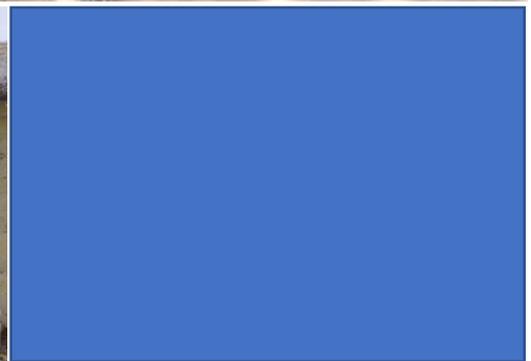


Consultoría-para el desarrollo de un modelo de cálculo para la determinación del costo eficiente de la prestación del servicio de energía eléctrica a través de la atención a usuarios mediante soluciones aisladas centralizadas o individuales.

CONTRATO 2020-036 : INFORME No 1

Definición de Niveles de Servicio



Preparado para:
COMISIÓN DE REGULACION DE ENERGÍA Y GAS- CREG

Preparado por:
HART Energy & Control Consulting S.A.S
Contacto: hernando.roa@hart-ecc.com
Calle 79 N° 16A-20 Of. 504 Bogotá-Colombia
Tel: +57 310 2551312
www.hart-ecc.com
Bogotá D.C., Octubre 8 de 2020

Tabla de Contenido

1	INTRODUCCIÓN.....	5
2	REFERENCIAMIENTO INTERNACIONAL.....	6
3	NIVELES DE SERVICIO PARA PRESTACION DEL SERVICIO PARA SOLUCIONES AISLADAS ...	11
3.1	DEFINICION NIVELES DE SERVICIO PARA SOLUCIONES AISLADAS	11
3.1.1	Nivel de Servicio 1	12
3.1.2	Nivel de Servicio 2	13
3.1.3	Nivel de Servicio 3	13
3.1.4	Nivel de Servicio 4	13
3.1.5	Nivel de Servicio 5	14
3.1.6	Nivel de Servicio 6	14
3.1.7	Nivel de Servicio 7:.....	14
3.2	Comentarios finales sobre los niveles de servicio	15
3.3	COMPONENTES PRINCIPALES DE LAS INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS AISLADAS INDIVIDUALES	15
3.4	ANALISIS DE LOS DISTINTOS FACTORES QUE AFECTAN LA DETERMINACION DE LOS NIVELES DE SERVICIO 15	
3.4.1	Acumuladores o baterías	15
3.4.2	Inversor	16
3.4.3	Panel solar	16
3.4.4	Determinación de los valores de radiación solar	16
3.4.5	Pérdidas.....	18
3.4.6	Regulador MPPT.....	19
4	PASOS SIGUIENTES EN EL DESARROLLO DE LA CONSULTORIA	20

Lista de Tablas

Tabla 1 Definición de los atributos de un nivel de servicio.....	6
Tabla 2 Niveles de servicio del acceso a la oferta de energía eléctrica del grupo Residencial en zonas aisladas.....	7
Tabla 3 Niveles de servicio de consumo de soluciones de energía eléctrica del grupo Residencial en zonas aisladas	8
Tabla 4 Niveles de servicio del acceso a la oferta de energía eléctrica del grupo Unidades productivas en zonas aisladas	8
Tabla 5 Niveles de servicio de la iluminación pública en el grupo instalaciones comunitarias en zonas aisladas.....	9
Tabla 6 Niveles de servicio del acceso a la oferta de energía eléctrica del grupo Instalaciones comunitarias en zonas aisladas	9
Tabla 7 Niveles de servicio para el servicio de electricidad en zonas aisladas propuestos por EnDev.....	10
Tabla 8 Niveles de servicio con rango de energía disponible	11
Tabla 9 Efecto de la radiación en la variación de potencia de los paneles	18
Tabla 10 Factores para el cálculo de las pérdidas del sistema	18

Lista de Figuras

Figura 1: Mapa de radiación solar en Colombia.....	17
Figura 2 Diagrama de flujo de los productos de la consultoría.....	20

1 INTRODUCCIÓN

Este documento presenta los resultados de la primera tarea establecida en el Contrato CREG-2020-036 y que tiene con ver con la definición de los niveles de servicio (Producto No 1) y que como tal constituye este Informe No 1.

El informe ha sido estructurado haciendo un repaso de lo que a nivel mundial se está haciendo en términos de ampliación de cobertura con el propósito claro de alcanzar las metas de universalización del acceso a la energía por un alto número de habitantes que a nivel mundial todavía no han podido alcanzar este muy necesario servicio. Muchos de estos esfuerzos han sido liderados desde hace ya varios años por organismo como el Banco Mundial y otras organizaciones de corte multilateral, ONGs, etc. Todos estos esfuerzos están haciendo aportes muy importantes en cuanto a políticas que los gobiernos podrían adoptar, metodologías y aspectos técnicos, sobre los cuales, hemos efectuado un compendio en lo que respecta a niveles de servicio y que se consigna como la primera parte del informe.

Lo anterior se complementa con lo que se ha denominado el marco de referencia para la prestación del servicio de energía eléctrica en las zonas aisladas de Colombia, centrado en lo que actualmente se identifica como las soluciones típicas que se están implementando por algunas empresas privadas y por los proyectos que se están estructurando con el liderazgo del IPSE.

Todo lo anterior en su conjunto, ha permitido a la consultoría hacer una propuesta de niveles de servicio de energía eléctrica para los casos de prestación del servicio mediante Soluciones Solares Aisladas tanto Individuales como Concentradas.

2 REFERENCIAMIENTO INTERNACIONAL

El reporte de progreso energético para el objetivo de desarrollo sostenible número 7 (Tracking SDG7: The Energy Progress Report 2020) reveló que 650 millones de personas no tendrán acceso al servicio de electricidad en el año 2030 si no se hace nada adicional (IEA, IRENA, UNSD, World Bank, WHO. 2020, 2020). Este hecho demanda acciones más adecuadas y certeras por parte de las organizaciones internacionales y los gobiernos, ya que la mayoría de los afectados se encuentran en zonas aisladas. Actores destacados como el Banco Mundial (World Bank), el Programa de asistencia a la gestión del sector energético (ESMAP, Energy Sector Management Assistance Program) y la iniciativa Energía Sostenible para Todos (SE4All)¹ se han concentrado en brindar herramientas que permitan cumplir el SDG7. A continuación se presentara los elementos más importantes relacionados con los niveles de servicio en zonas aisladas a través de la experiencia internacional.

