ANEXO 1

FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN CON EL FINANCIAMIENTO DEL FEDU

1. Título del proyecto

"ESTUDIO PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y VALIDACIÓN DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN EN C.C. DEL TIPO NANORED(NDCC) CON TECNOLOGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA, APLICADA EN DIFERENTES USOS ENERGÉTICOS PRODUCTIVOS Y CONFORT EN ISLAS FLOTANTES LOS UROS"

2. Área de Investigación

Área de investigación	Línea de Investigación	Disciplina OCDE
Recursos Naturales y Medio Ambiente	**Tecnología de Energías Renovables**	**Otras ingenierías y tecnologías**

3. Duración del proyecto (meses)

12

4. Tipo de proyecto

Individual	
Multidisciplinario	X
Director de tesis pregrado	

4. Datos de los integrantes del proyecto

Apellidos y Nombres	**Beltrán Castañón Norman Jesús**
Escuela Profesional	**Ingeniería Mecánica Eléctrica**
Celular	**939220054**
Correo Electrónico	**nbeltran@unap.edu.pe**

Apellidos y Nombres	**Ramos Cutipa José Manuel**
Escuela Profesional	**Ingeniería Mecánica Eléctrica**
Celular	**950850476**
Correo Electrónico	**jramos@unap.edu.pe**

Apellidos y Nombres	**Shuta Lloclla Henry**
Escuela Profesional	**Ingeniería Mecánica Eléctrica**
Celular	**950307891**

Correo Electrónico	**henryshuta@unap.edu.pe**

Apellidos y Nombres	**Chura Acero Julio Fredy**
Escuela Profesional	**Ingeniería Mecánica Eléctrica**
Celular	**963999993**
Correo Electrónico	**jchura@unap.edu.pe**

Apellidos y Nombres	**Chayña Velasquez Omar**
Escuela Profesional	**Ingeniería Mecánica Eléctrica**
Celular	**923994087**
Correo Electrónico	**ochayna@unap.edu.pe**

I. TÍTULO (EL PROYECTO DE TESIS DEBE LLEVAR UN TÍTULO QUE EXPRESE EN FORMA SINTÉTICA SU CONTENIDO, HACIENDO REFERENCIA EN LO POSIBLE, AL RESULTADO FINAL QUE SE PRETENDE LOGRAR. MÁX. PALABRAS 25)

"ESTUDIO PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y VALIDACIÓN DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN EN C.C. DEL TIPO NANORED(NDCC) CON TECNOLOGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA, APLICADA EN DIFERENTES USOS ENERGÉTICOS PRODUCTIVOS Y CONFORT EN ISLAS FLOTANTES LOS UROS"

II. RESUMEN DEL PROYECTO DE TESIS (DEBE SER SUFICIENTEMENTE INFORMATIVO, PRESENTANDO -IGUAL QUE UN TRABAJO CIENTÍFICO- UNA DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES PUNTOS QUE SE ABORDARÁN, OBJETIVOS, METODOLOGÍA Y RESULTADOS QUE SE ESPERAN)

La producción de energía eléctrica en CC y CA, utilizando tecnología fotovoltaica tiene diferentes escenarios, y estos se comportan de acuerdo a las condiciones donde los sistemas fotovoltaicos van a generar energía eléctrica. La tecnología fotovoltaica está diseñado a condiciones estándares, pero a altitudes mayores a los 3800 metros sobre el nivel del mar, no existen criterios técnicos para ser considerados en el diseño, instalación y funcionamiento de esta tecnología. Tal es así, que los sistemas de distribución en corriente continua vienen ganando espacio en las discusiones académicas por presentar gran capacidad de integración a fuentes de generación distribuida, especialmente solar fotovoltaica, además de una mayor facilidad de implementación de acciones de control y mejor desempeño desde el punto de vista de la eficiencia energética. En la zonas altoandinas em el

lago Titicaca en la Región Puno (isla flotantes de los Uros), el uso de sistemas fotovoltaicos individuales se justifica como alternativa viable para sustituir a los generadores diésel o de gasolina, habitualmente utilizados para generar electricidad en comunidades aisladas. Sin embargo, estos sistemas pueden aprovecharse mejor en una estructura abierta de distribución de energía en corriente continua (CC).

