac{p(1-p)k}{i^2} \quad (8)$$

Donde:

n_e : cantidad necesaria de expertos

p : proporción estimada de errores de los expertos

i : nivel de precisión deseada en la estimación

k : constante asociada al nivel de confianza elegido ($1-\alpha$).

Valores de la constante k para el nivel de confianza ($1-\alpha$).

(1-α)	α	$\alpha/2$	$Z_{\alpha/2}$	K
0,90	0,10	0,05	1,64	2,6896
0,95	0,05	0,025	1,96	3,8416
0,99	0,01	0,005	2,58	6,6564

Los valores asignados a las variables de la expresión (8) fueron:

$p: 0,01$ $i: 0,10$ $(1-\alpha)= 0,99$ $k= 6,6564$

Lo cual se encuentra dentro de los límites establecidos en la INC-49:81 para que el número de expertos esté entre 7 y 15.

Una vez determinada la cantidad de expertos se procede a su selección, esta se realiza a partir de los resultados obtenidos en el paso # 2, por medio del nivel de competencia alcanzado por cada experto, en el que se seleccionan los que mayor nivel de competencia poseen entre expertos propuestos inicialmente, de acuerdo con el resultado obtenido en la expresión (7).

Los cuestionarios aplicados a cada uno de los expertos para el cálculo del coeficiente de competencia (Anexo # 1)

2.4.2 Aplicación de métodos multicriteriales de selección

Para aplicar el método de selección, a partir de técnicas Multicriterios, igualmente se elaboran una serie de pasos para aplicar este método planteados por Marrero Delgado, los cuales se describen a continuación:

Paso # 1: Definición de las alternativas o escenarios a evaluar.

Para desarrollar este punto se tuvo en cuenta la estructura en la que se trabajó durante la investigación, que se basó en el trabajo por circuitos del municipio La Sierpe, por lo cual estos serán los escenarios o alternativas a evaluar.

Paso # 2: Definición de los criterios de decisión (7 ± 2).

En este paso, se definen los criterios de decisión a tener en cuenta en la investigación basado en la teoría de (7 ± 2), que plantea que el ser humano solo puede desarrollar (7 ± 2) cosas a la vez. Estos criterios se establecieron a partir de la búsqueda bibliográfica expuesta en el capítulo 1, teniendo en cuenta las dimensiones económicas, ambientales y sociales más empleadas para la evaluación de alternativas a estos efectos.

Por sus características estos criterios se pueden expresar de forma cuantitativa o cualitativa, en el caso este último es necesario cuantificar estos criterios cualitativos, en aras de poder emplearse en los cálculos a realizar. En esta investigación se establecieron cinco criterios cualitativos y tres cuantitativos, en el caso de estos últimos los valores se determinaron a partir de los resultados obtenidos en las dos primeras

etapas de la investigación. En el caso de los criterios cualitativos, se definió un rango de evaluación que se muestra en la [tabla 2.3](#).

Tabla 2.3: Rango de Evaluación de los Criterios Cualitativos.

Criterios Cualitativos	Rango	Valor del Rango
Experiencias previas en Cuba.	Ninguna	1
	5 ó Menos	2
	Más de 5	3
Nivel de Prioridad	Baja	1
	Media	2
	Alta	3
Articulación con otros Proyectos	No Articula	1
	Articula	2
Daños Ambientales	Bajos	1
	Moderados	2
	Severos	3
Percepción de los Actores	Desfavorable	1
	Aceptable	2
	Favorable	3

Fuente: Elaboración Propia.

Paso # 3: Evaluación de cada alternativa según cada criterio.

Este paso se cumplimenta, a través de datos obtenidos en la recopilación de información, a partir de pronósticos y estimaciones, además de los intereses de los actores implicados en la investigación.

Paso # 4: Obtención de los pesos o importancias relativas de cada criterio. (Ponderación).

Dentro de este paso de la investigación, un elemento importante a tener en cuenta, es la determinación del nivel de concordancia del juicio de los expertos. En la cual los expertos seleccionados asignaron un orden de importancia a los criterios a evaluar

definidos en el paso # 2, para ello se utilizó el cuestionario mostrado en el (Anexo # 2). Una vez completado el cuestionario se conformó la tabla resumen, que muestra los valores de importancia asignados por cada experto a los criterios (Anexo # 3).

Posteriormente se determinó el nivel de concordancia basado en el cálculo del coeficiente de Kendall (9) que expresó el grado de asociación entre los M expertos, constituyendo una medida del grado de correlación utilizando rangos.

$$W = \frac{1 - \frac{6 \sum \sigma^2}{K_{exp}^3(n-1)}}{1}$$

Donde:

n: cantidad de criterios

K_{exp}: cantidad de expertos.

σ: desviación de valor medio de los juicios emitidos y se calculó por la expresión (6):

$$\sigma = \sqrt{\sum R_j - T} \quad (10)$$

Donde:

T: factor de comparación (valor medio de los rangos) y se calculó por la expresión (7):

$$T = 0.5 * (n+1) * K_{exp} \quad (11)$$

R_j: valores asignados por los expertos a cada criterio.

Para probar la significación del grado de concordancia de los expertos al ordenar los criterios por su importancia (significación de W) se empleó la siguiente prueba estadística, recomendada para cuando la cantidad de factores (criterios) es superior a 7.

Ho: no hay concordancia en el juicio de los expertos

H1: hay concordancia en el juicio de los expertos

Estadígrafo: $X^2 = K_{exp} * W(n-1)$

Región crítica: $X^2 > X^2_{(a; k-1)}$

Determinando $X^2_{(a; k-1)}$ con el número criterios ponderados (n), en la tabla Chi-Cuadrado (Siegel 1970), (Anexo # 4).

La concordancia entre los expertos se determina a partir del rechazo de la hipótesis nula (H_0), si $X^2 > X^2_{(a; k-1)}$ para el nivel de significación tomado para la pruebas de hipótesis realizada.

Para dar continuidad al paso # 4, una vez evaluado el nivel de concordancia en el juicio de los expertos, para cada uno de los criterios a evaluar, se procedió entonces a la ponderación de estos criterios.

Existen varios métodos para establecer la importancia relativa o pesos de los criterios, estos pueden ser objetivos y/o subjetivos. En la investigación esta ponderación se realiza con el empleo de cada método y luego se combinan para arribar a un mejor resultado (Marrero Delgado, 2001).

Entre los métodos de cálculo subjetivos se encuentran el Triángulo de Füller, la Ordenación Simple, la Asignación probabilística de Rietveld, el AHP de Saaty, la Tasación Simple, las Comparaciones sucesivas y la Asignación directa por ratios; estos métodos permiten tener en cuenta las preferencias del decisor de un criterio respecto a otro. Con el fin de utilizar los valores de importancia dados por los expertos a cada indicador se utilizó la ordenación simple pues se ajusta a los requerimientos de los indicadores.

Sin embargo, teniendo en cuenta que los valores fueron ordenados por orden de importancia dando 1 al valor más importante y el valor del número de máximo de indicadores al menos importante (contrario a lo que establece el método de Ordenación simple), fue necesario homogenizar la matriz como el inverso de los R_{ij} , con vistas a lograr el mayor factor de peso para el elemento más importante.

El cálculo del peso por indicador se efectuó mediante la expresión (12):

$$W = \sum (1/R_j) / \sum (1/R_{ij}) \quad (12)$$

Donde:

R_{ij} : valor otorgado por cada experto "i" a cada indicador "j"

Como se mencionó anteriormente la importancia relativa o pesos de los criterios debe ser establecida por métodos objetivos y subjetivos, a partir de una combinación de ambos pesos, por tanto una vez determinado el peso por el método subjetivo, se procede entonces a determinar el peso de estos criterios por métodos objetivos.

Entre los métodos objetivos se pueden encontrar el Método de Diakoulaki y el de la Entropía, que solo tienen en cuenta los valores de la matriz neutralizada obviando las preferencias que el decisor tiene de un criterio respecto a otro. A partir de los datos obtenidos en la matriz ejemplo se calcularon porcentajes de peso por métodos objetivos, utilizando el método de la entropía. Para lo cual fue necesario primeramente homogenizar los valores R_{ij} de dicha matriz a valores H_{ij} , con el fin de convertirla en una matriz donde los valores máximos sean los mejores indicadores.

Para esto se utilizó la siguiente expresión (13).

$$H_{ij} = Q_h - R_{ij} \quad (13)$$

Donde: Q_h es un número arbitrario suficientemente grande para que todos los valores pasen de mínimo a máximo. En esta investigación se tomó como valor $Q_h = 1000$ y solo se aplicó al criterio C3 en la tercera fila de la matriz.

Para dar continuidad al ejercicio es necesario normalizar los datos o sea llevarlos a una misma unidad de medida, de manera que puedan ser comparados. Para ello se neutralizaron los valores de la matriz homogenizada, obteniéndose la matriz normalizada (N_{ij}). A partir de estos valores se determina el valor de la entropía (E_j) de cada criterio, la cual se determinó a partir de la expresión (14).

$$E_j = -k * (\sum N_{ij} * \log N_{ij}) \quad (14)$$

Donde:

K: es una constante que se ajusta para que siempre sea $0 \leq E_j \leq 1$, para todo j , y se determina a partir de la expresión de cálculo 15:

$$k = 1 / (\log m) \quad (15)$$

Donde: m ; es la cantidad de criterios.

Como la entropía (E_j) de un criterio es tanto mayor cuanto más iguales son sus evaluaciones N_{ij} , lo cual es precisamente lo contrario de lo que se desea que ocurra si (E_j) fuese a ser un valor aproximado del peso de W_{ij} del criterio. Se utilizó por tanto una

medida opuesta que se puede denominar como la diversidad (D_j) del criterio la cual se determina por la expresión (16).

$$D_j = 1 - E_j. \tag{16}$$

Finalmente después de normalizada a suma uno, las diversidades D_j se obtienen los pesos objetivos por la expresión (17).

$$W_{ij} = D_j / \sum D_j \tag{17}$$

Por último, una vez determinado los pesos objetivos y subjetivos de los criterios ponderados, se procede entonces a determinar el peso de cada criterio combinando los dos métodos, a partir de la expresión planteada (18) por (Marrero Delgado, 2001). La cual plantea lo siguiente:

$$W_{ij} = W_{ij\text{ obj}} * W_{ij\text{ sub}} / \sum W_{ij\text{ obj}} * W_{ij\text{ sub}} \tag{18}.$$

Donde:

$W_{ij\text{obj}}$: es el peso del indicador basado en métodos objetivos.

$W_{ij\text{sub}}$: es el peso del indicador basado en métodos subjetivos

Paso # 5: Construcción de la matriz de decisión.

En este paso se construye la matriz de decisión a partir de los cálculos realizados en los pasos anteriores, de acuerdo con los escenarios a seleccionar y los criterios evaluados.

Paso # 6: Aplicar un método de agregación.

Pueden existir varios métodos de agregación, en este caso se utiliza el de suma ponderada o utilidad aditiva (SP_i), como también se denomina. Este se determina por la expresión de cálculo (19).

$$SP_i = \sum_j N_j * W_j \tag{19}$$

Paso # 7: Ordenar las alternativas o escenarios.

Este paso se cumplimenta, a partir de ordenar, las alternativas o escenarios en forma ascendente o descendente a partir de su valor de suma ponderada SP_i , de manera que permita su selección.

Paso # 8: Selección del escenario o alternativa.

Este sería el último paso contenido dentro de la investigación, en el cual se selecciona el escenario que mayor valor de SPi tenga, el que sería entonces el escenario más relevante para la implementación de FRE, en el territorio evaluado.

Es necesario resaltar que esta metodología propuesta por Marrero Delgado, incluye dos últimos pasos, que serían la implantación y el seguimiento y control, los cuales no se desarrollan en la investigación puesto que no es objetivo de la misma.

Conclusiones Parciales:

En este capítulo se arribaron a las siguientes conclusiones:

1. Se emplean tres etapas para dar cumplimiento a la investigación que parten de la caracterización energética del municipio.
2. Se combinan métodos basados en la revisión documental, el criterio de expertos, las pruebas de hipótesis y las técnicas multicriteriales para dar cumplimiento a los objetivos trazados.

Capítulo 3

Capítulo III. Resultados y discusión

3.1 Introducción

En este capítulo se exponen los resultados obtenidos durante la caracterización energética del municipio de Jatibonico para el apoyo al desarrollo local desde la implementación de las FRE.

3.2 ETAPA 1: Caracterización Energética del municipio

3.2.1 Descripción general del municipio

El municipio de Jatibonico antiguamente por la división política – administrativa pertenecía a la provincia de [Ciego de Ávila](#), y hoy pertenece a Sancti Spíritus. Está ubicado al este de la provincia de Sancti Spíritus, al norte limita con el municipio de [Yaguajay](#) y la provincia de Ciego de Ávila. Al sur con el municipio de [La Sierpe](#) y al oeste con los municipios [Taguasco](#) (Ecured.cu, 2017).

Jatibonico posee una extensión territorial de 763.7 kilómetros cuadrados, representa el 11,3 % de la superficie total de la provincia. Cuenta con 43 219 habitantes y está formado por 40 asentamientos (2 urbanos y 38 rurales), estos se encuentran agrupados en 9 Consejos Populares (3 urbanos y 6 rurales). Se muestran en el [Anexo 5](#), la localización por Asentamientos de las localidades en el municipio (Ecured.cu, 2017).

Este municipio, se caracteriza por ser un territorio agroindustrial – azucarero. Todo el desarrollo industrial se localiza en la cabecera municipal. En el resto del territorio se desarrolla la actividad cañera, pecuaria, forestal y de cultivos varios, además de la acuicultura.

Dentro de los principales sistemas productivos están, la Industria Azucarera Uruguay (principal renglón de su economía), la Fábrica de Papel "[Panchito Gómez Toro](#)", y la Fábrica de Conservas Bonico. Adicionalmente, se localizan sistemas productivos de menor tamaño como, la fábrica productora de asfalto (actualmente fuera de servicio) y la denominada Gran Panel para la construcción de Pre Fabricados.

El Sector Campesino cuenta con 6 Cooperativas de Producción Agropecuaria (CPA), 3 dedicadas al cultivo de la caña, 3 dedicadas al cultivo de viandas y hortalizas, y 18 UBPC dedicadas netamente al cultivo de la caña de azúcar. Además se han constituido

21 Cooperativas de Crédito y Servicios (CCS) dedicadas al cultivo de la caña y del tabaco ((ONEI), EDICIÓN 2017).

3.2.2 Caracterización del consumo energético

El consumo energético del municipio está compuesto en su mayoría por la utilización de combustibles fósiles. La estructura general del sistema electroenergético en el municipio Jatibonico se muestra en la [Figura 3.1](#). El Sistema Electro Energético Nacional entra al municipio por una línea de 110kv; luego es reducida mediante un transformador a 34 kv; luego esta se distribuye mediante trazas que llevan la electricidad a 13 o 4kv; estos pasan a subestaciones y por último se dividen en los diferentes circuitos eléctricos que se encuentran el municipio para entregar la energía eléctrica al sistema estatal y residencial.

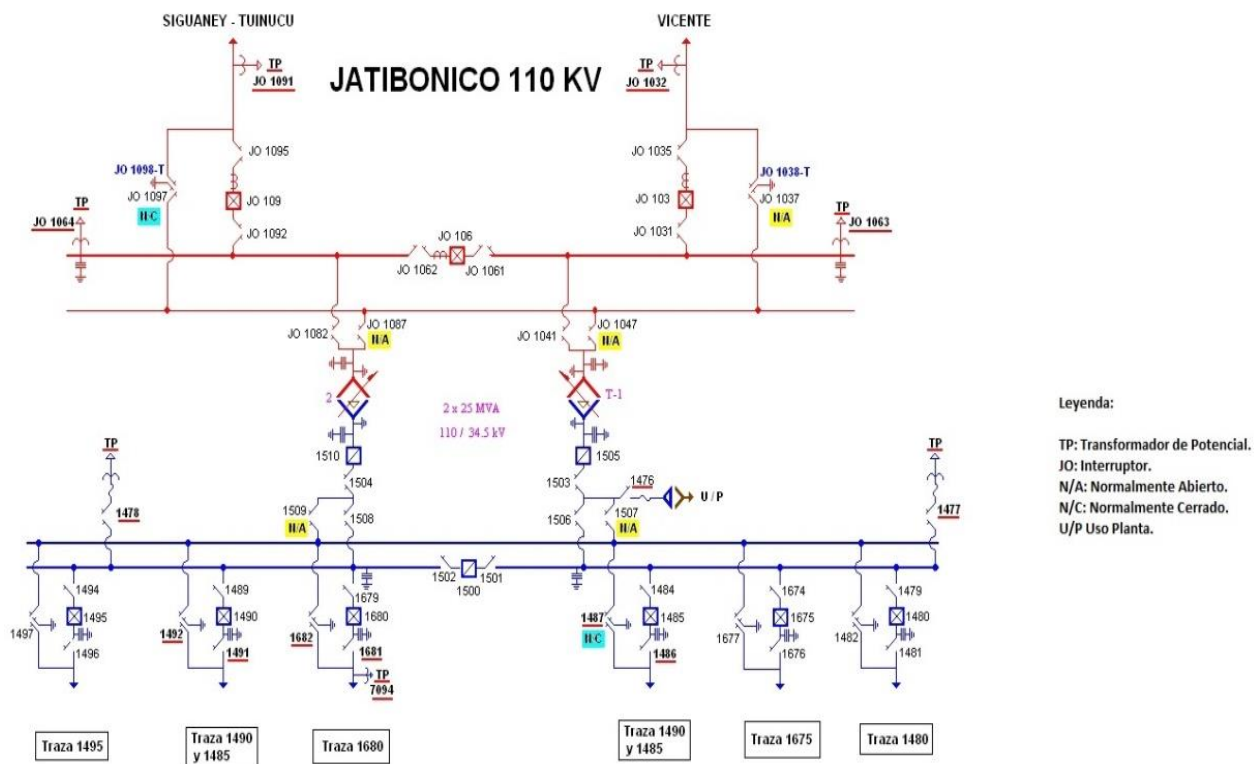


Figura 3.1. Estructura general del Sistema Electroenergético

La estructura de las trazas con sus subestaciones y circuitos se muestra en la [Figura 3.2](#).

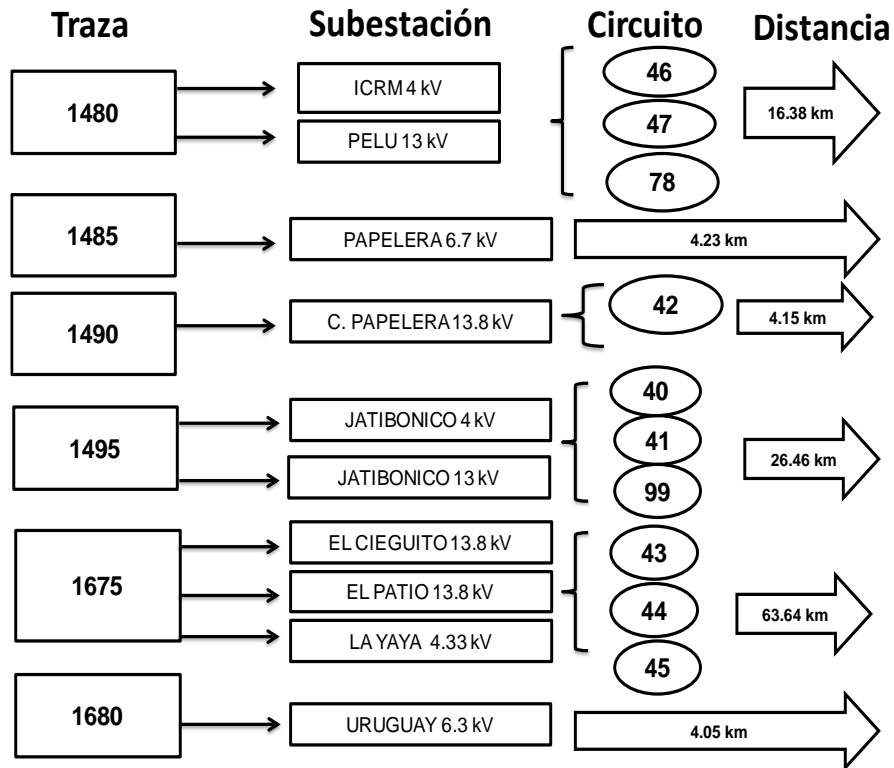


Figura 3.2. Estructura del Sistema Eléctrico.