El concepto de nivel de servicio de energía eléctrica en zonas aisladas es multivariado, por lo tanto, se mide a través de diferentes atributos. Así mismo, contiene elementos culturales que dificultan las comparaciones entre las curvas de carga de los usuarios. Como solución, la iniciativa SE4All estableció un marco de referencia que permitiese definir el servicio eléctrico de manera que se puedan elaborar indicadores de seguimiento, recomendaciones de políticas, caracterización de las soluciones energéticas aisladas, etc. En consecuencia, establecen los Atributos del suministro de energía como ocho aspectos claves y cuyas definiciones se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1 Definición de los atributos de un nivel de servicio.

Asequibilidad del suministro de energía:	Un atributo del suministro de energía que implica la capacidad del usuario final para pagar la energía necesaria para un paquete definido de consumo de energía. La asequibilidad abarca cargos de conexión únicos, cargos de energía, cargos de capacidad, cargos de mantenimiento y cargos de reemplazo. Se considera que el suministro de energía es asequible cuando el costo de la energía para un consumo de energía específico no excede un porcentaje de los ingresos del hogar.
Disponibilidad de suministro de energía:	Este atributo tiene que ver con la capacidad de contar con la energía cuando sea requerida por el usuario. La disponibilidad se mide como el tiempo y la duración del suministro. La disponibilidad de electricidad se puede medir como el tiempo durante el cual hay electricidad disponible.
Capacidad de suministro de energía:	Este atributo se relaciona con la cantidad de energía disponible para el usuario. Se puede medir como una combinación de energía total disponible durante un período de tiempo y la potencia máxima que se puede utilizar.
Calidad del suministro de energía	Es un atributo del suministro de energía que implica el nivel correcto y la estabilidad del voltaje y la frecuencia de la electricidad entregada al usuario.
Confiabilidad del suministro de energía:	Este atributo está relacionado con la ausencia de interrupciones impredecibles del suministro de energía. Normalmente se mide por la frecuencia y la duración de las interrupciones impredecibles (no programadas).

¹ Iniciativa creada por la secretaria general de las Naciones Unidas y el presidente del Banco Mundial en el 2011, para más información visitar <https://www.seforall.org/>

Legalidad/formalización del suministro de energía:	Este atributo implica que al usar el suministro de energía, el usuario final lo está utilizando a partir de una fuente legal y reconocida por la ley.
Seguridad	Un atributo del se relaciona con el riesgo de lesiones ocasionadas al usuario por el uso de la energía.
Fuente de energía	Sustancia o medio que puede usarse para producir trabajo mecánico o calor o para operar procesos químicos o físicos. Las fuentes de energía incluyen combustibles y fuentes de energía renovable que se aprovechan directamente, así como redes y mini redes alimentadas por combustibles fósiles y fuentes de energía renovables. Proporcionan suministros de energía que utilizan los usuarios finales para utilizar los servicios de energía.

Fuente: Elaboración propia a partir de información de ESMAP

En el caso del suministro en zonas aisladas, el ESMAP propone diferenciar los niveles de servicio discriminados por el uso final de energía. La clasificación es: el grupo Residencial (Household), el grupo de Unidades Productivas (Productivity Engagement) y el grupo de Instalaciones Comunitarias (Community Facilities). Dentro del grupo residencial, los niveles se definen esencialmente por el consumo de iluminación y carga de elementos de comunicación, como por ejemplo los celulares. En el caso del grupo de las unidades productivas, se definen como consumos que generan valor agregado, es decir, actividades que generan ingresos y aumento de productividad. Debido a la gran diversidad de aplicaciones en este grupo, se definen atributos en función de las horas de actividad económica. Finalmente, en el caso del grupo de instalaciones comunitarias se incluyen elementos que mejoran la calidad de vida en las comunidades, por ejemplo, puestos de salud, centros educativos, iluminación, edificios gubernamentales y centros de comunicaciones. Los diferentes atributos ubican al usuario al establecer un requisito mínimo para cada nivel. En general los rangos de capacidad son similares, salvo el caso de las instalaciones comunales. Los niveles de servicio se presentan en la Tabla 2, Tabla 3, Tabla 4, Tabla 5 y Tabla 6.

Adicionalmente, se establecen diferencias en la calidad percibida y ofrecida por las soluciones energéticas aisladas. En el caso de la calidad percibida (perspectiva de la demanda) los atributos relevantes se eligen por su importancia para el usuario. Por ejemplo, en el grupo residencial, el consumo de energía eléctrica es el principal atributo diferenciador. De manera similar, en el grupo de instalaciones comunitarias se mide principalmente la iluminación en zonas públicas por su impacto en percepción de seguridad, actividad económica, etc. En el caso de la calidad ofrecida (perspectiva de la oferta) se tiene en cuenta más atributos como la potencia, la energía disponible, la confiabilidad, etc., (ver la Tabla 2, Tabla 4 y Tabla 6.). La diversidad de atributos al caracterizar los niveles de servicio ofrecidos, permite caracterizar las soluciones aisladas de manera más integral y completa. La definición más completa de la calidad se tiene al evaluar la calidad ofrecida, sin embargo, plantea dificultades prácticas considerables (Principalmente debidas a la dispersión geográfica).