El objetivo de esta propuesta es desarrollar una nanored de distribución de corriente continua aplicada a pobladores de zonas altoandinas, como forma más eficiente y barata de difundir la aplicación de la fotovoltaica en el suministro de electricidad a estas localidades. Además, el proyecto pretende el desarrollo de prototipos de cargas en c.c. con la intención de abastecer algunas de las necesidades diarias de las poblaciones altoandinas, antes realizadas únicamente por cargas convencionales en corriente alterna (c.a.) mediante inversores o sistemas de combustión diesel o gasolina. Tales como:

A) Usos productivos: bombeo de agua, tecnología para procesamiento de fibra de ovino y alpaca, tecnología para tratamiento de granos andinos.
B) Usos de confort: iluminación, cargas domésticas en C.C y pequeña embarcación.

Los estudios derivados de este proyecto de investigación permitirán una mayor comprensión de los aspectos funcionales de los sistemas de distribución en corriente continua, demostrando su fiabilidad, así como la viabilidad técnica y económica en el servicio a los consumidores de zonas altoandinas, proporcionando datos experimentales y experiencia práctica, fundamentales para el desarrollo de este tipo de aplicación en el país. La metodología establecida y propuesta, estará en función a la colaboración de dos universidades extranjeras y dos nacionales:

Respecto a la parte práctica e implementación de las nanoredes, tenemos a la Universidad de Bristol - Inglaterra, a través del Dr. Samuel Williamsom, y la Universidad Federal de Pará, a través del Dr. Wilson Negrao Macedo.

Respecto al manejo y tratamiento de datos, tenemos al Grupo de Inteligencia Artificial de la PUCP, a través del Dr. César Armando Beltrán Castañón.

Respecto al mantenimiento y experticia de montaje, tenemos al Instituto de Investigación GRIDSOLAR de la Universidad Nacional de Juliaca, a través del Dr. Henry Pizarro Viveros y M.Sc. Reynaldo Condori Yucra.

Como resultado, se tendrá um sistema de nanored de distribuciÓn en corriente continua (NDCC), con nível de tensión de 24 V para el bus de CC. Este nivel de tensión presenta la ventaja de ser más seguro y compatible con varios equipos disponibles en el mercado. Además, este nivel de tensión es compatible con los bloques de generación, almacenamiento y carga a implementarse em las islas flotantes de los Uros.

III. PALABRAS CLAVES (KEYWORDS) (COLOCADAS EN ORDEN DE IMPORTANCIA. MÁX. PALABRAS: CINCO)

Nanorredes de CC, cargas de CC, movilidad eléctrica, sistemas fotovoltaicos sin conexión a la red.

IV. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO (DESCRIBA EL PROBLEMA Y SU RELEVANCIA COMO OBJETO DE INVESTIGACIÓN. ES IMPORTANTE UNA CLARA DEFINICIÓN Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA QUE ABORDARÁ LA INVESTIGACIÓN, YA QUE TEMAS CUYA DEFINICIÓN ES DIFUSA O AMPLÍSIMA SON DIFÍCILES DE EVALUAR Y DESARROLLAR)

Estudiar para diseñar, construir y validar sistemas fotovoltaicos con tecnología de nanoredes de distribución en C.C. de estructura abierta aplicada a diferentes usos energéticos productivos (procesamientos de granos andinos y de lana de ovino y alpaca) y usos energéticos de confort (iluminación, calefacción, etc) en zonas altiplánicas en el lago Titicaca (isla flotantes de los Uros) en la Región de Puno; es fundamental como una propuesta innovadora en el Perú, que solucione los problemas de energía en zonas aisladas de manera eficiente y económica.
La población establecida en zonas altoandinas, especialmente en las islas flotantes de los Uros, tiene como sustento económico desarrollar actividades productivas (procesamiento de granos andinos y fibra de lana) y de confort (iluminación, embarcación a corriente continua), estas actividades no garantiza una sostenibilidad, no garantiza una sustentabilidad ya que no tiene inyección de tecnología que garantice un servicio energético de forma eficiente y económica, a pesar de contar con un gran recurso energético solar : Radiación promedio mayor a 1000 w/m2 y bajas temperaturas, los cuales influyen directamente en la eficiencia de este tipo de tecnología

Según experiencias en el Estado de Pará, mediante el Grupo de Estudos e Desemvolvimento de Alternativas Energéticas (GEDAE) de la Universidad Federal de Pará (UFPA-BRASIL) y en la Universidad de Bristol (REYNO UNIDO). Cabe indicar, que la experiencia desarrollada en estas universidades no solamente es técnica sino también científica, ya que se tiene varios artículos publicados en eventos académicos y revistas científicas, así como la generación de tesis a nivel de pregrado y posgrado.