En el caso de las subestaciones Papelera y Uruguay son de uso exclusivo de estos Sistemas Productivos. Se muestra de forma más detallada la estructura de la traza en los [Anexos 6-10](#); al igual que las subestaciones en los [Anexos 11-20](#) y los Circuitos Eléctricos en los [Anexos 21-30](#).

Los datos mensuales en MWh registrados por el Departamento Comercial de la Empresa Eléctrica del municipio en el año anterior, tanto estatal como residencial se muestran en [Figura 3.3](#). Se puede apreciar que el mayor consumo energético está relacionado con el sector estatal (Municipal, 2017).

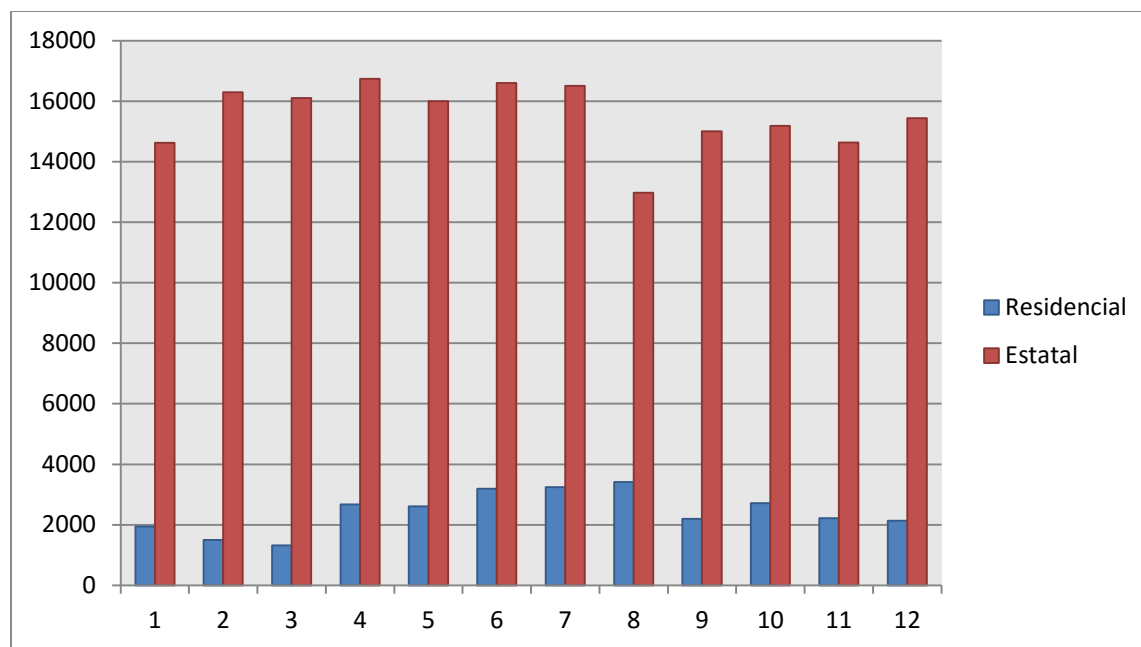


Figura 3.3. Representación del consumo de energía eléctrica vs Meses.

Podemos apreciar que la diferencia que existe en ambos sectores es notable por lo que establece al sector estatal como objeto de la presente investigación, ya que en él se encuentran las mayores potencialidades para reducir consumos y generalmente posee las mejores oportunidades de implementación de las FRE.

Dentro del sistema estatal, los sistemas productivos con mayores consumos, según la traza en la que se encuentran se detalló en las tablas 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6 y 3.7.

La traza 1680 mostró un consumo promedio anual de 254657.25 MWh; el 84% de los consumos son realizados por el Central Uruguay manifestándose como su principal consumidor. La Fábrica de Hielo representó el 10% y la Aguada Central Uruguay solo el 7% (Tabla 3.1).

Tabla 3.1. Consumos promedio de sistemas productivos en el año.

Traza	Sistema Productivo	Consumo Promedio MWh/año	% Acumulado
1680	Uruguay	213,165	84
	Fábrica de Hielo	2460,542	10
	Aguada Central Uruguay	1688,683	7
Subtotal		254657.25	100

La traza 1495 tuvo un consumo promedio anual de 1423140.76 MWh, distribuidos en diferentes sectores. Su principal consumo fue el alumbrado público, representando el 39% del total en el sector (tabla 3.2).

Tabla 3.2. Consumos promedio de sistemas productivos en el año.

Traza	Sistema Productivo	Consumo Promedio MWh/año	% Acumulado
1495	Alumbrado Público	5486,269	39
	Centro de Limpieza Batey	2732,250	19
	Panadería XX Aniversario	1342,958	9
	Panadería La Nueva	12865.83	9
	Fábrica de Embutido La Loma	12709.75	9
	Hospital Mártires de Barbados	7631.83	5
	Oficinas de ETECSA	6883.25	5
	Panadería Arrollo Blanco	6605.33	5
Subtotal		142310.76	100

La traza 1480 presentó un consumo de 127314.5 MWh. Dentro de la misma, su principal consumo se correspondió con el centro de limpieza Batey (tabla 3.3).

Tabla 3.3. Consumos promedio de sistemas productivos en el año.

Traza	Sistema Productivo	Consumo Promedio MWh/año	% Acumulado
1480	Centro de Limpieza Valle 1	111056.0	87
	Bombeo Goteo Reforma	16258.5	13
Subtotal		127314.5	100

La traza 1675 tiene un consumo promedio de 40410.84 MWh/d; sus principales consumos son en estaciones de bombeo de agua potable (EBAP) El Patio y El Cieguito; uno con el 53% y el otro con el 47% respectivamente (tabla 3.4).

Tabla 3.4. Consumos promedio de sistemas productivos en el año.

Traza	Sistema Productivo	Consumo Promedio MWh/año	% Acumulado
1675	EBAP El Patio	21339.92	53
	EBAP El Cieguito	19070.92	47
Subtotal		40410.84	100

Por su parte, la traza 1490 presentó un consumo promedio anual de 37486.5 MWh y su mayor consumidor fue la EBAP La Papelera representando el 77% del total, seguido de la Base de Alzadora con el 23% (tabla 3.5).

Tabla 3.5. Consumos promedio de sistemas productivos en el año

Traza	Sistema Productivo	Consumo Promedio MWh/año	% Acumulado
1490	EBAP Papelera	28706.58	77
	Base de Alzadora	8779.92	23
Subtotal		37486.5	100

Finalmente, la traza 1485 evidenció que su uso es exclusivo para La Papelera, representando el 100% de los consumos eléctricos (tabla 3.6).

Tabla 3.6. Consumos promedio de sistemas productivos en el año

Traza	Sistema Productivo	Consumo Promedio MWh/año	% Acumulado
1485	Papelera	16258.5	100
Subtotal		16258.5	100

En la [Figura 3.4](#) se mostraron un resumen de los consumos energéticos por trazas en el municipio de Jatibonico. Se identificó que la traza 1680 fue la de mayores consumos de electricidad con un 41 % del total, seguido por la 1495 que representó el 23 % y la traza 1480 representando el 21 %. En general, se pudo identificar que las trazas 1485; 1495 y 1480 son las mayores consumidoras en el municipio; por lo que será esencial incidir sobre ellos para la disminución de sus demandas.

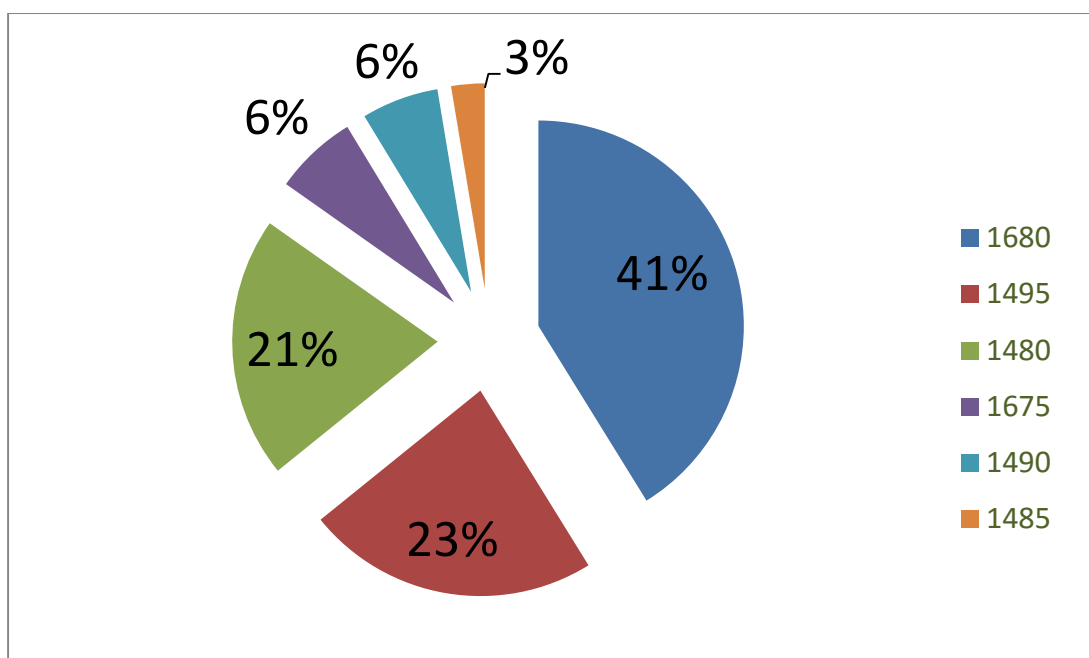


Figura 3.4. Matriz Energética en su distribución por trazas.

3.2.3 Fuentes aisladas de generación de energía

Dentro de los principales sistemas productivos existentes encontramos el Central Uruguay perteneciente a la traza 1680, pero a su vez este sistema productivo entrega electricidad a partir de la quema del bagazo como FRE. Se muestra en la [Tabla 3.7](#) el aporte en MWh durante la contienda de enero hasta abril del año 2017.

Tabla 3.7. Entrega al Sistema Electro Energético Nacional.

Traza	Mes	Entrega al Sistema (MWh/año)	%
1680	Enero	1426,784	36
	Febrero	1186,950	30
	Marzo	945,440	24
	Abril	437,324	10
Total		3996,498	100

En algunos municipios no se ha podido realizara su electrificación con el SEN, es por ello que se han instalado como alternativas los paneles fotovoltaicos para dar así

solución a las comunidades aisladas. En la [Tabla 3.8](#) se pueden apreciar los datos sobre las comunidades que hoy cuentan con esta FRE, el número de viviendas y la traza más cercana a la comunidad.

Tabla 3.8. Paneles Fotovoltaicos según traza más cercana:

Traza	Comunidad	Cantidad de Vivienda con PFV
1480	Cristales	1
	Melones	1
1495	Arrollo Blanco	32
	El Meso	6
1675	El Patio	4
	Vigía	1
Total		45

Los paneles fotovoltaicos instalados hoy en estas viviendas cuentan con una potencia de 0.250 MW y una disponibilidad de 8 a 10 horas; por lo que se dispone de 2.25 MWh/día. Según estudios realizados por la Empresa Eléctrica Municipal una persona consume un promedio de 1.8 MWh/día y en cada vivienda existe un promedio de 2 habitantes por lo que se puede precisar que el consumo promedio de una vivienda aislada es de 3.6MWh/día; lo que nos indica que la potencia instalada no es suficiente para cubrir la demanda eléctrica en estas comunidades.

3.3 ETAPA 2. Determinación de los potenciales FRE existentes

3.1 Clasificación de los potenciales de FRE existentes

Residuos pecuarios (porcinos y avícolas):

En el municipio de Jatibonico existe un gran potencial biodegradable proveniente de los residuos pecuarios. Se analizaron todas las unidades porcinas del municipio con grandes cantidades de cerdos estabulados. De igual forma se analizan las excretas provenientes de dos Unidades Empresariales de Base (UEB) Avícolas existentes. Las [Tablas 3.9 y 3.10](#) muestran la cantidad de unidades porcinas y avícolas según la traza a la que podrían entregar energía eléctrica al SEN.

Tabla 3.9. Distribución porcina.

Traza	Cabezas	% Acumulado
1490	1550	34
1495	1400	31
1675	1400	31
1480	200	4
Total	4550	100

Tabla 3.10. Distribución Avícola.

Traza	Cabezas	% Acumulado
1490	2000	57
1675	1530	43
Total	3530	100

Residuos industriales

En la papelera Panchito Gómez Toro durante el pasado año se liberaron un total de **10 460.64m³** de agua, estas se dirigen hacia un sistema de lagunas de oxidación; este potencial se encuentra dentro de la traza 1485.

Residuos agroindustriales de las producciones de azúcar

Los residuos agroindustriales que se producen del municipio de Jatibonico son caracterizados principalmente por sólidos y líquidos: las aguas residuales y la cachaza. La UEB “Uruguay” cuenta con una capacidad potencial de molienda es de 9200 t/día y opera un promedio de 134 días/año; se encuentra en la traza 1680.

Cachaza (Sólidos)

En la zafra correspondiente al año 2016-2017 se obtuvieron **39207.64** ton.

Aguas residuales (Líquidos)

Según datos obtenidos por la UEB Central Uruguay la cifra de agua residual asciende a **19 862.64m³**.

3.2 Estimación del potencial energético de las FRE

Para realizar la estimación de la cantidad de energía a obtener, a partir de estos potenciales, se realizó un análisis de cada uno por escenario y luego se aglomeraron

de manera general. Los resultados finales de los cálculos realizados se expresan en Toneladas equivalentes de petróleo (Tep), a continuación, se especifican las trazas, y sus potencialidades (Tabla 3.11).

Tabla 3.11. Potenciales de FRE para cada una de las trazas existentes en Jatibonico

Traza	Potencial	Unidad	cantidad	m3biogás	tep
1480	Porcino (unid.)	Julio Careaga	200	16200,00	7290,00
Subtotal				16200,00	7290,00
1485	Agua Residual (kg)	Papelera	10460,64	3975,04	1788,77
Subtotal				3975,04	1788,77
1490	Porcino(unid.)	MICONS	100	8100,00	3645,00
		MINAGRI	400	32400,00	14580,00
		Amado Sánchez	900	72900,00	32805,00
		Roberto Gutiérrez	150	12150,00	5467,50
	Avícola(unid.)	El Túnel	2000	250014,60	112506,57
Subtotal				375564,60	169004,07
1495	Porcino(unid.)	Ventura Guerra	500	40500,00	18225,00
		Onelio Hdez	50	4050,00	1822,50
		Carmelo Noa	300	24300,00	10935,00
		Emilio Obregón	200	16200,00	7290,00
		Hermanos Santos	350	28350,00	12757,50
Subtotal				113400,00	51030,00
1675	Porcino(unid.)	Julio A. Mella	450	36450,00	16402,50
		Ciro Redondo	350	28350,00	12757,50
		Pastor Meneses	300	24300,00	10935,00
		UBPC La Vega	300	24300,00	10935,00
	Avícola(unid.)	La Yaya	1530	191261,17	86067,53
Subtotal				304661,17	137097,53
1680	Agua Residual (kg)	Central Uruguay	19862,64	7547,80	3396,51
	Cachaza (tn)		39207,64	9801910,00	4410859,50
Subtotal				9809457,80	4414256,01
Total				10623258,62	4780466,38

Se pudo apreciar que la traza 1680 fue la de mayores potencialidades a partir del aprovechamiento de las aguas residuales y la cachaza para la producción de biogás,

representando un total anual de **4414256** Tep. Por su parte, las trazas 1490, 1495 y 1675 mostraron potenciales superiores a los 50 mil Tep anuales a partir de residuales de las producciones porcinas y avícolas. Las trazas menos significativas, fueron la 1480 y la 1485 con un potencial total de 7290 Tep y 1789 Tep, respectivamente.

El potencial estimado del municipio de Jatibonico es de **10623258,62** m³ de biogás, lo que equivale a **4780466,38** Tep, las cuales no se están explotando y pudieran ser de gran utilidad para el aprovechamiento de las mismas y evitar de esta forma la quema de combustibles fósiles.

3.4 Etapa 3. Selección de escenarios relevantes para la implementación de las FRE

3.4.1 Selección de los expertos

Para identificar los posibles expertos, a participar en la investigación se realizó una tormenta de ideas, con especialistas y directivos del Centro de Estudios de Energía y Procesos Industriales (CEEPI). Como resultado de esta actividad se identificaron un total de 9 posibles expertos, cuyos datos aparecen en el Anexo # 32.

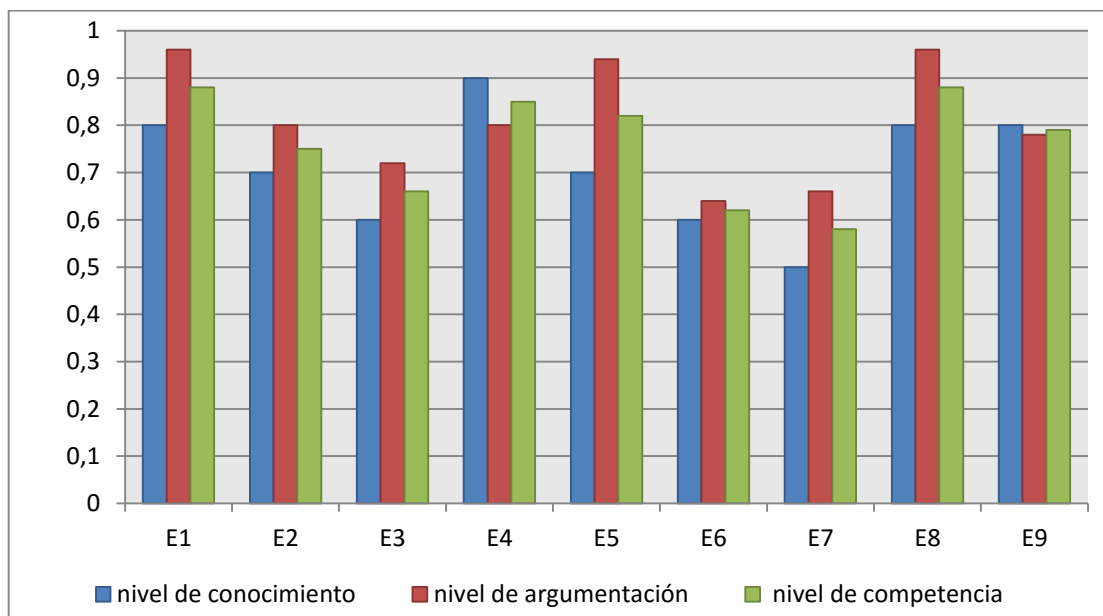


Figura 3.6. Evaluación del nivel de competencia de los expertos.