Tabla 2 Niveles de servicio del acceso a la oferta de energía eléctrica del grupo Residencial en zonas aisladas

Nivel de Servicio		1	2	3	4	5
Capacidad pico	Mínimo de Potencia (W)	3	50	200	800	2000
	Mínimo de energía (Wh)	12	200	1000	3400	8200
Disponibilidad	Mínimo de horas al día	4	4	8	16	23
	Mínimo de horas en la noche	1	2	3	4	4

Nivel de Servicio	1	2	3	4	5
Confiabilidad	-	-	-	Máximo 14 interrupciones a la semana	Máximo 3 interrupciones a la semana con una duración menor a 2 horas
Calidad del voltaje	-	-	-	Los problemas de voltaje no afectan los usos finales de energía	
Asequibilidad	-	-	El costo de una solución estándar de 365 kWh/año es menor al 5% del ingreso del hogar		
Legalidad	-	-	-	Factura es pagada al proveedor, a una tarjeta prepago o a un representante autorizado	
Seguridad	-	-	-	Ausencia de accidentes y percepción de bajo riesgo para el futuro	

Fuente: Tomado de (ESMAP, 2015)

Tabla 3 Niveles de servicio de consumo de soluciones de energía eléctrica del grupo Residencial en zonas aisladas

Nivel de Servicio	1	2	3	4	5
Consumo anual (kWh/año)	≥4.5	≥73	≥365	≥1,250	≥3,000
Consumo diario (Wh/día)	≥12	≥200	≥1000	≥3425	≥8219

Fuente: Tomado de (ESMAP, 2015)

Tabla 4 Niveles de servicio del acceso a la oferta de energía eléctrica del grupo Unidades productivas en zonas aisladas

Nivel de Servicio		1	2	3	4	5
Capacidad pico	Mínimo de Potencia (W)	3	50	200	800	2000
	Mínimo de energía (Wh)	12	200	1000	3400	8200
Disponibilidad	Mínimo de horas al día	2	4	50% de las horas de trabajo	75% de las horas de trabajo	95% de las horas de trabajo
Confiabilidad		-	-	-	Problemas de confiabilidad tienen un impacto moderado	Problemas de confiabilidad tienen impacto bajo o nulo
Calidad del voltaje		-	-	-	Problemas de calidad del voltaje tienen un impacto moderado	Problemas de calidad del voltaje tienen un impacto bajo o nulo
Asequibilidad		-	-	-	Costo variable de la energía menor al doble de la tarifa del sistema interconectado	Costo variable de la energía menor al de la tarifa del sistema interconectado
Legalidad		-	-	-	Energía es pagada al generador, a una tarjeta prepago, a un representante autorizado o a un operador legal del mercado	

Nivel de Servicio	1	2	3	4	5
Conveniencia	-	-	-	Problemas de conveniencia causan impacto moderado	Problemas de conveniencia causan impacto bajo o nulo
Seguridad	-	-	-	Las soluciones energéticas causan accidentes que no requieren asistencia médica profesional	Las soluciones energéticas no causan accidentes

Fuente: Tomado de (ESMAP, 2015)

Tabla 5 Niveles de servicio de la iluminación pública en el grupo instalaciones comunitarias en zonas aisladas

Niveles de Servicio	1	2	3	4	5
Capacidad	Al menos una calle se encuentra iluminada en el vecindario	Al menos el 25% del vecindario se encuentra iluminado por lámparas	Al menos el 50% del vecindario se encuentra iluminado por lámparas	Al menos el 75% del vecindario se encuentra iluminado por lámparas	Al menos el 95% del vecindario se encuentra iluminado por lámparas
Disponibilidad	La iluminación pública funciona al menos 2 horas durante la noche	La iluminación pública funciona al menos 4 horas durante la noche	La iluminación pública funciona al menos el 50% de las horas de la noche	La iluminación pública funciona al menos el 75% de las horas de la noche	La iluminación pública funciona al menos el 95% de las horas de la noche
Confiabilidad	-	-	-	No hay problemas de confiabilidad percibidos por los usuarios	
Calidad del voltaje	-	-	-	No hay problemas de brillo percibidos por los usuarios	
Seguridad	-	-	-	No hay riesgos de electrocución percibidos por los usuarios. La percepción se mide en función de la calidad de la instalación o el mantenimiento	

Fuente: Tomado de (ESMAP, 2015)

Tabla 6 Niveles de servicio del acceso a la oferta de energía eléctrica del grupo Instalaciones comunitarias en zonas aisladas

Nivel de Servicio	1	2	3	4	5	
Capacidad pico	Mínimo de Potencia (W)	3	50	200	800a 2000b	2000a 10000b
	Mínimo de energía (Wh)	12	200	1000	3400	8200
Disponibilidad	Mínimo de horas al día	2	4	50% de las horas de trabajo	75% de las horas de trabajo	95% de las horas de trabajo
Confiabilidad	-	-	-	Problemas de confiabilidad tienen un impacto moderado	Problemas de confiabilidad tienen impacto bajo o nulo	

Nivel de Servicio	1	2	3	4	5
Calidad del voltaje	-	-	-	Problemas de calidad del voltaje tienen un impacto moderado	Problemas de calidad del voltaje tienen un impacto bajo o nulo
Asequibilidad	-	-	-	Costo variable de la energía menor al doble de la tarifa del sistema interconectado	Costo variable de la energía menor al de la tarifa del sistema interconectado
Legalidad	-	-	-	Energía es pagada el generador, a una tarjeta prepago, a un representante autorizado o a un operador legal del mercado	
Conveniencia	-	-	-	Problemas de conveniencia causan impacto moderado	Problemas de conveniencia causan impacto bajo o nulo
Seguridad	-	-	-	Las soluciones energéticas causan accidentes que no requieren asistencia médica profesional	Las soluciones energéticas no causan accidentes

a: Instalaciones pequeñas, de menos de 3 cuartos; b: instalaciones grandes, de más de 3 cuartos

Fuente: Tomado de (ESMAP, 2015)

El nivel de servicio 0 (es decir, ausencia de servicio) se omitió de las tablas anteriores, ya que se utiliza para construir indicadores homologables de accesibilidad a la energía eléctrica, mas no para medir la calidad de la oferta de energía eléctrica. También se restringieron los niveles al servicio de energía eléctrica, ya que la metodología propuesta por ESMAP propone evaluar de manera general el acceso a la energía (es decir, energía eléctrica y combustibles). Una ventaja estratégica de la conceptualización propuesta es la posibilidad de ajustar los valores de cada atributo en función de las características de la demanda.