Por otro lado, la implementación de esta novísima tecnología de nanoredes de distribución en corriente continua (NDCC) en las islas flotantes de los Uros, permitirá elevar la calidad de vida de los habitantes y mejoría en su economía. Lo que reflejará en el mejor trato a los turistas nacionales y extranjeros.

V. ANTECEDENTES DEL PROYECTO (INCLUYA EL ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO EN EL ÁMBITO NACIONAL E INTERNACIONAL. LA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DEBE INCLUIR EN LO POSIBLE ARTÍCULOS CIENTÍFICOS ACTUALES, PARA EVIDENCIAR EL CONOCIMIENTO EXISTENTE Y EL APORTE DE LA TESIS PROPUESTA. ESTO ES IMPORTANTE PARA EL FUTURO ARTÍCULO QUE RESULTARÁ COMO PRODUCTO DE ESTE TRABAJO)

Los albores de los sistemas de distribución de energía eléctrica, a finales del siglo XIX, estuvieron marcados por una disputa técnica y económica que más tarde se conoció como la "Guerra de las Corrientes". Por un lado, el sistema de generación, distribución y cargas en corriente continua idealizado por Thomas Edison; por otro, la propuesta de un sistema de corriente alterna propugnada por George Westinghouse y Nikola Tesla. De hecho, los primeros años del sistema de distribución de energía eléctrica en Estados Unidos estuvieron marcados por el funcionamiento en corriente continua (CC), teniendo como cargas básicamente lámparas resistivas de CC y motores de CC (HUGHES, 1993).
Sin embargo, el sistema propuesto por Edison llevaba asociadas una serie de limitaciones técnicas, como: la imposibilidad de trabajar, de forma eficiente, con diferentes niveles de tensión en una misma red; la elevada caída de tensión en los conductores, por lo que las centrales debían estar cerca de los centros de carga; la reducida eficiencia de los motores de corriente continua, entre otros factores. En este sentido, la propuesta de un sistema que funcionase en corriente alterna (CA) eliminó muchos de los problemas asociados a la distribución en CC: el uso de transformadores que permitía subir y bajar la tensión de forma más eficiente en una red; la transmisión de energía en alta y trifásica tensión, reduciendo las pérdidas en los conductores y flexibilizando la distribución de las centrales generadoras; la mayor eficiencia del motor de inducción propuesto por Tesla, funcionando en corriente alterna, etc.

En aquel momento, la superioridad técnica del sistema de corriente alterna fue decisiva para convertirlo en el estándar en los sistemas de distribución de todo el mundo, como sigue siendo hasta hoy. Sin embargo, más de un siglo después del inicio de los sistemas de distribución de energía, el escenario de las redes eléctricas es muy diferente: cargas formadas en gran parte por dispositivos electrónicos (fuentes conmutadas, motores de velocidad controlable, iluminación LED, TV, etc.); mayor participación de las fuentes de generación distribuida (integradas en la red a través de convertidores de potencia); evolución de la electrónica de potencia, permitiendo el desarrollo de transformadores de estado sólido (transformadores de alta frecuencia), convertidores CC-CC de alta eficiencia, entre otros.

En este contexto, la adopción de sistemas de distribución en corriente continua puede ser más ventajosa técnica y económicamente (ELSAYED et al., 2015). Factores como: ganancia de eficiencia global, mayor robustez y fiabilidad, simplificación del sistema de control y gestión, entre otros, son claves en esta

posible ventaja técnico-económica. Todos estos factores adquieren aún más relevancia cuando se atiende a lugares aislados, como las comunidades altoandinas en el lago Titicaca (isla flotantes de los Uros), donde, en muchas situaciones, el propietario del edificio es el propio operador del sistema de generación y distribución de energía eléctrica.