A partir de la evaluación del nivel de competencia de los expertos se determinó la cantidad de expertos necesarios para la realización del estudio. El cálculo se realizó para un nivel de confianza del 99%, con una proporción estimada del error de los

expertos (p) de 0,01 y una precisión (i) de 0,1 el número de expertos (N_e) es 6,5898 donde se decide tomar como número de expertos 7.

Luego de determinar la cantidad de expertos necesarios se seleccionaron 7 entre los 9 expertos propuestos, desechando los de menos nivel de competencia. Los expertos seleccionados obtuvieron un nivel de competencia entre medio y alto, siendo alto para más del 50% de los mismos.

3.4.2 Aplicación de métodos multicriteriales de selección

En cumplimiento de los pasos establecidos en el capítulo 2, se procedió a seleccionar el escenario más relevante.

Paso1: Definir los escenarios o alternativas.

- Escenario 1 (E1): Traza 1490.
- Escenario 2 (E2): Traza 1680.
- Escenario 3 (E3): Traza 1495
- Escenario 4 (E4): Traza 1480
- Escenario 5 (E5): Traza 1675
- Escenario 6 (E6): Traza 1485

Paso 2: Definir los criterios de decisión (7±2).

Los criterios a tener en cuenta para la evaluación de los escenarios son:

- Criterio 1 (C1): Potencial Existente; se refiere al volumen total de FRE en Miles de Tep, por cada escenario.
- Criterio 2 (C2): Demanda Energética; se refiere al consumo de los principales sistemas productivos del escenario.
- Criterio 3 (C3): Distancia del punto terminal; indica la distancia promedio a la que se encuentran los potenciales del punto de interconexión con el SEN, dentro del escenario.
- Criterio 4 (C4): Número de Experiencias previas en Cuba; se refiere a la cantidad de experiencias existentes en el país del potencial evaluado.

- Criterio 5 (C5): Prioridad; se refiere al nivel de prioridad, que pudiera tener en el territorio, la implementación de la FRE.
- Criterio 6 (C6): Articulación con otros proyectos locales; se relaciona con la incidencia que pueda tener la implementación de la FRE, con otros proyectos de desarrollo ya existentes.
- Criterio 7 (C7): Daños Ambientales; se refiere al daño ambiental que provoca el potencial.
- Criterio 8 (C8): Percepción de los Actores; se refiere a la actitud que poseen los habitantes y actores locales para la implementación de las FRE (aspiraciones, aceptación de la tecnología, condiciones socio-económicas entre otras).

Paso 3: Evaluación de cada alternativa según cada criterio.

Para dar cumplimiento a este paso se procede a asignar los valores en la matriz original (Tabla 3.12).

Tabla 3.12: Matriz original formada.

Crit. / Esc.	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6
C1	169,00	4414,26	51,03	7,29	137,10	1,79
C2	37,49	254,66	82,19	127,31	40,41	16,26
C3	500	200	100	400	600	100
C4	2,50	1,00	3,00	3,00	2,50	1,00
C5	3,00	2,00	1,00	1,00	2,00	3,00
C6	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
C7	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
C8	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	2,00

En relación a los datos expuestos en esta tabla, es necesario plantear que se tienen en cuenta criterios de tipo cuantitativos y cualitativos, a los cuales se le asignaron valores para el cálculo. En el caso del criterio C3, es un criterio que está valorado como un mínimo, o sea, que mientras más pequeño es su valor se considera mejor el escenario ya que las pérdidas eléctricas en las líneas serán menores, a diferencia del resto de los criterios que, a mayor valor, más relevante es el escenario.

Este paso comienza por determinar en nivel de concordancia en el juicio de los expertos, para lo cual se utilizó el coeficiente de Kendall, donde se determinó que **W =**

0,4791. El resultado muestra que está por debajo 0.50, por lo que fue necesario entonces aplicar una prueba de hipótesis, para probar el grado de significación de los criterios.

Como resultado de esta prueba de hipótesis, se obtuvo que:

$$X^2_{\text{calculado}} = 23,476 > X^2_{\text{tabla}} = 20,090$$

Por tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0), puesto que a partir de los resultados obtenidos existen pruebas estadísticas que afirman el nivel de concordancia del juicio de los expertos, para un nivel de confianza del 99%.

Posteriormente, antes de obtener el peso o importancia relativa de los criterios, a partir de lo planteado en el paso # 3, fue necesario homogenizar la matriz original para llevar todos los criterios a máximos. Donde se obtuvo la matriz homogenizada (H_{ij}), que es la base de los cálculos posteriores (ver Tabla 3.13).

Tabla 3.13 Matriz Homogenizada

Crit. / Esc.	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6	$\sum H_j$
C1	169,00	4414,26	51,03	7,29	137,10	1,79	4780,47
C2	37,49	254,66	82,19	127,31	40,41	16,26	558,31
C3	500,00	800,00	900,00	600,00	400,00	900,00	4100,00
C4	2,50	1,00	3,00	3,00	2,50	1,00	13,00
C5	3,00	2,00	1,00	1,00	2,00	3,00	12,00
C6	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	6,00
C7	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	12,00
C8	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	2,00	10,00

En esta matriz se muestran todos los valores convertidos a criterios de máximos, para lo cual se modificó el criterio C 3 para reducir pérdidas eléctricas.

Una vez homogenizada la matriz original, será necesario llevar estos valores a una misma unidad de medida, para lo cual se hace necesario normalizar o estandarizar la matriz homogenizada. En este punto se obtiene entonces la matriz normalizada (N_{ij}). (ver Tabla 3.14).

Tabla 3.14 Matriz Normalizada

Crit. / Esc.	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6	$\sum N_{ij}$
C1	0,035	0,923	0,011	0,002	0,029	0,000	1,00
C2	0,067	0,456	0,147	0,228	0,072	0,029	1,00
C3	0,122	0,195	0,220	0,146	0,098	0,220	1,00
C4	0,192	0,077	0,231	0,231	0,192	0,077	1,00
C5	0,250	0,167	0,083	0,083	0,167	0,250	1,00
C6	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167	1,00
C7	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167	1,00
C8	0,200	0,200	0,200	0,100	0,100	0,200	1,00

Luego se calcularon los pesos de los criterios (W_j) a partir de la combinación del peso subjetivo (W_{subj}) y el peso objetivo (W_{obj}), para esto fue necesario obtener los valores de entropía y la diversidad. Los resultados se pueden observar en la figura 3.8.

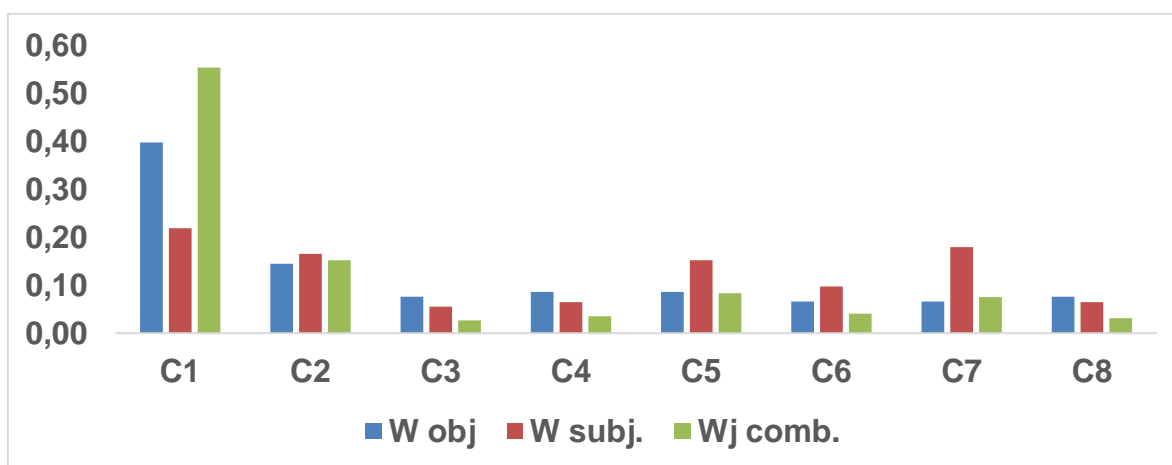


Figura 3.8. Representación gráfica de la ponderación de los criterios.

En este gráfico se observa que existe una variabilidad, en cuanto al peso de los criterios. En la representación se destacan los criterios C1 y C2, como criterios de mayor peso. Además, la ilustración corrobora la importancia de determinar el peso a partir de la combinación de ambos métodos, pues existen criterios que aún con mayor peso objetivo o subjetivo que otro peso combinado sin embargo es menor.

Paso # 5: Construcción de la matriz de decisión.

Posteriormente de determinar los valores de los pesos de los criterios, en este paso se construirá la matriz de decisión, la cual se muestra en la tabla 3.15.

Tabla 3.15: Matriz de decisión.

Crit. / Esc.	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6	SPI
C1	0,020	0,511	0,006	0,001	0,016	0,000	0,55
C2	0,010	0,069	0,022	0,035	0,011	0,004	0,15
C3	0,003	0,005	0,006	0,004	0,003	0,006	0,03
C4	0,007	0,003	0,008	0,008	0,007	0,003	0,04
C5	0,021	0,014	0,007	0,007	0,014	0,021	0,08
C6	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,04
C7	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,08
C8	0,006	0,006	0,006	0,003	0,003	0,006	0,03
Spi	0,087	0,628	0,075	0,077	0,073	0,060	

Según los datos obtenidos en la aplicación del método de agregación de suma ponderada o utilidad aditiva (SPI), para definir el escenario más relevante donde se procederá a la implementación de las FRE. En este sentido se profundiza el análisis.

En la Figura 3.9 se muestran los criterios que mayor incidencia presentaron para cada escenario, como se puede observar el criterio con mayor peso será el 1 y el criterio 2 en la mayoría de los escenarios con más del 90%.

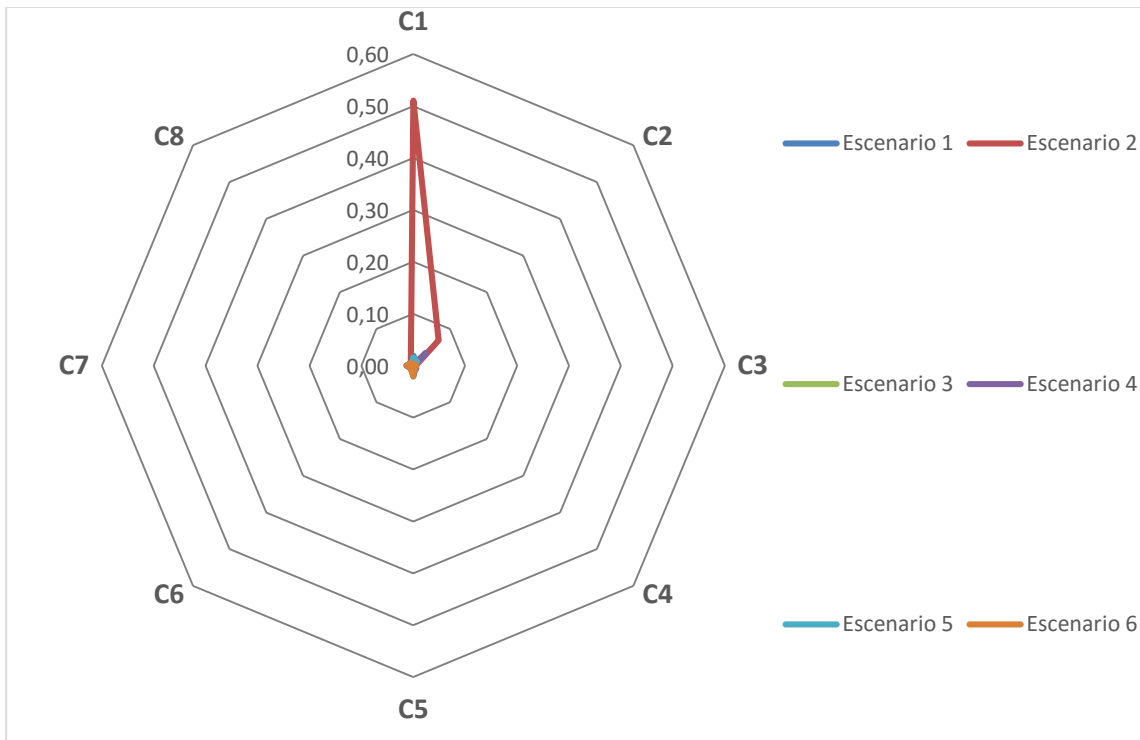


Figura 3.9 Criterios de mayor incidencia en cada escenario

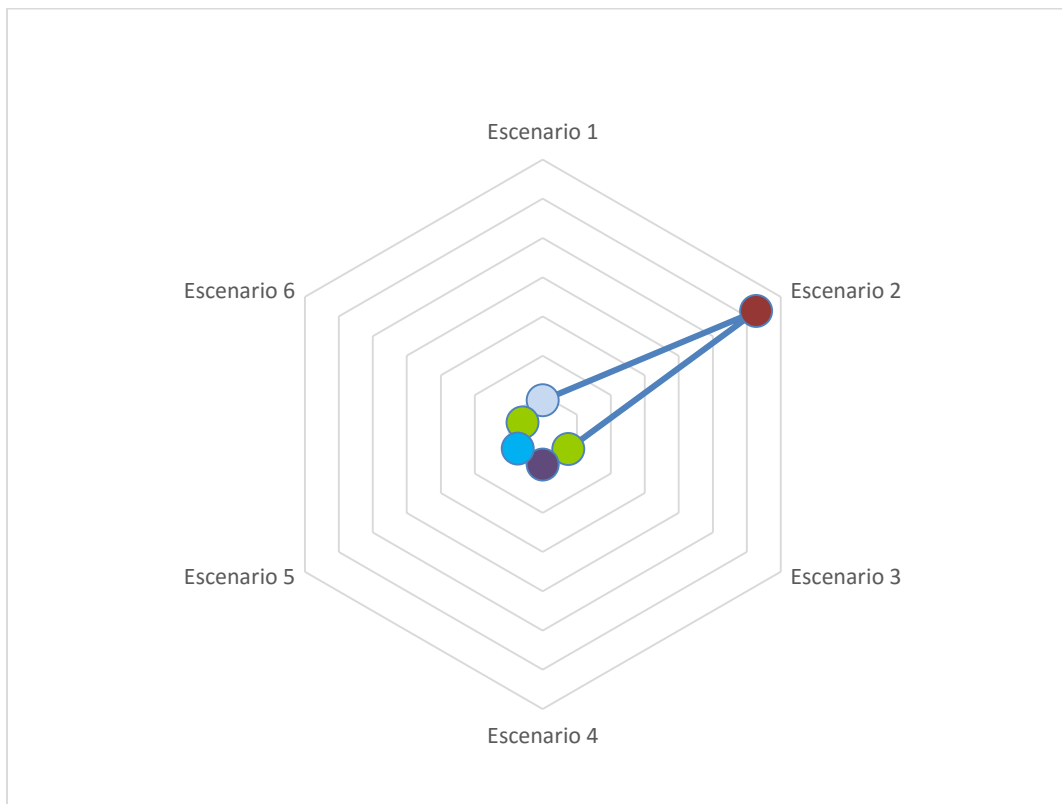


Figura 3.10: Escenarios relevantes para la implementación de las FRE.

En la figura 3.10 se muestra el escenario que mayor relevancia tiene para la implementación de las FRE, a partir de la aplicación de Técnicas Multicriterios, donde se dirigirá hacia el escenario 2 que sería la traza 1680.

Por lo tanto, podemos decir que el mayor potencial hoy lo encontramos en el Central Uruguay; coincidiendo el mayor potencial con la traza de mayor demanda energética.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la investigación podemos afirmar que si se logra implementar esta FRE se reducirá en un 41% los consumos energéticos dentro del territorio.

Conclusiones:

1. La caracterización energética del municipio de Jatibonico mostró que las industrias con mayores consumos de electricidad se agrupan en las trazas 1680; 1495 y 1480, siendo necesaria su sustitución con FRE.
2. Las trazas con mayor potencial de FRE en el municipio son la traza 1680, seguido por la 1490 y le sigue la 1675.
3. Los criterios que mayor repercusión tuvieron en la selección de los escenarios relevantes fue el 1 (*Potencial Existente*) debido al efecto combinado de métodos objetivos y subjetivos y a los valores de estos criterios en los escenarios.
4. El escenario más relevante para la implementación de las FRE, fue el número 2; donde se podrán sustituir por FRE la mayor parte de sus consumos.
5. Se determina que la traza con mayor consumo coincide con la de mayor potencial.

Conclusiones

Conclusiones Generales

De los resultados obtenidos se arribó a las siguientes conclusiones:

1. La caracterización energética mostró la distribución de los circuitos del municipio, evidenciándose que, el sector estatal contiene las mayores demandas, y además, coincide con las mayores potencialidades.
2. Los principales potenciales de FRE existentes fueron los Residuos Agroindustriales con más de 4 millones de Tep, seguido de los residuos porcinos y avícolas con más de 169 mil Tep.
3. Se definen como criterios de decisión de escenarios relevantes, el *Potencial Existente*; la *Demanda Energética*; la *Distancia del punto terminal*; el *Número de Experiencias previas en Cuba*; la *Prioridad*; la *Articulación con otros proyectos locales*; los *Daños Ambientales*; y la *Percepción de los Actores*.
4. Se logró la ponderación de estos criterios, mostrando que el criterio 1 y 2 (*Potencial Existente y la Demanda Energética*) tendrán la mayor repercusión durante la toma de decisiones.
5. Para el municipio de Jatibonico, el escenario más relevante es el número 2 (traza 1680), que combinó los mayores potenciales, los mayores consumos de electricidad, la menor distancia de los puntos terminales, el alto grado de prioridad y las evidentes afectaciones ambientales.

Recomendaciones

Recomendaciones

1. Se recomienda profundizar en el estudio de comunidades rurales para la obtención de mayor información sobre sus aspiraciones en cuanto a la implementación de las FRE y los potenciales existentes dentro de las comunidades.
2. Analizar los Residuos Sólidos Urbanos existentes en el municipio para su aprovechamiento en la implementación del mismo como FRE.
3. Investigar los pequeños productores porcinos del municipio para la implementación de las FRE en estos potenciales.

Bibliografía

Bibliografía

- (ICIDCA), Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. (Junio 2004). Tratamiento combinado de las vinazas de destilería y residuales azucareros en reactores UASB. [pdf]. 8.
- (ONEI), Oficina Nacional de Estadística e Información. (EDICIÓN 2017). Anuario Estadístico, Santic Spíritus 2016 Jatibonico. [pdf]. 134.
- Antonio Valdés Delgado, Revista ATAC Asociación de Técnicos Azucareros de Cuba. (2015). Tratamiento anaeróbico de productos residuales para la producción de biogás en la Industria Azucarera. 2.
- Bravo, Palmero. (2006). Valoración medioambiental del uso de los residuos orgánicos de la provincia Sancti Spíritus para producir biogás con fines energéticos. [pdf].
- Carrillo, Ing. Roberto C. Ramírez. (2013). Alternativas de empleo de la biomasa en las granjas avícolas en Sancti Spíritus. [pdf]. I, 103.
- Castro, Jorge. (2014). Cambios en la matriz energética europea N°: 25951. from <https://www.clarin.com>
- Desarrollo, By Blog MinalCuba in. (2017). Proceso de Transición Energética. Una opción futurista from <http://minalcuba.cubava.cu>
- Díaz, Mary Luz Borrego. (2016). Sancti Spíritus: continúa explotación de fuentes de energía renovables, from <http://www.radiosanticspiritus.cu>
- Ecured.cu. (2017). Jatibonico, from www.ecured.cu
- Editorial Feijóo, Universidad Central de Las Villas, Villa Clara, Cuba. Situación ambiental provincia Sancti Spíritus. [pdf].
- EMC, Enciclopedia. (mayo de 2015). El Mundo de la ciencia, 2015, from <http://html.rincondelvago.com/energia>
- Feijóo, Una Publicación de la Editorial. (2015). ENERGÍA Y DESARROLLO SOSTENIBLE EN CUBA. [pdf]. 42, 12.
- Figueredo, Conrado Moreno. (2014). La transición energética en cuba
- González, Hermida García y Luis López. (2006). Diseño y evaluación de un biodigestor para obtener gas metano y biofertilizante a partir de la fermentación de cachaza y residuos agropecuarios. [pdf].