Otra definición empleada como insumo para elaborar la propuesta de ESMAP, fue propuesta por Energising Development Program (EnDev (Energising Development Program)., 2011). Consiste en una clasificación por niveles de acuerdo al consumo de los usuarios. Dicha clasificación se empleó a nivel europeo para plantear programas de ampliación de cobertura, sin embargo, cuenta con limitaciones, ya que no es tan completa como la construida por ESMAP.

Tabla 7 Niveles de servicio para el servicio de electricidad en zonas aisladas propuestos por EnDev

Nivel de Servicio	Soluciones incluidas en el paquete	Consumo anual por persona (kWh/año)	Sistema típico
Total	Todo incluido	2200	Red
Avanzado	Televisor, ventilador, video, usos productivos	220	Mini-red
Básico	Luz, teléfono, radio, televisor pequeño	22	Sistema de energía solar residencial (SHS1)
Parcial	Iluminación en baja cantidad, radio, televisor pequeño, celular	2	Batería recargable
Mínimo	Iluminación en baja cantidad	1	Linterna

1. Solar Home System por sus siglas en inglés. Fuente: (EnDev (Energising Development Program)., 2011)

3 NIVELES DE SERVICIO PARA PRESTACION DEL SERVICIO PARA SOLUCIONES AISLADAS

Desde hace varios años, la prestación del servicio de energía eléctrica en zonas aisladas ha mejorado en Colombia, mediante la aplicación de los fondos el FAZNI y el FAER y a las iniciativas de implementación de proyectos por parte del IPSE. De otro lado, el Gobierno Nacional en su estrategia de atender las zonas aisladas, ha tomado la decisión de cerrar la brecha entre la percepción de calidad de los usuarios conectados al SIN y las zonas aisladas de Colombia. Este panorama, sumado a las iniciativas internacionales (ver numeral 2) por conceptualizar y entender el problema generan una base conceptual muy sólida para el establecimiento de los niveles de servicio. Ahora bien, todo lo anterior se complementa con el entendimiento de la realidad reciente de la prestación del servicio a usuarios con soluciones aisladas mediante la utilización de soluciones fotovoltaicas que han nacido, en muchos casos como proyectos impulsados por IPSE, las entidades territoriales y en años reciente como resultados de la iniciativa privada, pues entienden que hay unas necesidades y obviamente un mercado con unas características especiales.

3.1 DEFINICION NIVELES DE SERVICIO PARA SOLUCIONES AISLADAS

El nivel de servicio (NS) se entiende como la cantidad máxima de energía que puede ser entregada por una solución en un período de tiempo.

*Para el ejercicio de identificación de niveles de servicio, se ha partido de los dos elementos que definen el campo de búsqueda. **El primero, es la energía disponible para consumo del usuario (a su propia discrecionalidad) y el segundo es la oferta tecnológica para cumplir con las expectativas de consumo.** Dado que el mercado impone restricciones de disponibilidad de elementos, se tomó como referencia las soluciones más usuales que se están implementando por parte de: i) Empresas privadas, que ofrecen soluciones en algunas regiones del país, ii) Proyectos que se ejecutan mediante cooperación internacional y iii) Proyectos para mejorar la cobertura (por ejemplo, los ejecutados por el IPSE en los años recientes). Adicionalmente, se han adelantado reuniones con: empresas prestadoras del servicio de energía eléctrica en ZNI con SFV, empresas proveedoras puras de paquetes o soluciones SFV y el IPSE, para conocer la ejecución de proyectos para la prestación del servicio (como parte de su ejercicio misional). En resumen, los niveles de servicio se han determinado tomando como referencia la disponibilidad de soluciones en el mercado colombiano y la energía disponible para uso del usuario*

Los niveles de servicio se han determinado tomando como referencia la disponibilidad de soluciones solares aisladas en el mercado colombiano y la energía disponible para el usuario de acuerdo con su nivel de uso. A continuación, se resumen en la siguiente tabla los niveles de servicio. Se presentan los 7 niveles de servicio para los cuales se indican en cada caso, el valor máximo de energía y adicionalmente para dar mayor cabida a los tamaños de paneles solares disponibles en el mercado, se han definido unos subniveles. El resultado final se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 8 Niveles de servicio con rango de energía disponible

NS	Subnivel	Energía	
		KWh/mes hasta	Wh/día hasta
1	1A	2	67
	1B	3	100
2	2A	7	233
	2B	15	500
3	3A	20	667
	3B	30	1.000
4	4A	45	1.500
	4B	60	2.000

NS	Subnivel	Energía	
		KWh/mes hasta	Wh/día hasta
5	5A	90	3.000
	5B	120	4.000
6	6A	180	6.000
	6B	300	10.000
7	7A	450	15.000
	7B	600	20.000

Fuente: Elaboración propia

Es importante mencionar que después de varias discusiones con la CREG, de común acuerdo, se decidió definir el límite superior de los niveles de servicio en términos de potencia en paneles solares instalados en 10 KWp. Cabe anotar los equipos que proveen energía dentro de este nivel de servicio, por su tamaño, suelen ser aplicables a soluciones requeridas para sistemas productivos y/o soluciones concentradas. El valor máximo de potencia en paneles solares se calcula a partir de la energía disponible para el usuario, las pérdidas (ver detalle de la discriminación y valores típicos de las pérdidas en la sección 3.4.5²) en cada uno de los componentes que típicamente hacen parte de una SISFV y la radiación solar. Para estos efectos se calcula con la radiación promedio mínima disponible en áreas donde se deba prestar en servicio con soluciones solares aisladas y que corresponde con el valor de 3.5 kWh/m²/día, valor de radiación promedio anual para la región de la costa pacífica colombiana, como se presenta en detalle en la sección 3.4.4.

Las secciones siguientes tienen por objeto presentar una descripción más detallada de cada uno de los niveles de servicio definidos.