En este punto, es importante distinguir entre minirredes, microrredes y nanorredes. Aunque son fundamentalmente la misma entidad para el sistema eléctrico, es habitual distinguir nano-redes, micro-redes y minirredes en función de la potencia de carga y/o la capacidad de generación, designándose con el término nano-redes a los sistemas de menor potencia. Sin embargo, aún no hay consenso en la literatura sobre el límite de potencia entre nano, micro y minirredes. En este proyecto, se considera el término nanomalla, dada la reducida potencia del sistema experimental propuesto como parte de esta propuesta. Por tanto, el acrónimo NDCC corresponde a Direct Current Distribution Grid(s) (Red(es) de Distribución de Corriente Continua), utilizándose para referirse específicamente al sistema implantado sobre el terreno, consistente en tres edificios ribereños aislados de la red eléctrica convencional. Aún así, en este trabajo se utiliza el acrónimo MDCC, que corresponde a Minigrid(s) de Corriente Continua, utilizándose en sentido genérico.

Un NDCC se concibe normalmente como un esquema fiable capaz de suministrar energía a cargas locales a partir de recursos energéticos renovables distribuidos. El NDCC convencional utiliza dos etapas de conversión separadas para alimentar cargas de AC y CC. Sin embargo, el diseño puede modificarse para que NDCC utilice solo un convertidor de una etapa (EBRAHIM et al., 2019). Se basa en un convertidor electrónico de potencia de entrada única y salida múltiple que interactúa con la fuente con los requisitos de carga media. La Fig. 1 muestra la estructura del sistema eléctrico abierto distribuido formado por múltiples NDCC.

En este contexto, el concepto de minirredes de distribución propone flexibilizar los sistemas de distribución tradicionales. Asumiendo que la complejidad de un sistema está directamente relacionada con el número de barras presentes en él, la subdivisión de una gran red de distribución por grupos independientes más pequeños facilita la adopción de estrategias de control, protección, entre otras, haciendo que el sistema sea más fiable y robusto. En Ton y Smith (2012), una minirred se define como "un grupo interconectado de cargas y fuentes de energía distribuidas con límites eléctricos claramente definidos, que funcionan para la red como una única entidad controlable y que pueden conectarse o desconectarse de la red principal, funcionando en paralelo o de forma aislada". En el caso de esta propuesta, la atención se centra en la evaluación de un NDCC operando aislado de la red convencional, en la asistencia de hogares de zonas altoandinas en el lago

Titicaca (isla flotantes de los Uros). Se trata de una alternativa al uso de sistemas de generación individuales, y puede presentar una mayor fiabilidad y robustez, ya que los sistemas de generación y almacenamiento de energía se comparten entre los consumidores.

Aunque el enfoque de la aplicación del NDCC se restringe a dar servicio a comunidades aisladas en zonas altoandinas del lago Titicaca (isla flotantes de los Uros), en este caso especialmente a los edificios ribereños, muchos de los conceptos y aprendizajes pueden extrapolarse para su aplicación en entornos urbanos e interconectados a la red eléctrica convencional. La búsqueda de sistemas de generación de electricidad menos agresivos con el medio ambiente, así como el aumento de los costos de la energía proveniente de la quema de combustibles fósiles, viene proporcionando, a nivel mundial y nacional, un crecimiento en el número de aplicaciones de generación de energía por fuentes renovables alternativas, con énfasis en la fuente solar fotovoltaica (FV) (EPE, 2018 y REN21, 2019).

La inserción de fuentes de generación intermitentes o con alta variabilidad en barras de distribución, tradicionalmente diseñadas para funcionar sólo como carga, va acompañada de un aumento de la complejidad del sistema. Los impactos negativos relacionados con el aumento de la participación de la generación distribuida en los sistemas de AC ya han sido investigados y seguidos de nuevas propuestas de medidas de mitigación (RAZAVI et al., 2019; SINGH et al., 2015).

Es indiscutible que las redes de distribución eléctrica de AC seguirán siendo la base de los sistemas de distribución complejos durante mucho tiempo, sin embargo, las aplicaciones de los sistemas de AC, principalmente en el contexto de las nanoredes, minirredes y microrredes de distribución tienden a multiplicarse en los próximos años, estén o no aisladas de la red principal de AC. Estos sistemas se perfilan como los grandes revolucionarios de la red eléctrica tradicional.