- Hernández, Armando Castro. (2010). Segundo Forum Nacional de Energía.
- Jimenez, Alain. (2017). Potencian uso de fuentes renovables de energía en Empresa Porcina espirituana. 3 julio, 2017 Retrieved 2017, 2017, from <http://www.centrovision.icrt.cu>
- Lisbet Mailin López González, Han Vervaeren, Ileana Pereda Reyes, Ann Dumoulin, Osvaldo Romero Romero, Jo Dewulf. (2013). Thermo-Chemical pre-treatment to solubilize and improve anaerobic biodegradability of press mud. [pdf]. 8.
- Marrero Delgado, Fernando. (2001). *Procedimientos para la toma de decisiones logísticas con enfoque multicriterio en la cadena de corte, alza y transporte de la caña de azúcar*. (Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias técnicas), ISP JAE, Cuba.
- Martínez Plasencia, Alina. (2018, Marzo/ 2018). Las energías renovables representan más del 50% del aumento en la generación mundial de electricidad. *renovable.cu*, 10.
- Mendoza, Hurtado de. (2003). "CRITERIO DE EXPERTOS. SU PROCESAMIENTO A TRAVÉS DEL MÉTODO DELPHY."
- Municipal, Empresa Eléctrica. (2017). Matriz Energética Municipio de Jatibonico. [documento de word].
- Nápoles, Fernando Medinilla. (2015). Factibilidad técnica y económica del uso de los molinos de viento para el abasto de agua en unidades ganaderas. [pdf].
- O'Connor, José Luis de la Fuente. (2016). La transición energética alemana y algunas reflexiones estratégicas EDICIONES EL PAÍS S.L., 2016, from <https://elpais.com>
- Red Mexicana de Bioenergía, A.C. (DICIEMBRE 2012). Producción de biogás en México, estado actual y perspectivas. [pdf]. 1, 52.
- Rodríguez, José Luis. (5 septiembre 2014). Cuba y sus perspectivas energéticas. 1.
- Rodríguez., Carmen. (2017). Sancti Spíritus en busca de la transición energética. viernes, 17 febrero, 2017 from <http://www.escambray.cu>
- Sancti Spíritus: continúa explotación de fuentes de energía renovables.

Sánchez, Enrique Fernández. (1993). Dirección de la Producción. [pdf].

Sawin, Janet L. (2016). ENERGÍAS RENOVABLES 2016; REPORTE DE LA SITUACIÓN MUNDIAL. [pdf]. 32.

Social, Consejo Económico y. (29 de febrero de 2016). Agenda 2030. [pdf]. E/CN.3/2016/2/Rev.1, 69.

Sosa, Velarde. (2013). Producción y Aplicación de compost. [pdf].

Yopez, Ariel. (2016). Tres estrategias para transformar el sector energético del Caribe

from <https://blogs.iadb.org>

Anexos

Anexos

Anexo # 1

EVALUACION DEL NIVEL DE COMPETENCIA DEL EXPERTO

Nombre y Apellidos del Experto: _____

Profesión: Actividad que Realiza: Años de Experiencia:

A través de la siguiente tabla se realizará una valoración sobre el nivel de experiencia y conocimiento de usted, en cuanto a los criterios que deben considerarse para implementar Tecnologías de Fuentes Renovables de Energía (FRE), como apoyo al desarrollo local en el municipio y en comunidades rurales.

1. Marque con una X, en una escala creciente del 1 al 10, el valor que se corresponde con el grado de conocimiento o información que tiene sobre el tema a estudiar.

Experto \ Escala	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

2. Valore, marcando con una X en Alto, Medio o Bajo, el nivel de argumentación que usted posee, sobre cada una de las fuentes de argumentación que se exponen en la tabla siguiente.

Fuentes de argumentación o fundamentación	Alto	Medio	Bajo
Análisis teóricos realizados por usted			
Su experiencia obtenida			
Trabajos de autores nacionales			
Trabajos de autores extranjeros			
Su conocimiento del estado del problema en el extranjero			
Su intuición			

Anexo # 2

PONDERACION DE INDICADORES

Se pretende, teniendo en cuenta su conocimiento como experto en el tema, ponderar los criterios que definen un escenario como relevante para la implementación de fuentes renovables de energía. Para ello necesitamos que los ordene por orden de importancia (en una escala de 1 a 8), dando 1 al más importante y 8 al menos importante, sin repetir ninguno de los valores.

Su aporte será decisivo para la proyección de cada territorio por lo que confiamos en su nivel de compromiso en esta ponderación. Los elementos que contiene cada uno de los criterios se exponen al final del documento.

Criterios	Importancia
Potencial existente	
Demanda energética	
Distancia de los puntos terminales	
No de experiencias previas en Cuba	
Prioridad	
Articulación con otros proyectos	
Daños ambientales	
Percepción de los actores	

Potencial existente: Se refiere a existencia de una fuente renovable que no se explota y que su utilización podría generar energía.

Demanda energética: Se refiere a la necesidad de cubrir consumos energéticos en los diferentes sectores y a diferentes escalas. (ej.: en empresas altas consumidoras, comunidades rurales, mini-industrias, sistemas agrícolas, instituciones educacionales o de la salud).

Distancia de los puntos terminales: Se refiere a la distancia del potencial con respecto al punto terminal de la red más cercano.

No de experiencias previas en Cuba: Se refiere la cantidad de experiencias que existen en el uso de una FRE para cubrir determinada demanda en el país.

Prioridad: El grado de importancia que le otorgan los gobiernos locales, las empresas, las instituciones, el sector privado y otros a la implementación de las FRE en un escenario.

Articulación con otros proyectos: Posible apoyo a proyectos de desarrollo local que utilizan recursos fósiles para su funcionamiento.

Daños ambientales: presencia de emisiones sólidas, líquidas o gaseosas al entorno (ej.: suelo, atmósfera, agua).

Percepción de los actores: considera factores subjetivos como el nivel de aceptación de la tecnología, la actitud de los involucrados, nivel educacional, tiempo disponible, etc.

Anexo # 3

Tabla resumen de las importancias asignadas por los expertos a cada criterio.

Criterios Expertos	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5	Criterio 6	Criterio 7	Criterio 8
Experto 1	1	5	6	7	2	3	4	8
Experto 2	6	5	7	4	1	3	2	8
Experto 3	6	1	7	5	3	4	2	8
Experto 4	1	5	6	7	2	3	4	8
Experto 5	1	5	6	8	2	3	4	7
Experto 8	3	4	5	8	2	7	1	6
Experto 9	1	4	7	8	6	2	3	5

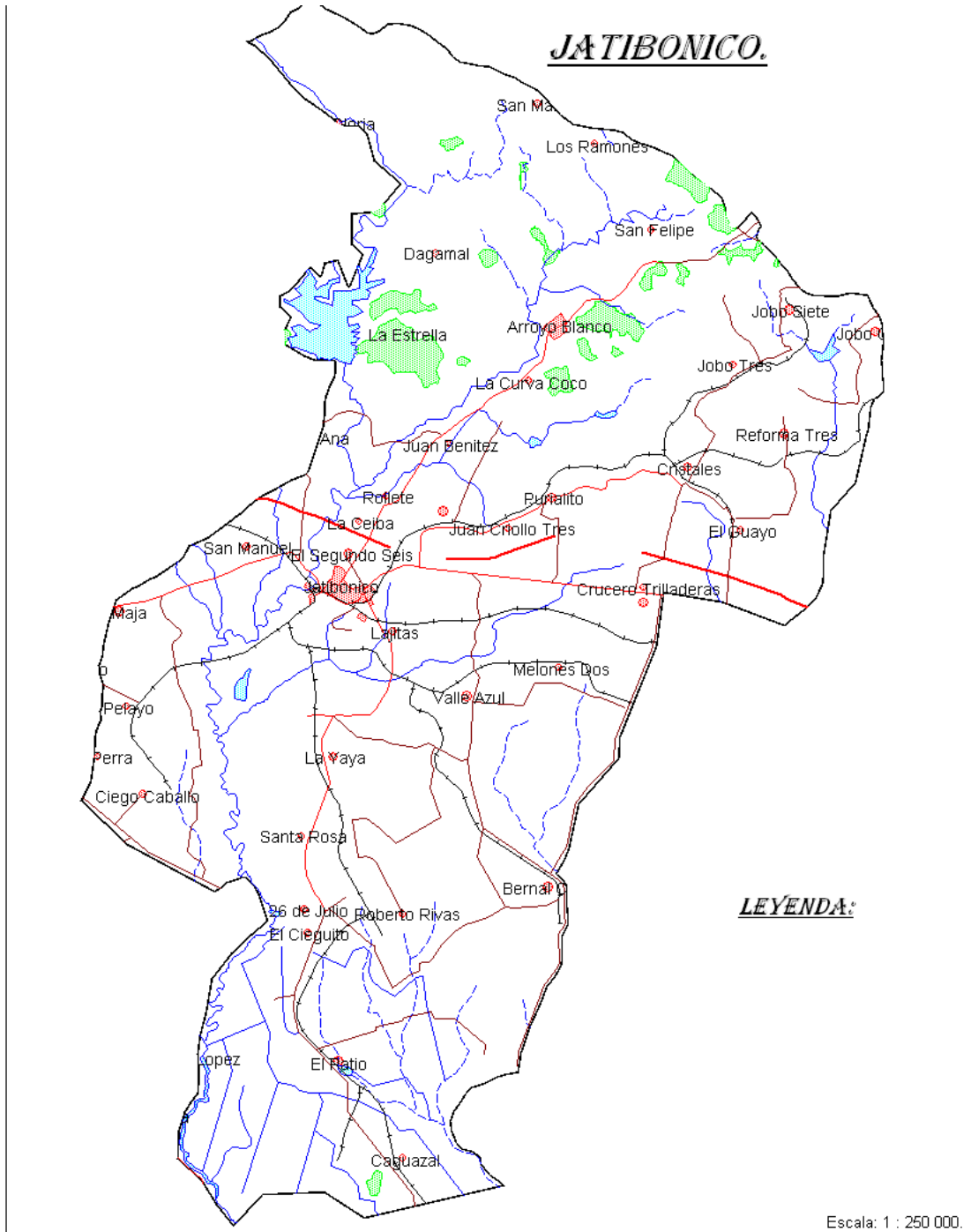
Anexo # 4

Tabla para la distribución Chi-cuadrado (χ^2). Para el evaluar el grado de Significación.

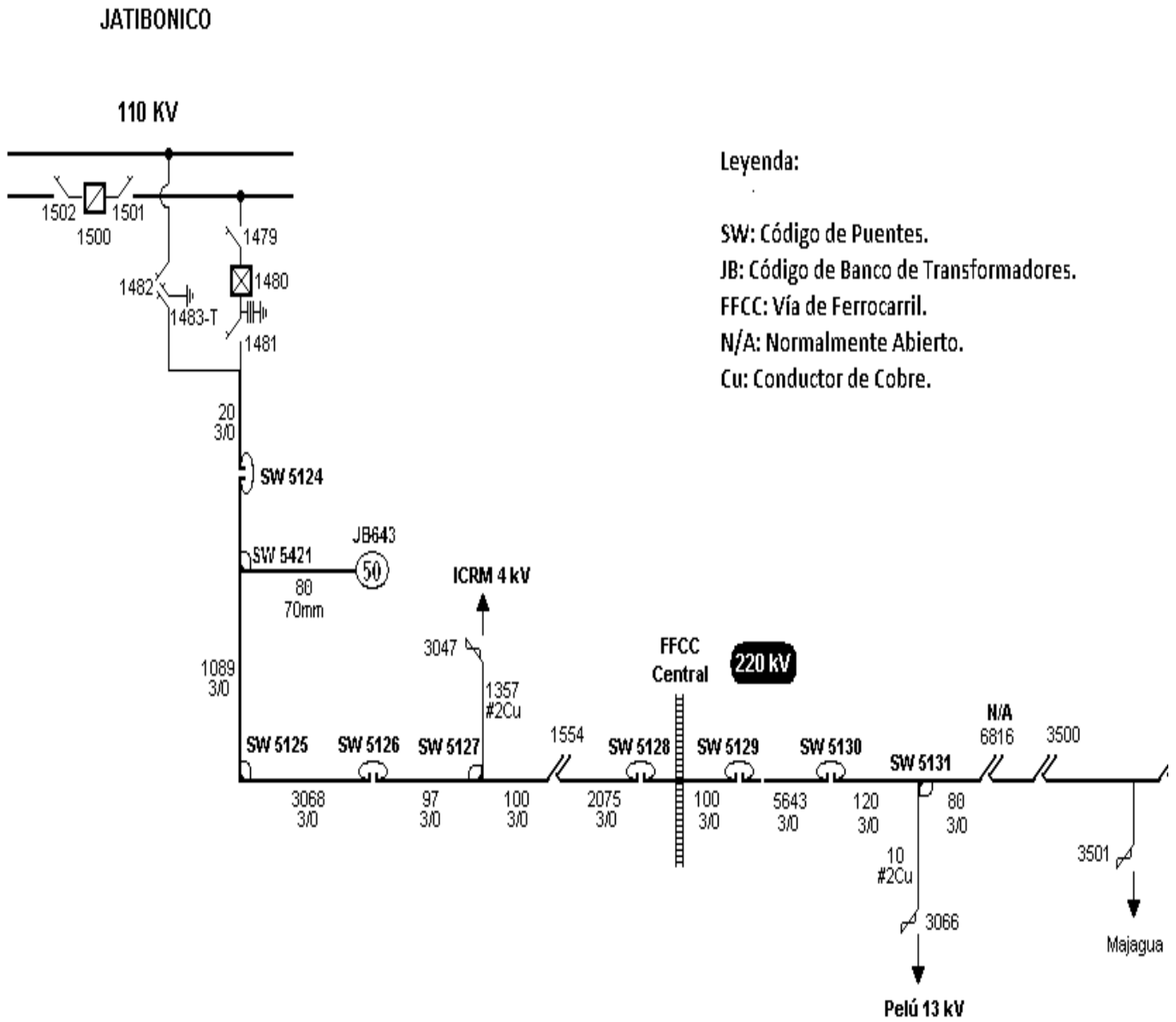
Tabla Distribución Chi-cuadrado (χ^2). $P(X \geq x)$

P	0.99	0.95	0.90	0.85	0.80	0.75	0.30	0.20	0.15	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.001
v=1	0.000	0.004	0.016	0.036	0.064	0.102	1.074	1.642	2.072	2.706	3.841	5.024	6.635	7.879	10.828
2	0.020	0.103	0.211	0.325	0.446	0.575	2.408	3.219	3.794	4.605	5.991	7.378	9.210	10.597	13.816
3	0.115	0.352	0.584	0.798	1.005	1.213	3.665	4.642	5.317	6.251	7.815	9.348	11.345	12.838	16.266
4	0.297	0.711	1.064	1.366	1.649	1.923	4.878	5.989	6.745	7.779	9.488	11.143	13.277	14.860	18.467
5	0.554	1.145	1.610	1.994	2.343	2.675	6.064	7.289	8.115	9.236	11.070	12.833	15.086	16.750	20.515
6	0.872	1.635	2.204	2.661	3.070	3.455	7.231	8.558	9.446	10.645	12.592	14.449	16.812	18.548	22.458
7	1.239	2.167	2.833	3.358	3.822	4.255	8.383	9.803	10.748	12.017	14.067	16.013	18.475	20.278	24.322
8	1.646	2.733	3.490	4.078	4.594	5.071	9.524	11.030	12.027	13.362	15.507	17.535	20.090	21.955	26.124
9	2.088	3.325	4.168	4.817	5.380	5.899	10.656	12.242	13.288	14.684	16.919	19.023	21.666	23.589	27.877
10	2.558	3.940	4.865	5.570	6.179	6.737	11.781	13.442	14.534	15.987	18.307	20.483	23.209	25.188	29.588
11	3.053	4.575	5.578	6.336	6.989	7.584	12.899	14.631	15.767	17.275	19.675	21.920	24.725	26.757	31.264
12	3.571	5.226	6.304	7.114	7.807	8.438	14.011	15.812	16.989	18.549	21.026	23.337	26.217	28.300	32.909
13	4.107	5.892	7.042	7.901	8.634	9.299	15.119	16.985	18.202	19.812	22.362	24.736	27.688	29.819	34.528
14	4.660	6.571	7.790	8.696	9.467	10.165	16.222	18.151	19.406	21.064	23.685	26.119	29.141	31.319	36.123
15	5.229	7.261	8.547	9.499	10.307	11.037	17.322	19.311	20.603	22.307	24.996	27.488	30.578	32.801	37.697
16	5.812	7.962	9.312	10.309	11.152	11.912	18.418	20.465	21.793	23.542	26.296	28.845	32.000	34.267	39.252
17	6.408	8.672	10.085	11.125	12.002	12.792	19.511	21.615	22.977	24.769	27.587	30.191	33.409	35.718	40.790
18	7.015	9.390	10.865	11.946	12.857	13.675	20.601	22.760	24.155	25.989	28.869	31.526	34.805	37.156	42.312
19	7.633	10.117	11.651	12.773	13.716	14.562	21.689	23.900	25.329	27.204	30.144	32.852	36.191	38.582	43.820
20	8.260	10.851	12.443	13.604	14.578	15.452	22.775	25.038	26.498	28.412	31.410	34.170	37.566	39.997	45.315
21	8.897	11.591	13.240	14.439	15.445	16.344	23.858	26.171	27.662	29.615	32.671	35.479	38.932	41.401	46.797
22	9.542	12.338	14.041	15.279	16.314	17.240	24.939	27.301	28.822	30.813	33.924	36.781	40.289	42.796	48.268
23	10.196	13.091	14.848	16.122	17.187	18.137	26.018	28.429	29.979	32.007	35.172	38.076	41.638	44.181	49.728
24	10.856	13.848	15.659	16.969	18.062	19.037	27.096	29.553	31.132	33.196	36.415	39.364	42.980	45.559	51.179
25	11.524	14.611	16.473	17.818	18.940	19.939	28.172	30.675	32.282	34.382	37.652	40.646	44.314	46.928	52.620
26	12.198	15.379	17.292	18.671	19.820	20.843	29.246	31.795	33.429	35.563	38.885	41.923	45.642	48.290	54.052
27	12.879	16.151	18.114	19.527	20.703	21.749	30.319	32.912	34.574	36.741	40.113	43.195	46.963	49.645	55.476
28	13.565	16.928	18.939	20.386	21.588	22.657	31.391	34.027	35.715	37.916	41.337	44.461	48.278	50.993	56.892
29	14.256	17.708	19.768	21.247	22.475	23.567	32.461	35.139	36.854	39.087	42.557	45.722	49.588	52.336	58.301
30	14.953	18.493	20.599	22.110	23.364	24.478	33.530	36.250	37.990	40.256	43.773	46.979	50.892	53.672	59.703