3.1.1 Nivel de Servicio 1

El primer nivel de servicio abarca las soluciones solares más pequeñas, soluciones con sistemas solares de cuarta generación. Estas soluciones generalmente operan a 12 voltios DC y son las preferidas para ser instalados en esquemas prepago en cobro por tiempo de uso o “tiempo al aire”. Consisten de un panel solar de baja potencia para consumos de iluminación, por ejemplo, bombillas led de bajo consumo y baja penetración lumínica (2 a 4 unidades) para espacios pequeños y electrodomésticos menores (como radio, TV o simplemente carga de celulares). Estos equipos por lo general vienen en unidades compactas prefabricadas. Estas soluciones se ofrecen distintas potencias según el panel solar, y son disponibles en las siguientes configuraciones:

- Equipamiento básico para 10 Wp en potencia
- Equipamiento moderado para potencias hasta 30 Wp (la más común)
- Equipamiento con combinaciones para potencias de paneles solares hasta 100 Wp (mayor capacidad)

De acuerdo con la demanda energética descrita, la cantidad máxima de energía que puede ser entregada por una solución en un período de tiempo para este nivel de servicio corresponde con:

ENERGIA: **Hasta 3 kWh/mes**
 Hasta 100 Wh/día

² En dicha sección se incluye el efecto de la temperatura en la eficiencia global de una SISFV.

3.1.2 Nivel de Servicio 2

Cubre soluciones solares aisladas más grandes que corresponden con sistemas de generación mayores a 100 Wp, con potencias entre 150 y 200 Wp. Estos sistemas de mayor tamaño a diferencia del Nivel de Servicio 1 ofrecen energía eléctrica en corriente alterna, utilizan inversores y permiten instalar electrodomésticos de uso común a 110 VAC. Estas soluciones, generalmente son suministradas por proveedores locales para uso en viviendas aisladas y permiten conectar luminarias LED de 7 a 9 vatios de potencia con suficiente capacidad lumínica para espacios más amplios como habitaciones individuales. Generalmente tienen capacidad para operar pequeños televisores blanco y negro hasta 22 pulgadas.

De acuerdo con la demanda energética descrita, la cantidad máxima de energía que puede ser entregada por una solución en un período de tiempo para este nivel de servicio corresponde con:

ENERGIA: **Hasta 15 KWh/mes**
 Hasta 500 Wh/día

3.1.3 Nivel de Servicio 3

Este nivel cubre una mayor demanda energética y utiliza soluciones solares aisladas más grandes con potencias entre 250 Wp y 600 Wp. Operan en corriente alterna, permiten instalar electrodomésticos de uso común a 110 VAC. Generalmente tienen capacidad para 4 bombillos LED de 7 a 9 vatios de potencia por 6 horas de uso. Estas soluciones de mayor tamaño permiten operar televisores a color hasta 32 pulgadas y TV satelital. El componente generatriz está conformado por el uso de paneles solares entre 100 Wp y 320 Wp en arreglos de una o más unidades.

De acuerdo con la demanda energética descrita, la cantidad máxima de energía que puede ser entregada por una solución en un período de tiempo para este nivel de servicio corresponde con:

ENERGIA: **Hasta 30 KWh/mes**
 Hasta 1.000 Wh/día

3.1.4 Nivel de Servicio 4

Este nivel cubre la demanda energética de soluciones que comprenden sistemas de generación entre 600 Wp y 1000 Wp. Estas soluciones residenciales (SHS) corresponden con sistemas solares comúnmente utilizados por el IPSE. Estos sistemas ofrecen energía en corriente alterna por periodos de tiempo mayores (generalmente ofrecen autonomía entre 6 y 8 horas). Permiten instalar electrodomésticos de uso común y conectar un mayor número de bombillos LED de 7 a 9 vatios (más de 6 bombillos) por periodos más prolongados mayores a 6 horas. La oferta de energía permite instalar estos sistemas en hogares de mayor tamaño. Permiten también conectar televisores a color de hasta 32 pulgadas, TV satelital y computadores o internet satelital. Incluso en regiones de alta radiación solar como la costa Atlántica, permiten operar refrigeradores pequeños hasta 100 litros de capacidad.

Las potencias de los paneles solares están determinadas por el uso de paneles para sistemas interconectados a red, con amplia disponibilidad en el mercado solar urbano, de 60 y 72 celdas, con potencias entre 250 Wp y 400 Wp, en arreglos de una o más unidades. Pueden utilizar inversores individuales o inversores híbridos que incluyen de manera integrada reguladores MPPT y permiten conectar además fuentes externas de respaldo como generadores a gasolina y diésel.

De acuerdo con la demanda energética descrita, la cantidad máxima de energía que puede ser entregada por una solución en un período de tiempo para este nivel de servicio corresponde con:

ENERGIA: **Hasta 60 KWh/mes**
 Hasta 2.000 Wh/día

3.1.5 Nivel de Servicio 5

Este nivel comprende soluciones con sistemas de generación mayores a 1000 Wp, siendo la franja más alta de sistemas solares para vivienda rural. Estos sistemas en corriente alterna se ofertan con la capacidad para operar neveras pequeñas de 100 a 200 litros de capacidad. También permiten operar televisores a color hasta 32 pulgadas, TV satelital, computadores, internet satelital y bombillas LED con autonomía extendida hasta 8 horas de uso en cantidades que pueden superar las 8 unidades. Se trata de soluciones de alta capacidad para uso residencial.

El arreglo solar está compuesto por paneles de 60 y 72 celdas, con potencias generalmente superiores a 345 Wp. Utilizan inversores individuales o inversores híbridos y bancos de baterías de mayor amperaje.

De acuerdo con la demanda energética descrita, la cantidad máxima de energía que puede ser entregada por una solución en un período de tiempo para este nivel de servicio corresponde con:

ENERGIA: **Hasta 120 KWh/mes**
 Hasta 4.000 Wh/día

3.1.6 Nivel de Servicio 6

Este nivel incluye sistemas de generación mayores a 2000 Wp, generalmente para uso en infraestructura social como puestos de salud, escuelas y casas de gobierno o cabildos. Estos sistemas operan en corriente alterna y utilizan componentes robustos y grandes bancos de baterías.