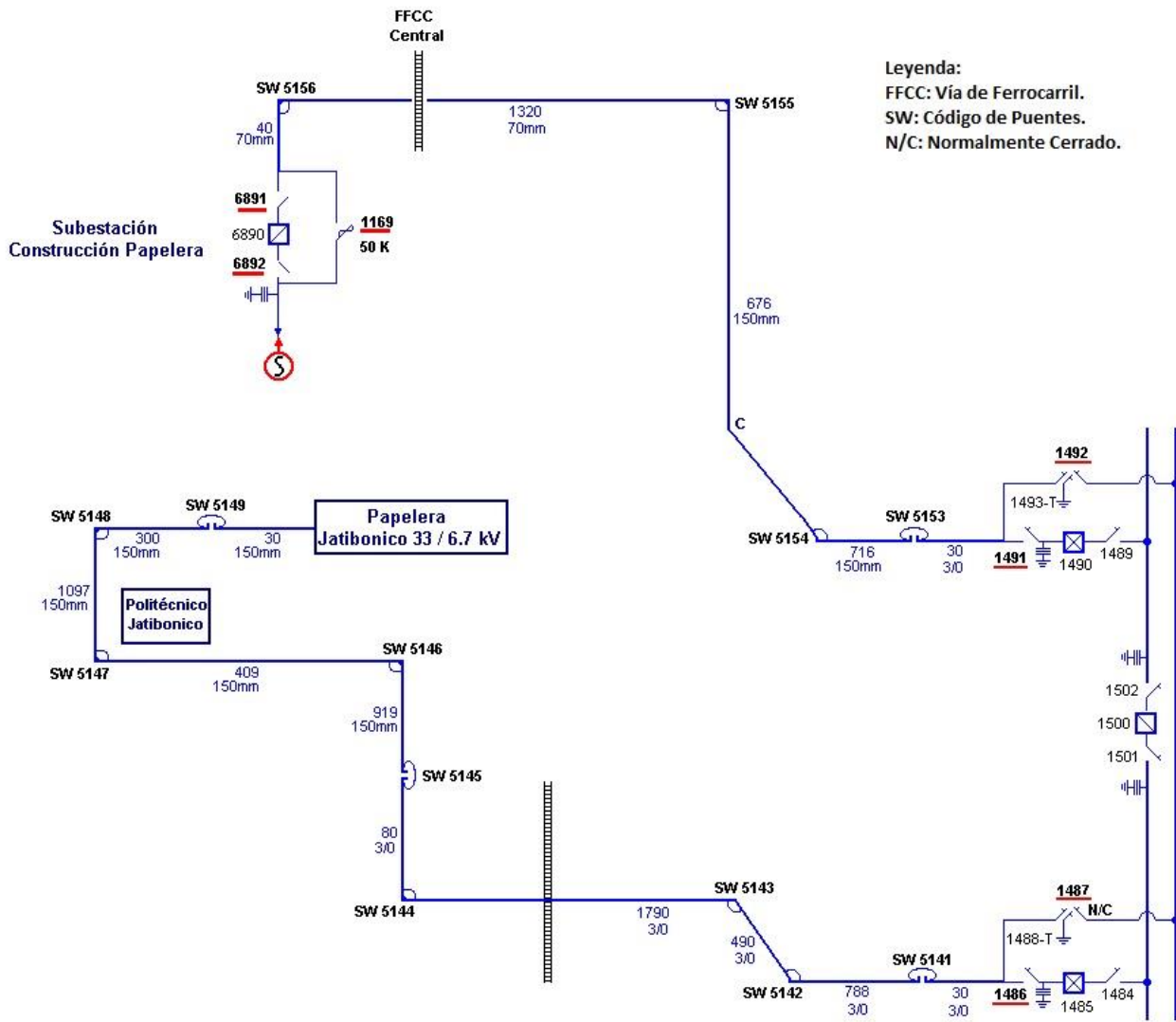
Anexo # 5: Asentamientos Urbanos y Rurales del municipio de Jatibonico.



Anexo # 6: Estructura de la traza 1480.



Anexo # 7: Estructura de la traza 1485 y 1490.



Anexo # 8: Estructura de la traza 1495

Leyenda:

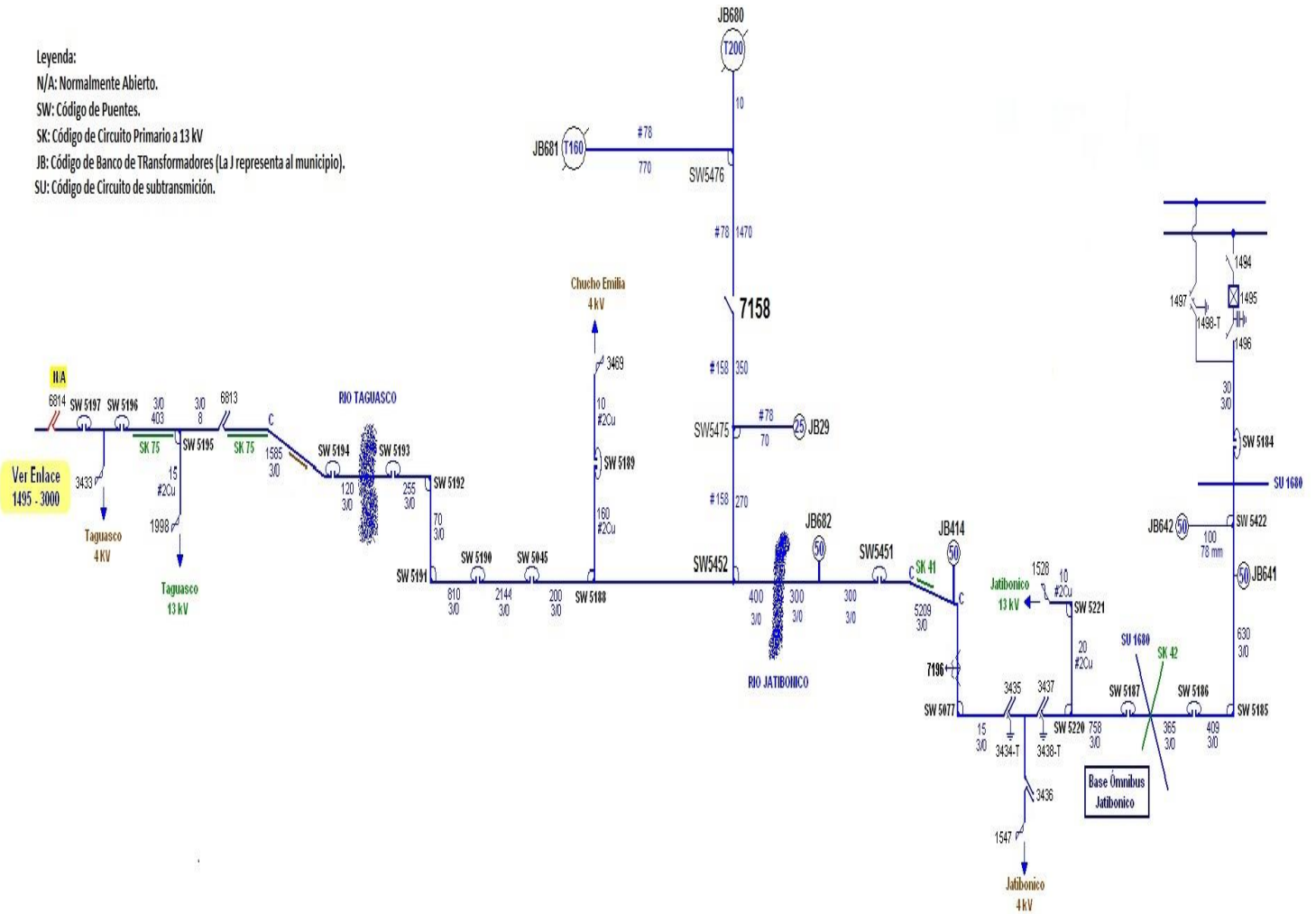
N/A: Normalmente Abierto.

SW: Código de Puentes.

SK: Código de Circuito Primario a 13 kV

JB: Código de Banco de Transformadores (La J representa al municipio).

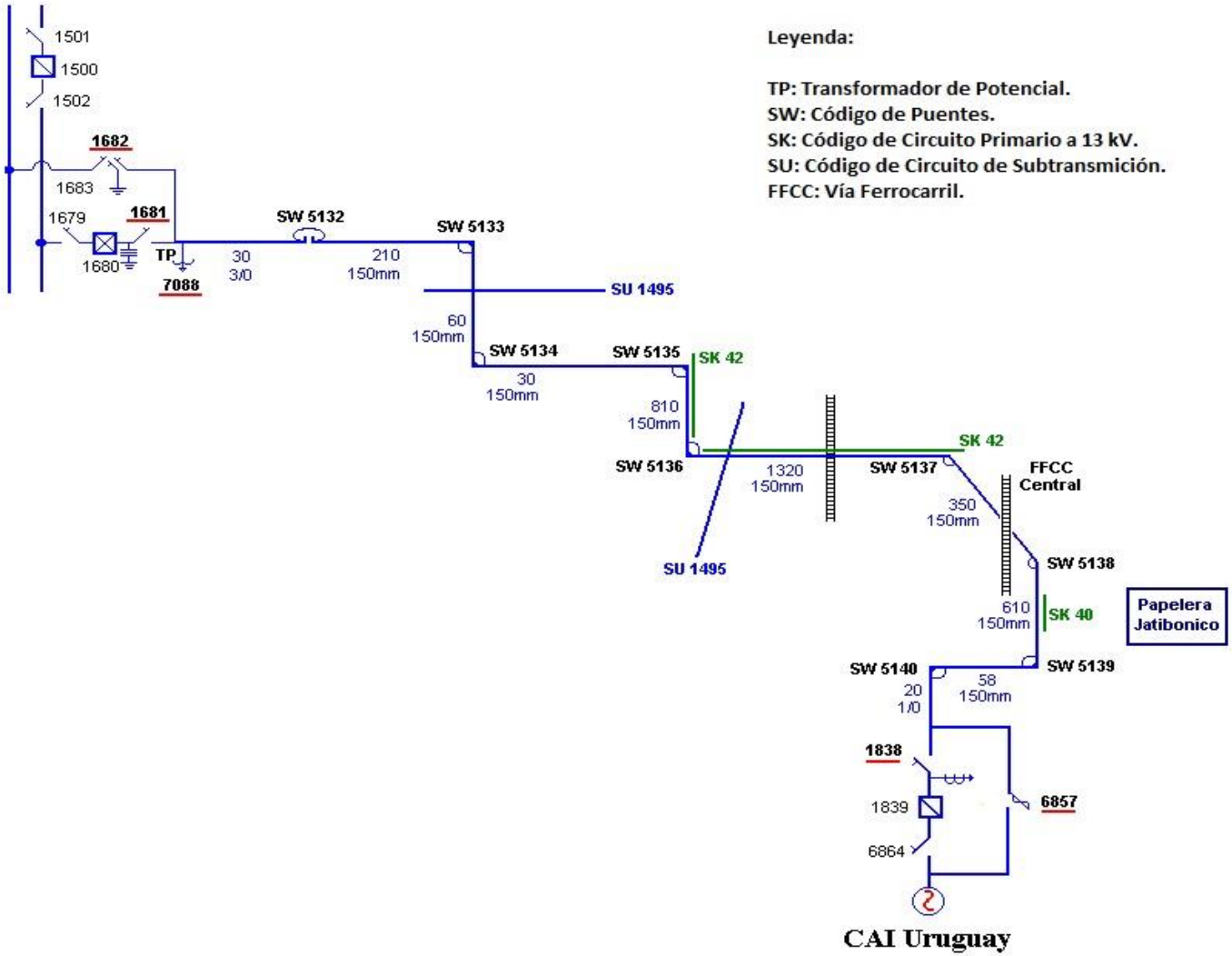
SU: Código de Circuito de subtransmisión.



Anexo # 9: Estructura de la traza 1675.

Anexo # 10: Estructura de la traza 1680.

JATIBONICO
110 KV



Leyenda:

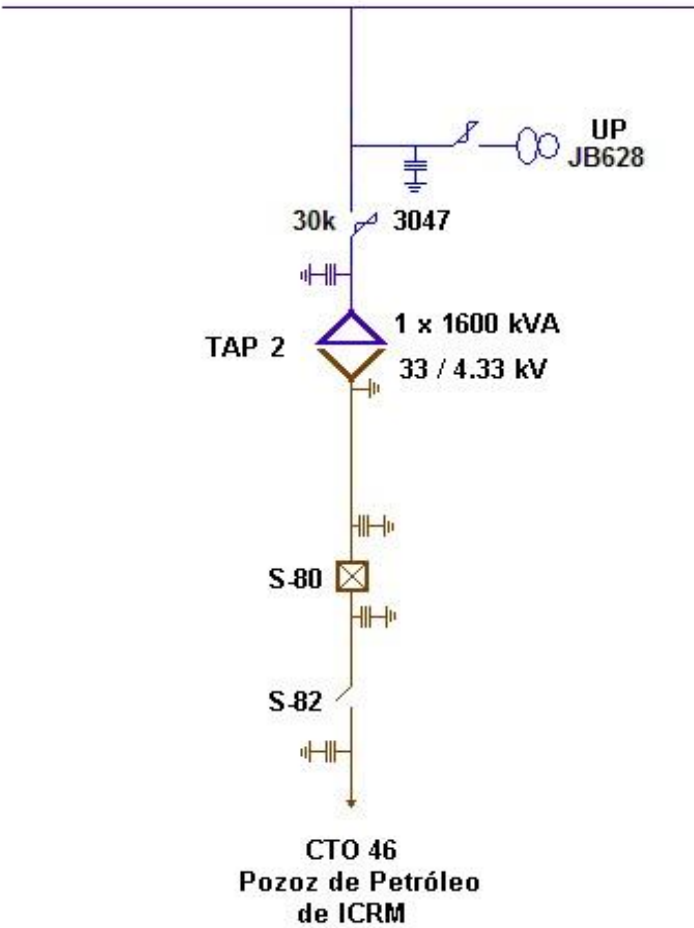
- TP: Transformador de Potencial.
- SW: Código de Puentes.
- SK: Código de Circuito Primario a 13 kV.
- SU: Código de Circuito de Subtransmisión.
- FFCC: Vía Ferrocarril.

Anexo # 11: Estructura de la subestación ICRM4KV.

ICRM 4 kV

Leyenda:

- UP: Voltaje Primario.
- JB: Código de Banco de Transformadores
- TAP: Derivador de voltaje de los Transformadores de Subestaciones.
- S: Código de cuchillas en subestaciones

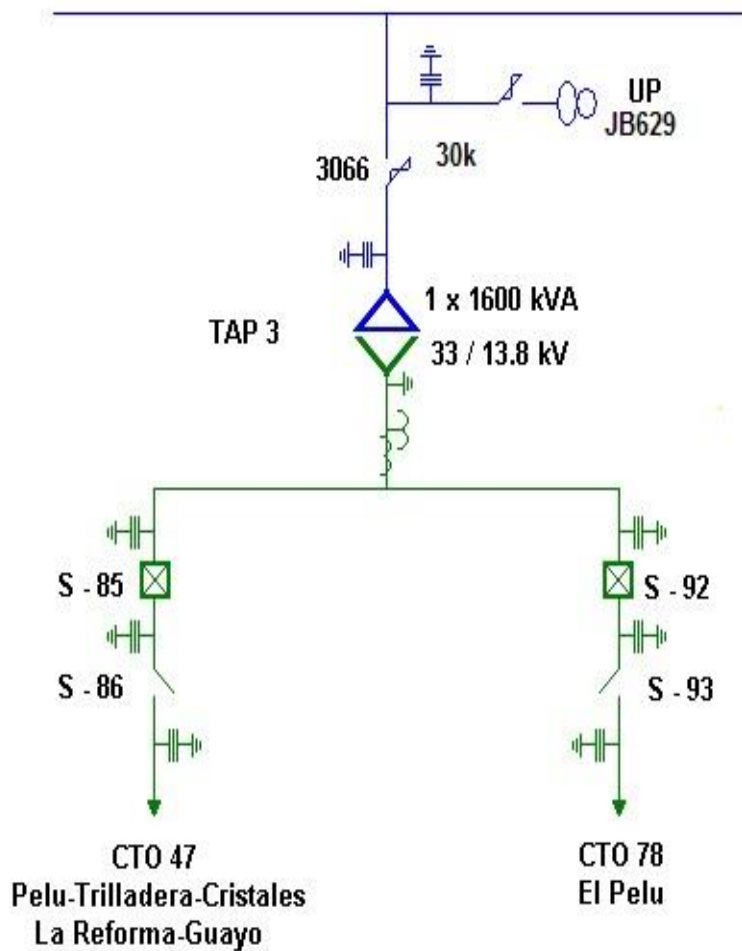


Anexo # 12: Estructura de la subestación PELU 13 KV.

Pelu 13 kV

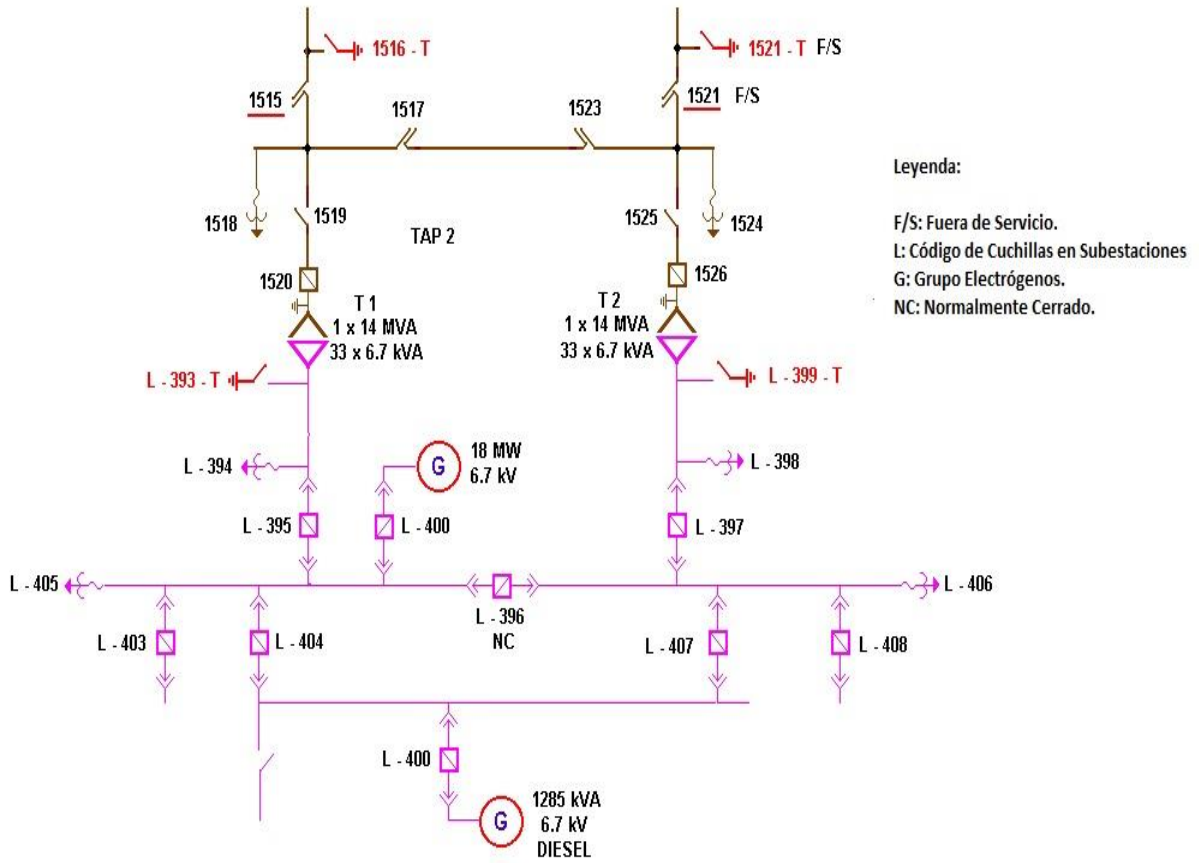
Leyenda:

- UP: Voltaje Primario
- JB: Código de Banco de Transformadores.
- TAP: Derivador de Voltaje de los Transformadores de Subestaciones.
- S: Código de Cuchillas en Subestaciones.