El arreglo solar está compuesto por paneles de 60 y 72 celdas, con potencias generalmente superiores a 345 Wp.

De acuerdo con la demanda energética descrita, la cantidad máxima de energía que puede ser entregada por una solución en un período de tiempo para este nivel de servicio corresponde con:

ENERGIA: **Hasta 300 KWh/mes**
 Hasta 10.000 Wh/día

3.1.7 Nivel de Servicio 7:

Este nivel corresponde el techo de los niveles de servicio. Está pensado para incluir soluciones mayores a 5000 Wp de potencia en paneles solares para uso en esquemas productivos que pueden incluir motores, motobombas, sistemas de refrigeración para conservación de frutas y pescado, procesamiento de frutas o procesos lácteos entre otros. También puede incluir esquemas centralizados de generación para pequeñas comunidades nucleadas.

Estos sistemas también operan en corriente alterna en una, dos o tres fases y utilizan componentes robustos y grandes bancos de baterías generalmente de larga vida útil. El arreglo solar está compuesto por paneles de 60 o más celdas, con potencias generalmente superiores a 345 Wp.

De acuerdo con la demanda energética descrita, la cantidad máxima de energía que puede ser entregada por una solución en un período de tiempo para este nivel de servicio corresponde con:

ENERGIA: **Hasta 600 KWh/mes**
 Hasta 20.000 Wh/día

3.2 COMENTARIOS FINALES SOBRE LOS NIVELES DE SERVICIO

En este capítulo se han presentado los resultados obtenidos sobre la estructuración de los diferentes niveles de servicio después de varias reuniones de presentación de resultados con el equipo asesor de CREG para esta consultoría. Es muy importante aclarar que estos resultados aquí presentados podrán sufrir modificaciones a la luz de los resultados que se vayan obteniendo en la ejecución de los productos 2, 3 y 4. Lo anterior significa que la determinación de los niveles de servicio será un proceso iterativo que deberá tener como retroalimentación los resultados de los productos siguientes.

3.3 COMPONENTES PRINCIPALES DE LAS INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS AISLADAS INDIVIDUALES

En esta sección del documento se presentan los diferentes elementos que tiene incidencia directa en la estimación de la energía de cada nivel de servicio y que deberá ser provista por una solución solar fotovoltaica aislada. A continuación, se describen brevemente los componentes que hacen parte de un sistema solar aislado:

- **Generador fotovoltaico.** Compuesto por los paneles y su respectiva estructura de soporte. Son los encargados de transformar la energía solar en energía eléctrica de naturaleza D.C.
- **Regulador de carga.** Es el encargado del correcto funcionamiento del sistema, y principalmente de asegurar que las baterías tengan adecuados ciclos de carga – descarga, con el fin de maximizar su vida útil.
- **Acumulador (o banco de baterías).** Dada la variabilidad del recurso solar, no solamente en los periodos día – noche, sino también durante el día ante la presencia de nubosidad, es el componente esencial para garantizar un servicio de energía eléctrica estable para el consumo de la carga.
- **Inversor.** Equipo electrónico encargado de transformar la energía eléctrica de naturaleza DC en una de naturaleza AC.
- **Demanda o Consumo.** Cargas a las cuales se les va a prestar el servicio de energía eléctrica. En la tecnología actual, la mayoría de estas son de naturaleza DC y debido a esto, es necesario el uso del inversor.

En algunas aplicaciones, se puede tener un solo equipo que cumpla las funciones del regulador e inversor, llamado generalmente inversor híbrido. Incluso algunos tienen la posibilidad de conectar otro tipo de fuente como un generador eólico o diésel, con el fin de mejorar la confiabilidad del sistema

3.4 ANALISIS DE LOS DISTINTOS FACTORES QUE AFECTAN LA DETERMINACION DE LOS NIVELES DE SERVICIO

Para determinar el equipamiento necesario para proveer y transformar la energía disponible de cada nivel de servicio deberán considerarse los siguientes aspectos que afectan la eficiencia global de las SISFV y su capacidad de producción de energía a partir de la radiación solar disponible.

3.4.1 Acumuladores o baterías

La energía diaria debe estar disponible para uso las 24 horas del día, independientemente se hay o no radiación solar. Para ello será indispensable almacenar la energía producida por el sol en un acumulador o batería. El banco de baterías se diseña para proveer energía suficiente para satisfacer la demanda de energía diaria y proveer autonomía durante días de baja insolación.

La batería debe ser capaz de almacenar energía suficiente para satisfacer la demanda de energía diaria. Para el diseño deberá tenerse en cuenta si es o no necesario utilizar un inversor de corriente y ajustar su capacidad

considerando su eficiencia que se puede estimar en 85%. Además, la batería debe proveer autonomía durante días de baja insolación. Para garantizar una mayor vida útil de las baterías es necesario trabajar con una descarga poco profunda, por lo que se recomienda trabajar con al menos dos días de autonomía y garantizar una profundidad de descarga (DoD) no superior al 50%. Los efectos descritos, desembocan en el aumento del valor de energía diaria para satisfacer las condiciones de diseño. A continuación se presenta la ecuación que describe lo anterior.

$$\text{Energía en baterías [Wh]} = \frac{\text{Energía diaria del NS [Wh]}}{\frac{\text{Eficiencia del inversor}}{\text{DoD}}}$$

Donde: Eficiencia del inversor = 80% ; DoD = 50%

El tamaño del banco de baterías no depende de la radiación solar, sino de la demanda eléctrica diaria. Por lo tanto, su tamaño es único e invariable para cada subnivel de energía de los niveles de servicio.

3.4.2 Inversor

El inversor se debe seleccionar a partir de la carga eléctrica conectada y de la potencia pico máxima que pueda presentarse de manera simultánea. También, debe proveer capacidad para operar la demanda en todo momento. En consecuencia, debe poder atender el consumo de los electrodomésticos o cargas instaladas que puedan operar simultáneamente. Es un elemento que es único para cada subnivel de servicio pues depende únicamente de la carga conectada.