Anexo # 13: Estructura de la subestación PAPELERA.

Papelera Panchito Gómez Toro



Anexo # 14: Estructura de la subestación CPAPEL.

C. Papelera 13 kV

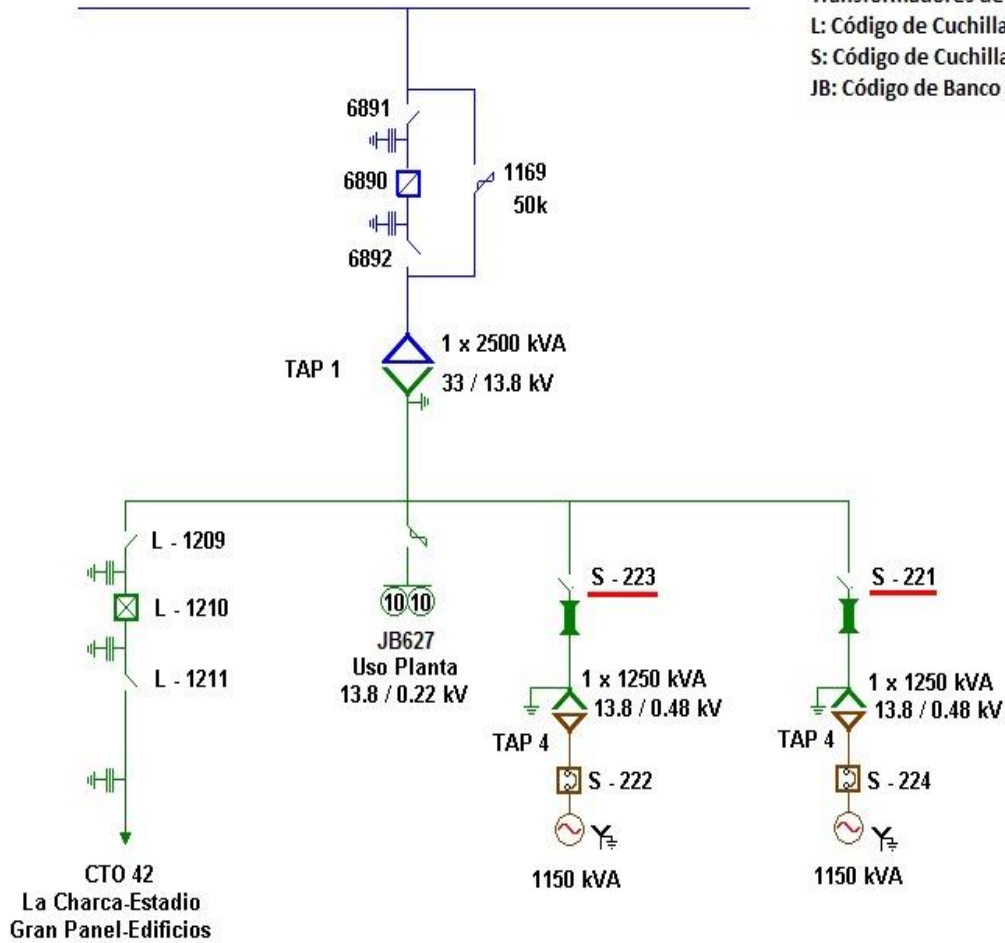
Leyenda:

TAP: Derivador de Voltaje de los Transformadores de Subestaciones.

L: Código de Cuchillas.

S: Código de Cuchillas.

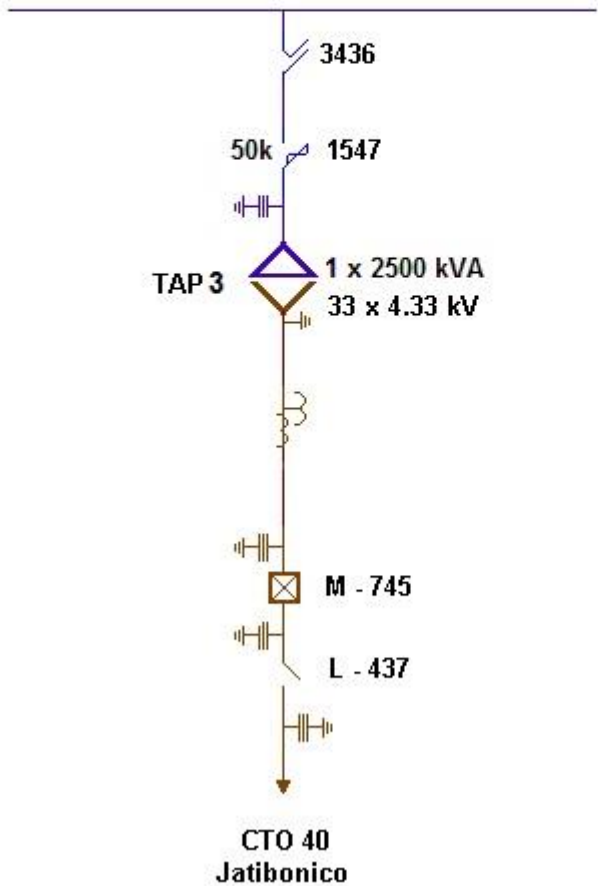
JB: Código de Banco de Transformadores.



Anexo # 15: Estructura de la subestación Jatibonico 4kv.

Jatibonico 4 kV

Leyenda:
TAP: Derivador de Voltaje de los Transformadores.
M: Código de Interruptor.
L: Código de Cuchilla.

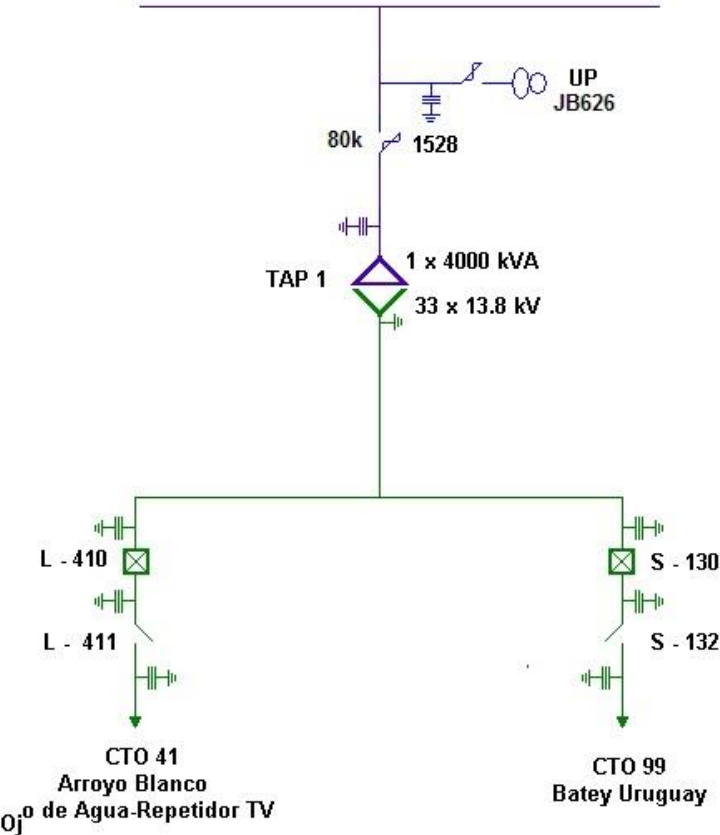


Anexo # 16: Estructura de la subestación Jatibonico 13kv.

Jatibonico 13 kV

Leyenda:

- UP: Voltaje Primario.
- JB: Código de Banco de Transformadores.
- TAP: Derivador de Voltaje de los Transformadores.
- L: Código de Cuchilla.
- S: Código de Cuchilla.

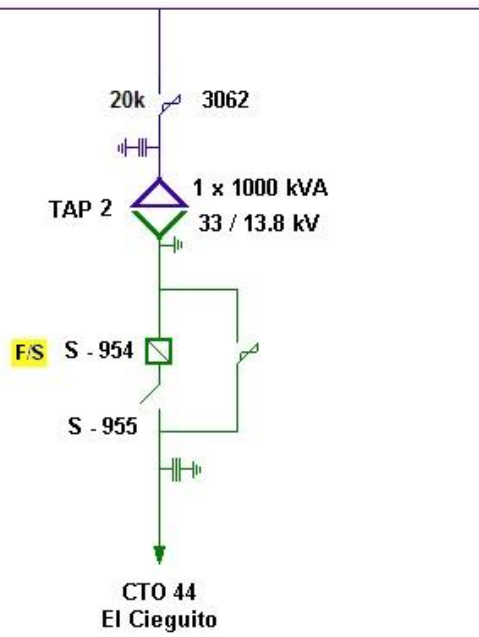


Anexo # 17: Estructura de la subestación EL CIEGUITO.

El Cieguito 13 kV

Leyenda:

TAP: Derivador de Voltaje de los Transformadores.
F/S Fuera de Servicio.
S: Código de Cuchillas.



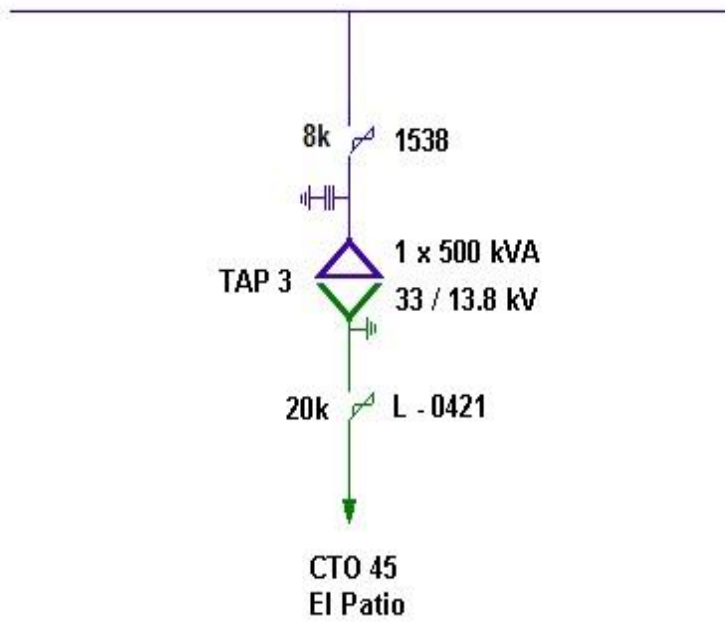
Anexo # 18: Estructura de la subestación EL PATIO.

El Patio 13 kV

Legenda:

TAP: Derivador de Voltaje de los Transformadores.

L: Código de Cuchillas

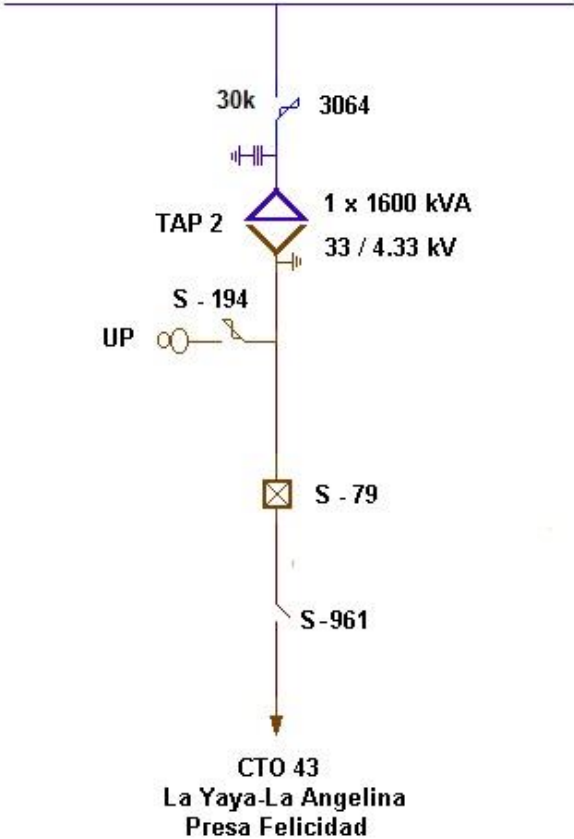


Anexo # 19: Estructura de la subestación La Yaya.

LA Yaya 4 kV

Leyenda:

TAP: Derivador de Voltaje de los Transformadores.
S: Código de Cuchillas.
UP: Voltaje Primario.

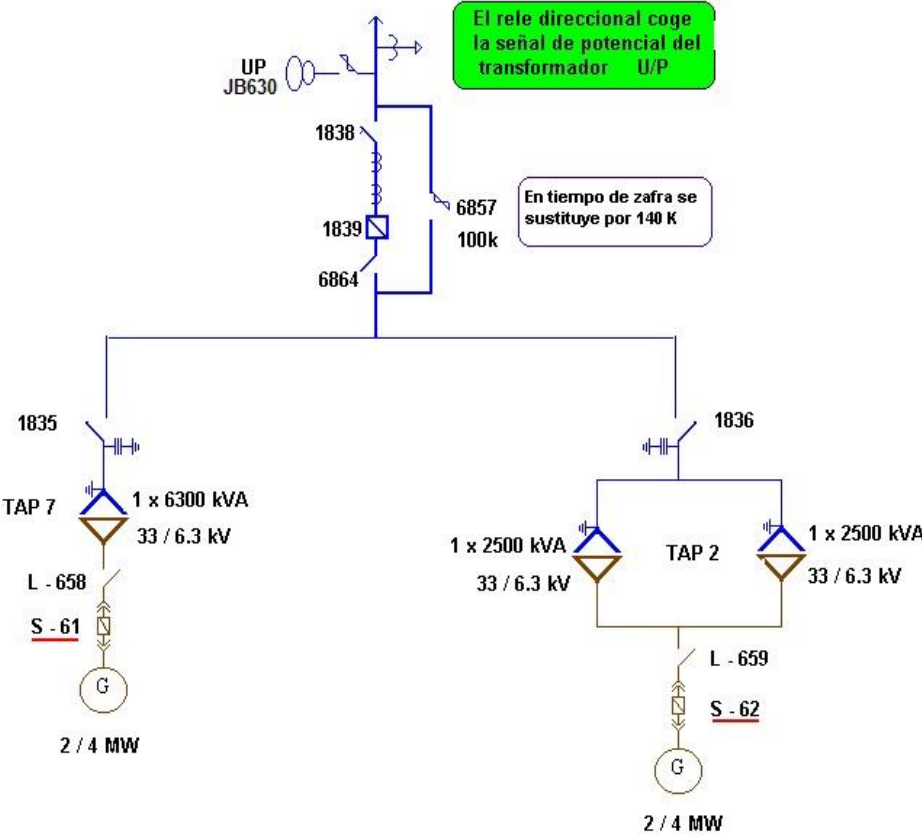


Anexo # 20: Estructura de la subestación CAI Uruguay.

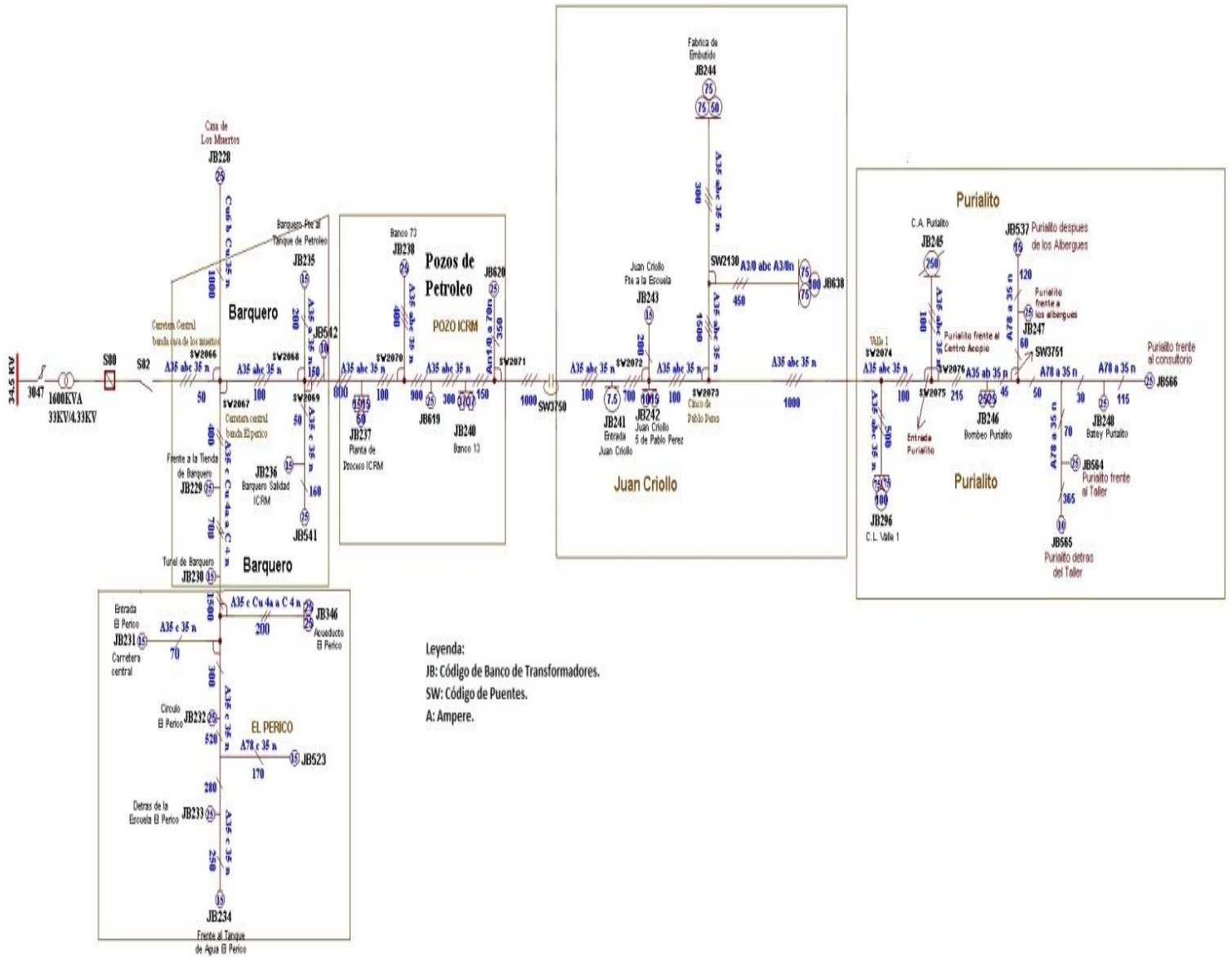
CAI Uruguay

Leyenda:

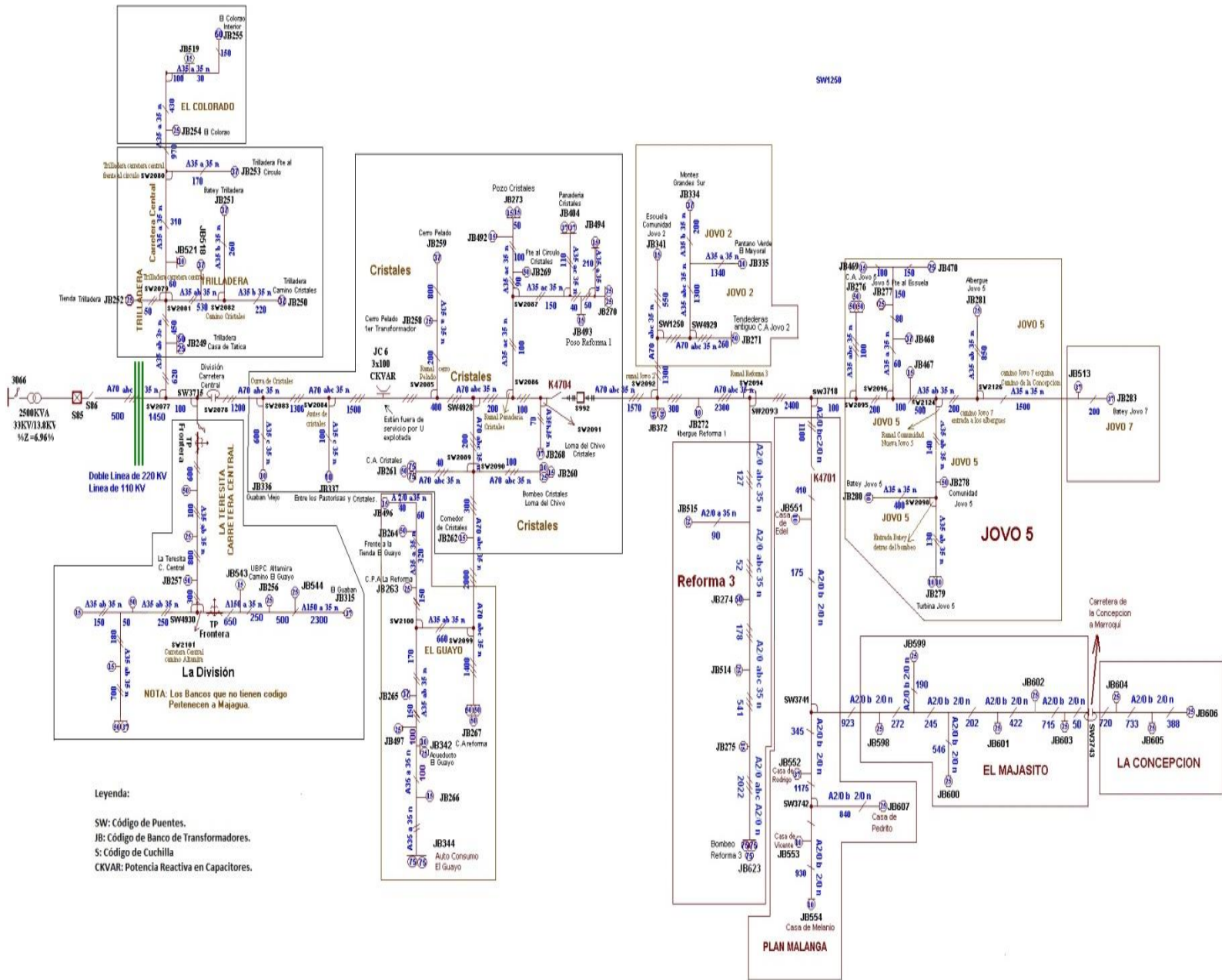
- UP: Voltaje Primario.
- JB: Código de Banco de Transformadores.
- TAP: Derivador de Voltaje de los Transformadores.
- L: Código de Cuchillas.
- S: Código de Cuchillas.



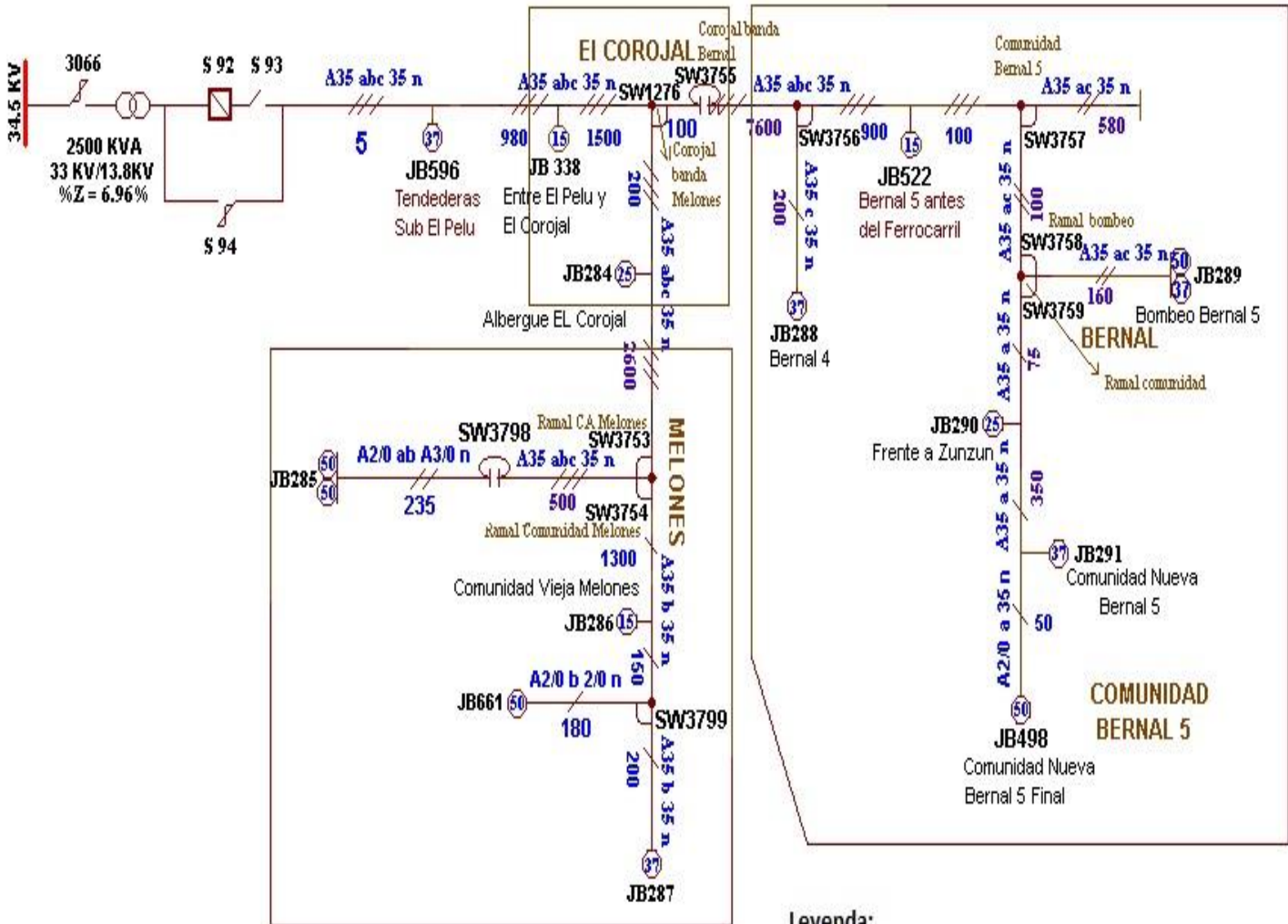
Anexo # 21: Estructura del Circuito 46.



Anexo # 22: Estructura del Circuito 47.



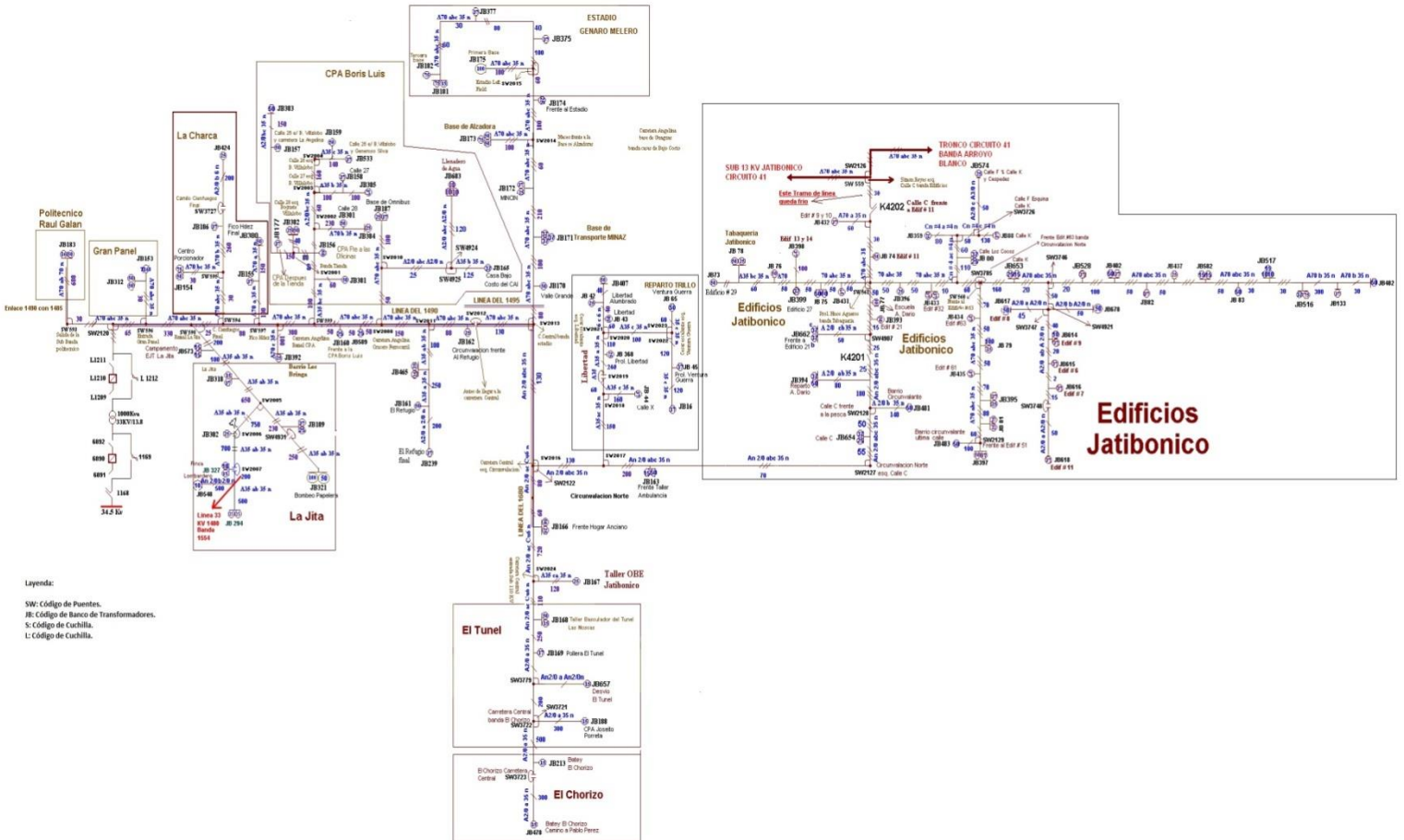
Anexo # 23: Estructura del Circuito 78.



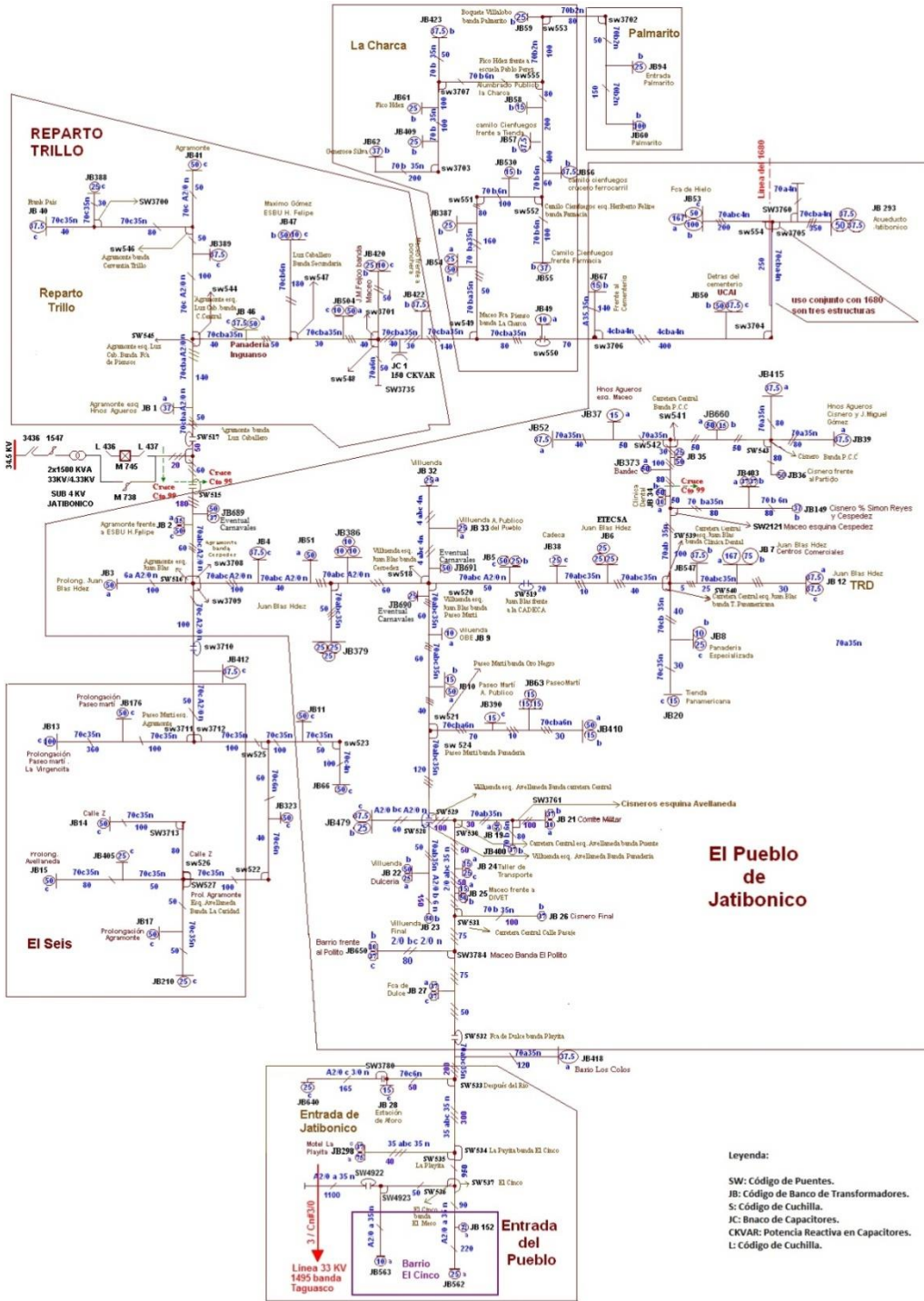
Leyenda:

- SW: Código de Puentes.
- JB: Código de Banco de Transformadores.
- S: Código de Cuchilla.
- %Z: Por ciento de Imperancia de los transformadores

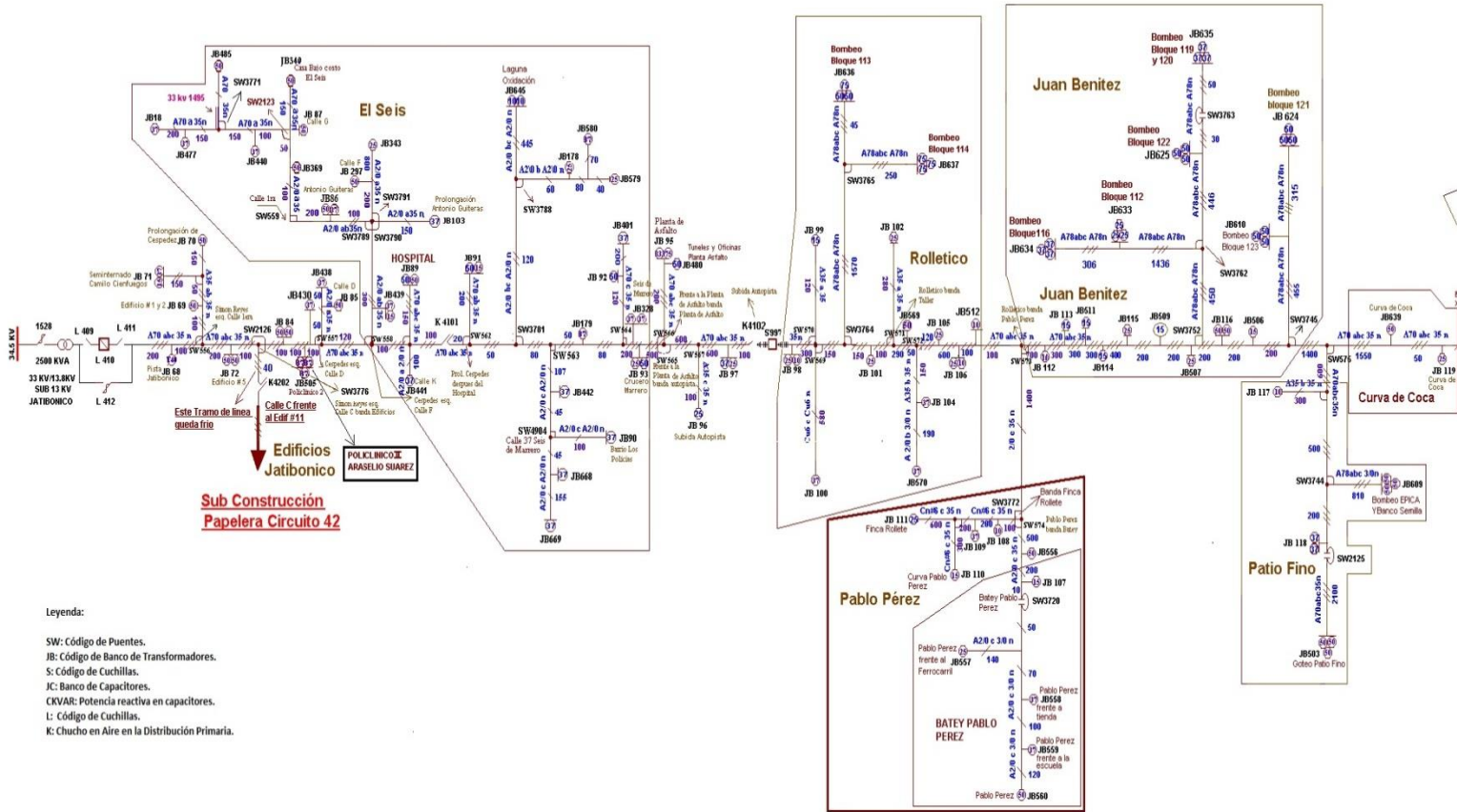
Anexo # 24: Estructura del Circuito 42.