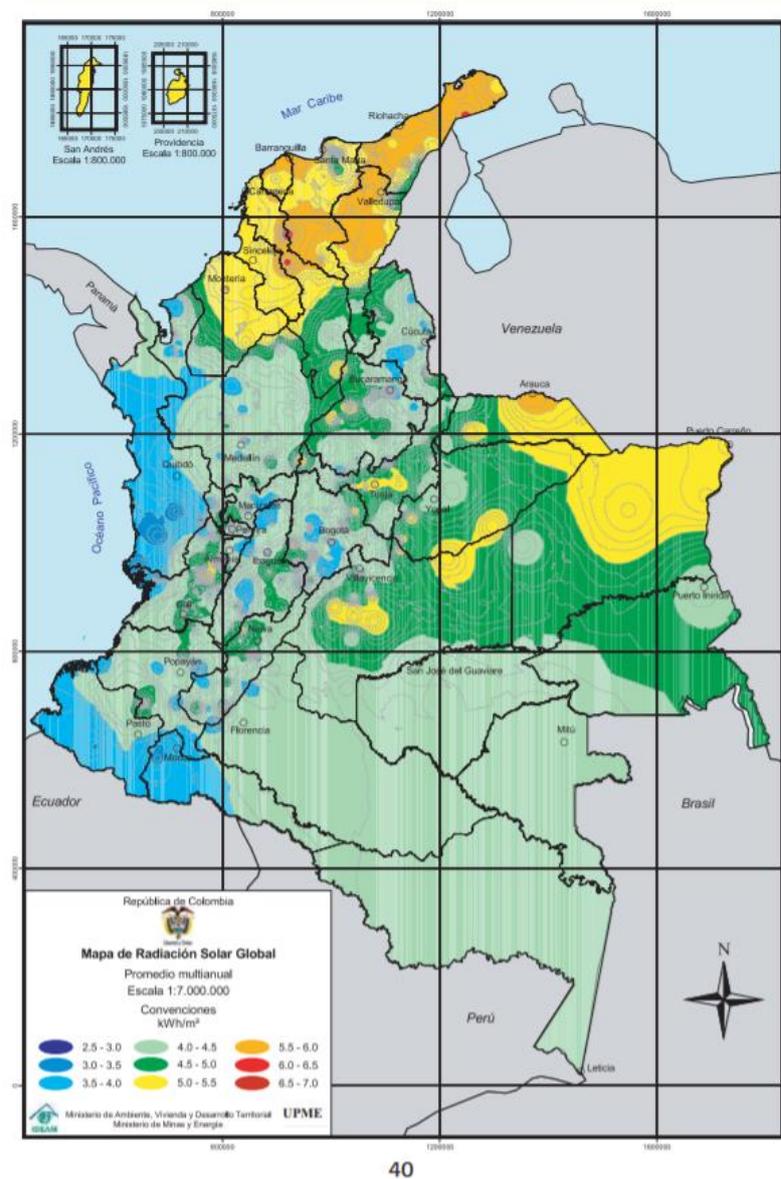
3.4.3 Panel solar

El componente generatriz deberá proveer la energía para satisfacer la demanda diaria, incluidas todas las ineficiencias del sistema. Como consecuencia, la capacidad de producción de energía puede ser mayor o igual a la energía requerida por el nivel de servicio. Para la estimación del tamaño en vatios pico del componente fotovoltaico se tiene en cuenta la demanda energética requerida, según el nivel de servicio, la radiación solar promedio a que está expuesta, y las ineficiencias energéticas establecidas en generación, transformación, acumulación, conducción y por temperatura ambiente (en menor grado).

3.4.4 Determinación de los valores de radiación solar

La radiación solar determina el tamaño del componente generatriz de la SISFV. Su valor cambia de acuerdo con la ubicación geográfica y las condiciones meteorológicas del sitio de instalación. Colombia cuenta con un Atlas de Radiación Solar caracterizado para cada región del país que permite tener el detalle de la radiación solar para un lugar específico. A continuación, se presenta el mapa de Colombia en el cual se pueden identificar claramente mediante un código de colores las áreas del país con mayor radiación solar medida en términos de energía por metro cuadrado. Se observa que en la costa norte colombiana se tienen las más altas radiaciones al igual que en el más oriental de los departamentos de Arauca, Casanare y Vichada. Ahora bien, las más bajas radiaciones solares se localizan en casi toda la franja de litoral pacífico y algunas zonas de Nariño y Putumayo.

Figura 1: Mapa de radiación solar en Colombia



Fuente: Tomado de (IDEAM, 2020)

Del análisis del mapa se puede clasificar la radiación solar en Colombia en tres rangos promedios de radiación:

- Rango promedio inferior con radiación solar promedio de 3.5 kWh/m²/día para la región de la costa pacífica colombiana.
- Rango promedio medio con radiación solar promedio de 4.25 kWh/m²/día que comprende el 80% de las zonas sin servicio y que podría caracterizar a la región Andina, la Amazonía y la Orinoquía.
- Rango promedio superior con radiación superior a los 5.25 kWh/m²/día característico de la costa atlántica y algunos sectores de Meta, Casanare y Magdalena.

Estos rangos promedios de radiación afectarán la composición del equipamiento requerido para para satisfacer la demanda de energía esperada de cada nivel de servicio y corresponden con los valores de radiación solar que se utilizaron para elaborar las tablas de niveles de servicio y determinan en buena parte las características de algunos componentes como paneles solares y regulador de carga.

Tomando como base la radiación de 4.25 kWh/m²/día, que corresponde con la mayoría de la geografía colombiana, se presenta, a manera de ejemplo, la variación en el tamaño del componente solar para el mismo nivel de servicio de acuerdo con región donde se instale y su radiación solar:

Tabla 9 Efecto de la radiación en la variación de potencia de los paneles

Región geográfica	kWh/m ² /día	% variación en potencia
Litoral pacífico, Choco biogeográfico	3,5	+ 21.4%
Región Andina, Orinoquía y Amazonía	4,25	0
Región Costa Atlántica	5,25	-19%

Fuente: Elaboración propia

Para las zonas de menor radiación solar (3.5 kWh/m²/día), el tamaño del panel solar puede ser al menos un 21.4% mayor comparado con el panel utilizado en la zona más extensa (4.25 kWh/m²/día). Para las zonas de mayor radiación solar el tamaño del panel solar en cambio puede ser hasta un 19% menor en potencia. Estas variaciones generaran cambios en los componentes que hacen parte del sistema solar aislado.