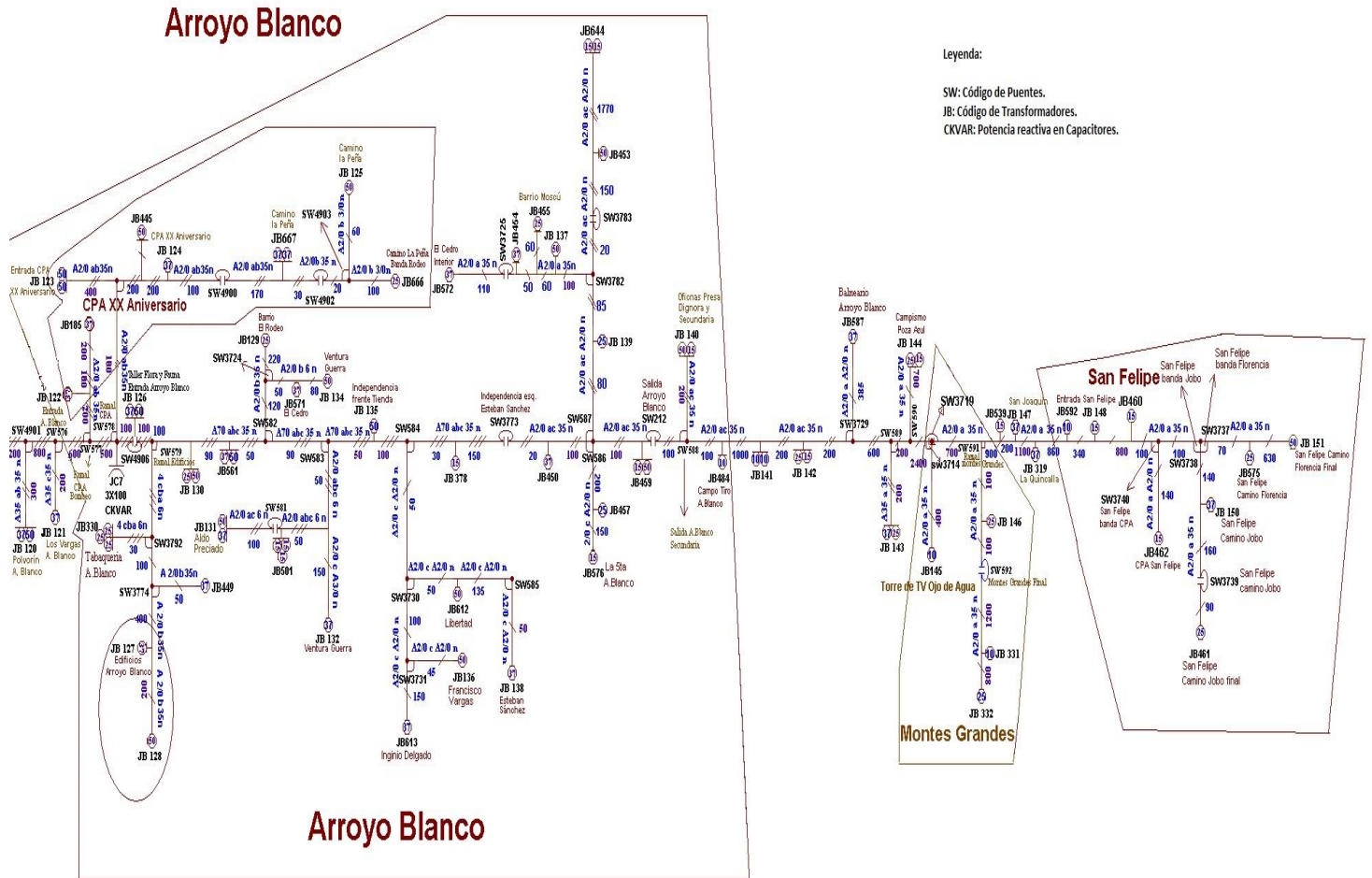
Anexo # 25: Estructura del Circuito 40.



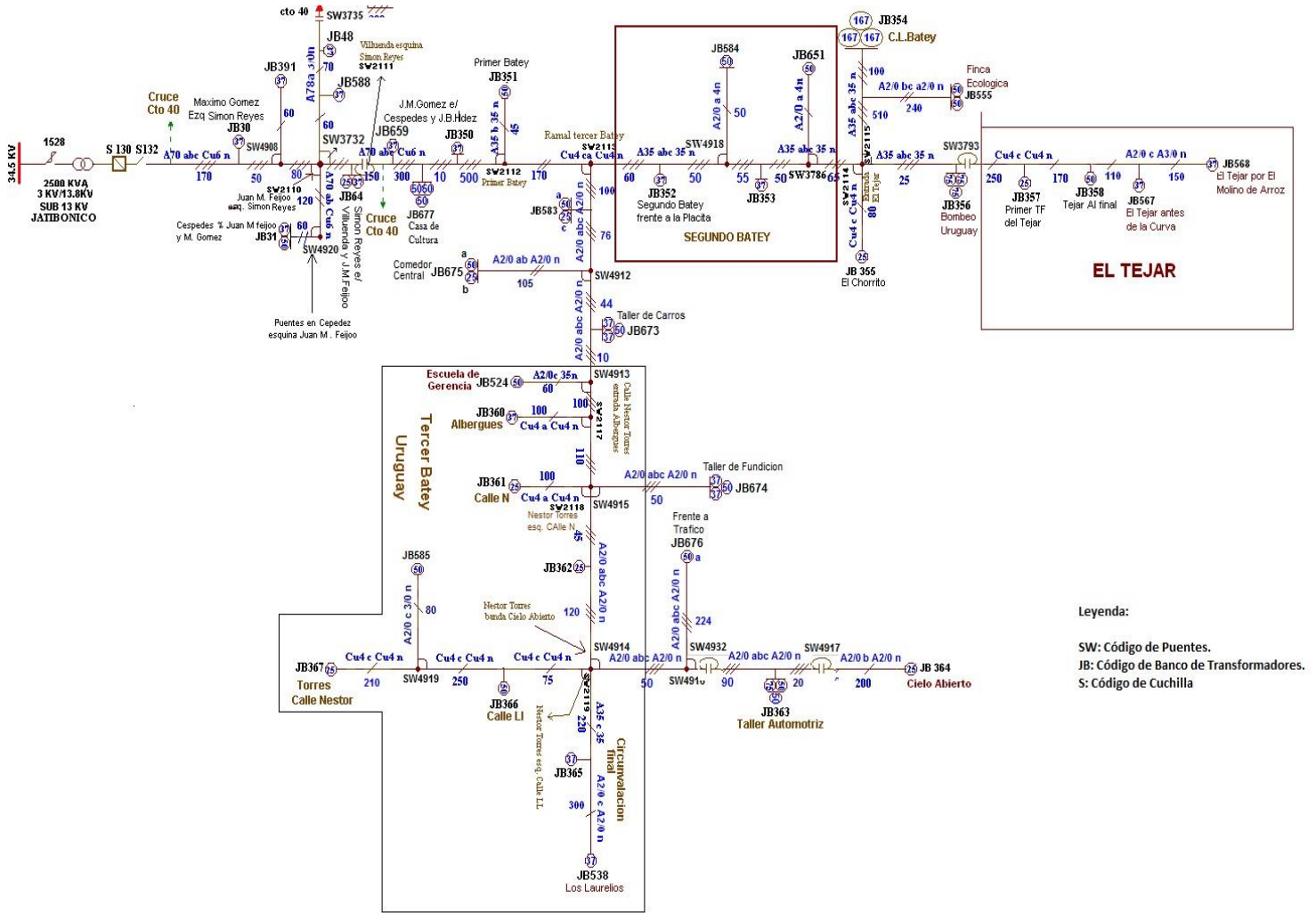
Anexo # 26: Estructura del Circuito 41.



Continuación Anexo # 26: Estructura del Circuito 41.



Anexo # 27: Estructura del Circuito 99.

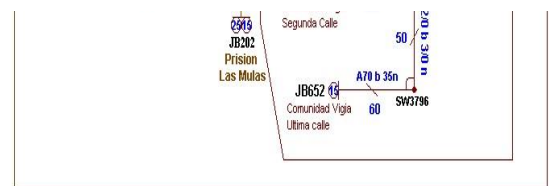
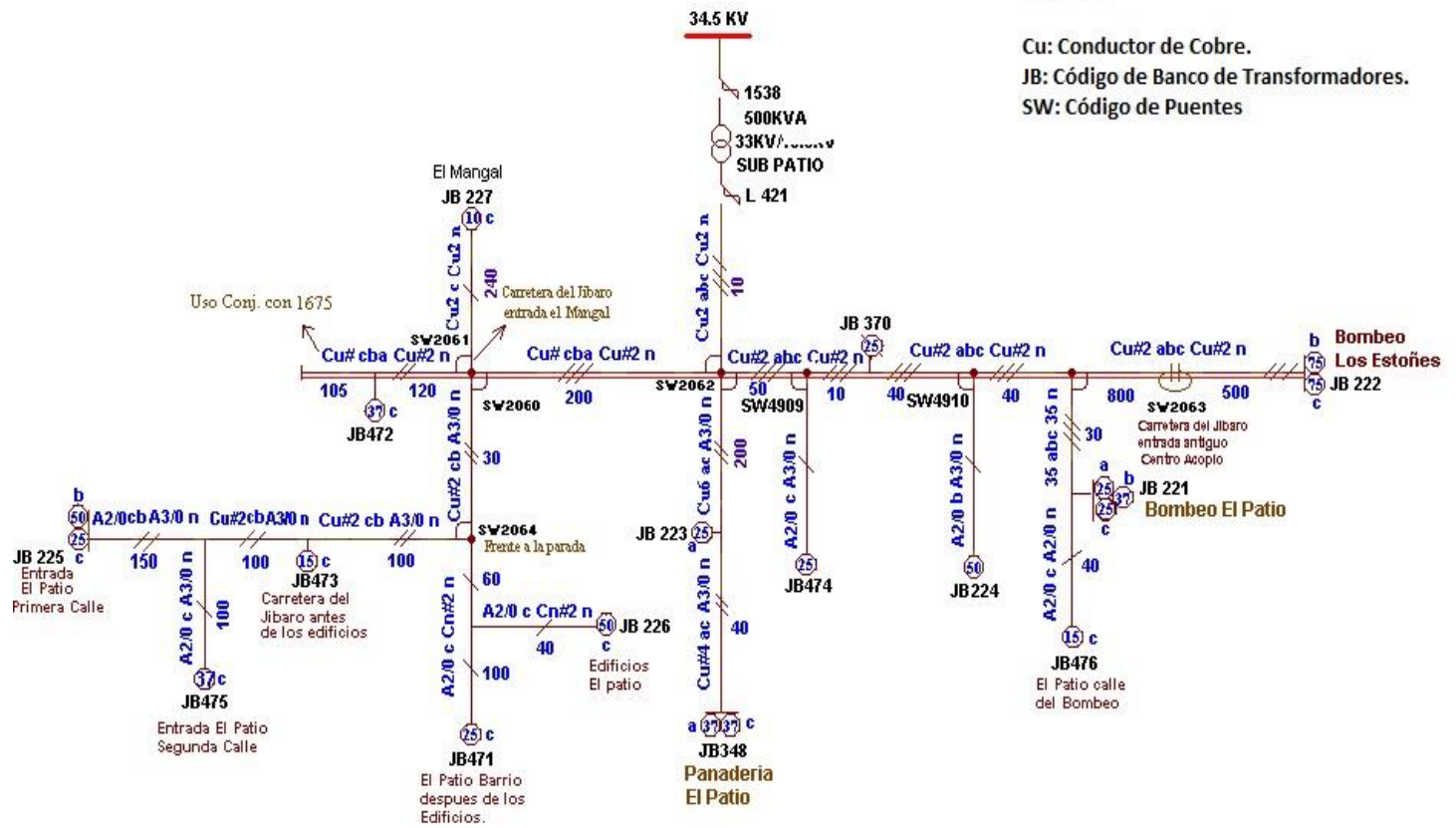


Anexo # 28: Estructura del Circuito 43.

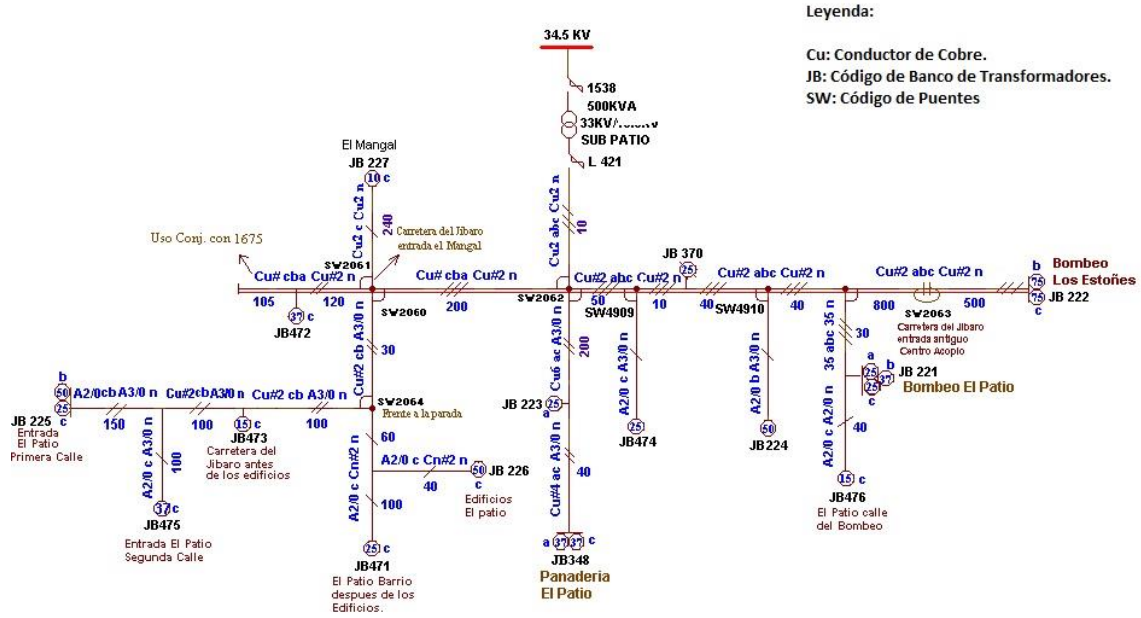
Laboratorio
Presa la Felicidad
JB299

Legenda:

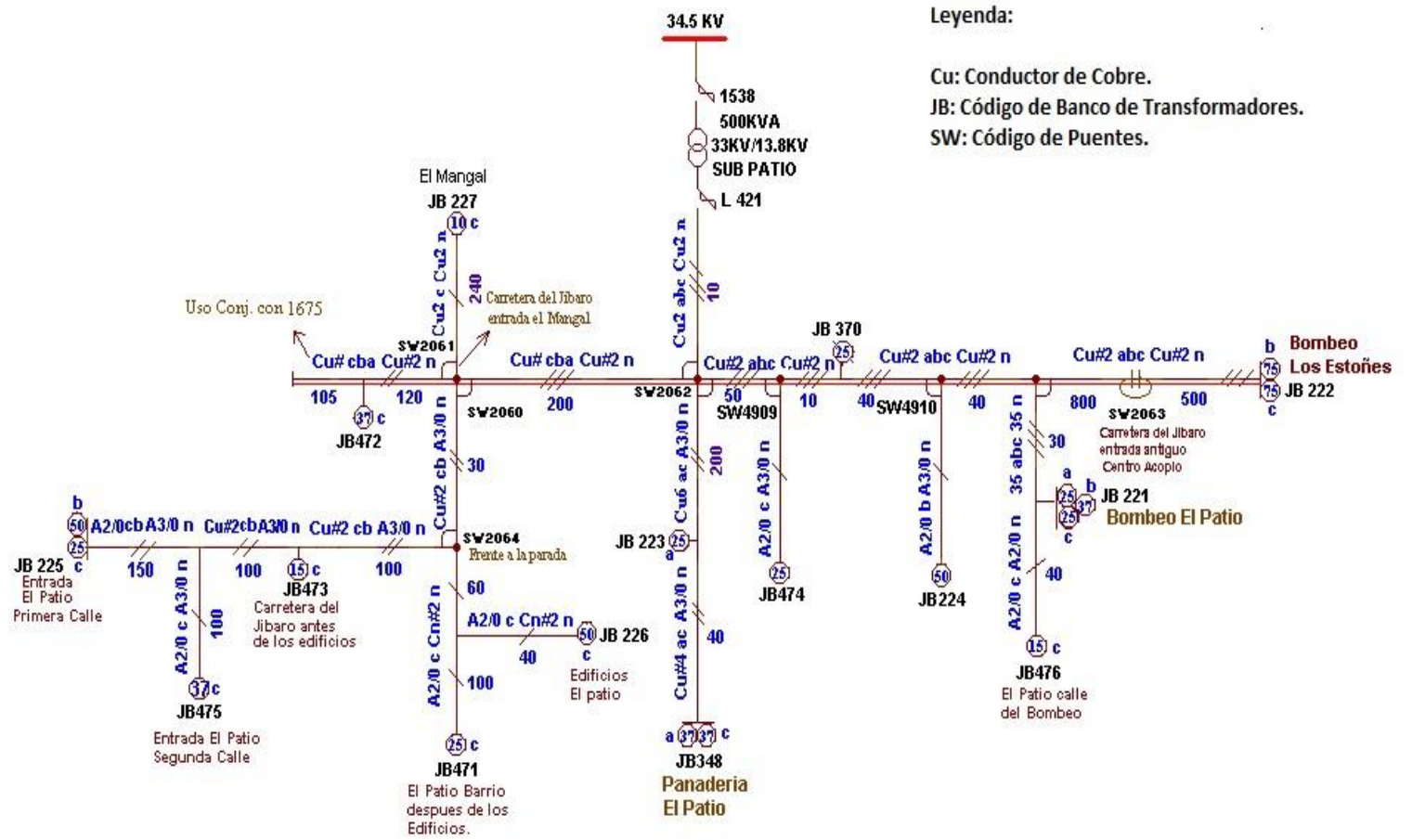
- Cu: Conductor de Cobre.
- JB: Código de Banco de Transformadores.
- SW: Código de Puentes



Anexo # 29: Estructura del Circuito 44.



Anexo # 30: Estructura del Circuito 45.



Legenda:

- Cu: Conductor de Cobre.
- JB: Código de Banco de Transformadores.
- SW: Código de Puentes.

Anexo # 31: Relación de los expertos identificados inicialmente.

Experto	Nombre y Apellidos	Profesión	Especialidad	Entidad	Años de Experiencia	Grado Científico
Experto 1	David Calzada Jiménez	Ing. Químico	Medio Ambiente	UMA-CITMA	34	MSc.
Experto 2	Elizabeth Pérez Díaz	Lic. Socio Cultural	Prog. Desarrollo.	AMPP	4
Experto 3	Nidia Ramírez González	Ing. Forestal	Medio Ambiente	CITMA	23	MSc.
Experto 4	Julio Pedraza Garciga	Ing. Químico	Ing. Químico	CEEPI	34	Dr. C
Experto 5	Javier A. García González	Ing. Agronomía	Grupo de Desarrollo Local	Gobierno	15
Experto 6	Yasmany Rodríguez Carménate	Ing. Eléctrico	Comercial	OBE	4
Experto 7	Jesús M. Fernández Olmo	Téc. Medio	Operaciones	OBE	4
Experto 8	Sinaí BoffillVega	Ing. Químico	Desarrollo Local	AMPP	10	Dr. C
Experto 9	Jorge L. Issac Pino	Ing. Químico	Especialista de FRE	MINEM	40