3.4.5 Pérdidas

Además de la radiación solar, otros factores afectan la generación de energía de los paneles solares. La siguiente tabla presenta los factores para el cálculo de las pérdidas del sistema que se tienen en cuenta al calcular la capacidad generatriz del componente solar para suministrar la energía requerida y característica de cada nivel de servicio:

Tabla 10 Factores para el cálculo de las pérdidas del sistema

Factores involucrados	% perdidas	% eficiencia	Rangos
Modulo (mismatch)	1%	99%	0.80 – 1.05
Diodos y conexiones	0.3%	99.7%	0.99 -0.997
Alambrado DC	1%	99%	0.97 – 0.99
Alambrado AC	0.7%	99.3%	0.98 – 0.993
Suciedad	0.5%	99.5%	0.30 – 0.995
Disponibilidad	0.5%	99.5%	0.00 – 0.995
Sombras	1%	99%	0.00 – 1.00
Eficiencia Inversor	15%	85%	0.7 – 0.9
Eficiencia de las baterías	20%	80%	0.7 – 0.9
Temperatura celda 60°C	12.3%	87.8%	-
Eficiencia global	-	56.7%	-

Fuente: Elaboración propia

Se considera eficiencia de las baterías en 80% e inversor en 85%. Por lo tanto, la energía disponible diaria equivale a:

$$\text{Energía disponible} = \text{Radiación Solar} * \text{Potencia panel} * \text{Eficiencia Global}$$

Como se observa el resultado es directamente proporcional con la radiación solar. El efecto de la temperatura se considera tomando en cuenta dentro del diseño una temperatura de trabajo de 60°C en las celdas del panel. Este

valor es considerado un valor normal promedio de operación para regiones cálidas y que contribuye con un 12.3% de pérdidas en el cálculo global de la eficiencia del sistema.

3.4.6 Regulador MPPT

De la misma manera, es necesario determinar la capacidad de otros componentes que cambian con el tamaño del componente generatriz. El regulador está relacionado específicamente con el tamaño del panel solar. Por lo tanto, existe un efecto en los mismos porcentajes respecto del regulador que se determine para la zona de radiación solar más extensa. Para el diseño del regulador se debe establecer el voltaje de operación del sistema y calcular el amperaje (ver la siguiente ecuación).

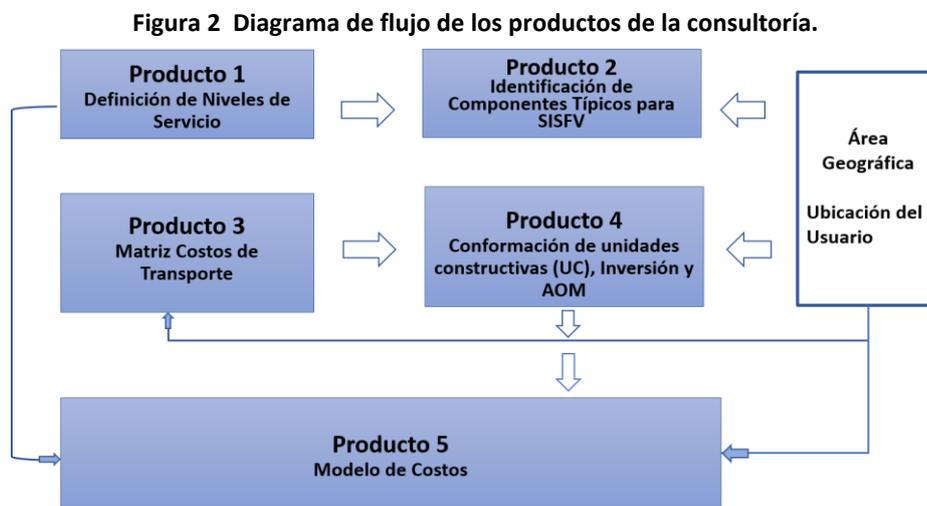
$$\text{Capacidad mínima del regulador [A]} = \frac{\text{Potencia del panel solar [Wp]}}{\text{Voltaje del sistema [V]}}$$

Adicionalmente, este cálculo sirve para determinar la capacidad de las desconexiones del panel solar. Este valor debe tener en cuenta el voltaje de operación de los paneles solares determinado por el número de paneles en serie del arreglo.

4 PASOS SIGUIENTES EN EL DESARROLLO DE LA CONSULTORIA

Los resultados presentados en este informe permiten definir los niveles de servicio que pueden ser atendidos mediante soluciones individuales solares fotovoltaicas. Esto se considera como el primer gran paso en la ejecución de la consultoría.

Como se puede observar de la figura que se presenta a continuación, con los resultados de este producto se procederá a identificar los componentes típicos para soluciones centralizadas e individuales, y tomando en consideración el alto impacto en los costos finales por la localización de la solución, es necesario entonces establecer los costos de transporte de los diferentes elementos identificados hasta los sitios de instalación. Para este propósito, se tomarán en consideración los insumos ya existentes como son los resultados del estudio de Corpoema, los del estudio de consultoría de Néstor Parra y entrevistas con IPSE y algunas de las empresas que ya están en las regiones.



Fuente: Elaboración propia

Seguidamente se harán los análisis de los diferentes esquemas de Administración y Mantenimiento requeridos por las soluciones individuales de tal manera que sean soluciones eficientes para el usuario y para el prestador del servicio, en este punto se identificarán los diferentes sistemas de medición que pueden ser implementados junto con sus características y costos.

Todos los resultados de los productos 1, 2 y 3 junto con los resultados de Administración y Mantenimiento y con los ajustes a los costos de inversión permitirán finalmente tener el Producto 4. De esta forma el Consultor podrá presentar el Informe No 2 el cual compila los resultados de los Productos 2, 3 y 4.