Los sistemas de corriente continua de baja tensión (CCBT) se presentan como una alternativa más eficaz a los sistemas tradicionales de corriente alterna. El aumento de la participación de fuentes de generación distribuida (mayoritariamente mediante sistemas fotovoltaicos) y el uso de cargas eléctricas más eficientes en corriente continua justifican el desarrollo de este tipo de aplicaciones, ya que reducen el número de etapas de conversión, haciendo el sistema más eficiente, fiable y de menor coste (ELSAYED et al., 2015).

Entre las ventajas de la implantación de sistemas de distribución en MDCC destacan: una menor complejidad y mayor control sobre las fuentes de generación distribuida; reducción de las pérdidas de transmisión (no hay transmisión de potencia reactiva, además del mejor aprovechamiento del conductor, ya que el efecto pelicular no se produce en los sistemas de corriente continua); además de la reducción del número de etapas de conversión (tanto por parte de la generación como de la demanda) (KUMAR et al., 2017). En el caso particular de localidades

aisladas, se añade la eliminación de la etapa de conversión DC-AC generalmente utilizada en sistemas con baterías, uno de los principales elementos de fallo en esta aplicación.

Varias instalaciones de MDCC funcionan ya en varias partes del mundo, bien en proyectos piloto de instituciones de investigación, instalaciones industriales y comerciales, bien para la electrificación de comunidades aisladas. Según Rodríguez-Díaz et. al. (2015), una de las principales aplicaciones ya consolidadas en la industria es la de las telecomunicaciones. La adopción de la distribución en corriente continua, en estándar 380 V/ 48 V eleva considerablemente la eficiencia energética global de la instalación, así como reduce el elevado gasto con refrigeración en este tipo e instalación, ya que se reduce la disipación de calor en las fuentes y conductores (KUMAR et al., 2017).

El fabricante industrial LLC Robert Bosch instaló, en 2014, varios sistemas MDCC en sus astilleros industriales de Estados Unidos con la propuesta de validar las ganancias de eficiencia esperadas y verificar el funcionamiento seguro y fiable de MDCC. Para realizar los estudios comparativos, se instalaron sistemas en c.c. análogos a los de c.a., ambos conectados a la red eléctrica, parcialmente alimentados por sistemas fotovoltaicos y alimentando cargas con el mismo uso final. Las cargas utilizadas tanto en CC como en CA son para iluminación (LED de gran altura) y ventilación (ventiladores de techo industriales). Se ha constatado que el sistema de corriente continua permite un aprovechamiento energético del sistema fotovoltaico entre un 6% y un 8% superior al del sistema de corriente alterna, considerando diferentes escenarios de condiciones de funcionamiento, ubicación y parámetros de diseño (FREGOSI et al., 2015). Otros ejemplos de MDCC en instalaciones industriales se presentan en ARDA POWER (2018) y NEXTEKPOWER (2019).

Entre los proyectos llevados a cabo por instituciones de investigación, destacan aquellos capaces de emular el uso de cargas de corriente continua considerando su uso típico en diversos escenarios de consumo, así como la integración de fuentes de generación con sistemas de almacenamiento de energía. En Díaz et al. (2015) se desarrollaron dos estructuras de laboratorio que demuestran el uso de MDCC en sistemas residenciales e industriales, en Dinamarca y China, respectivamente. La propuesta es utilizar las instalaciones para realizar estudios de diseño, modelización, control, coordinación, comunicaciones y gestión aplicados a las redes de distribución de corriente continua. Otros ejemplos de proyectos piloto ya en funcionamiento en instituciones de investigación se presentan en Worleyparsons (2019), Zhang et al. (2015) y Mishima et al. (2014).

En este sentido, el trabajo de Torres (2019) presenta el desarrollo de un NDCC instalado en el laboratorio del Grupo de Estudio y Desarrollo de Alternativas Energéticas (GEDAE), de la Universidad Federal de Pará. La red desarrollada se compone de tres sistemas de generación fotovoltaica (FV) y almacenamiento en

bancos de baterías y tres bancos de carga mayoritariamente resistiva, distribuidos a lo largo de la red de topología en anillo de 200 m, en un bus de 24 Vcc (Torres, 2019; Torres et al., 2020). Se desarrollaron dos metodologías de simulación capaces de reproducir el comportamiento operativo de la nanomalla en condiciones estáticas y dinámicas, permitiendo evaluar el rendimiento de la red a lo largo de un día de operación. También se realizaron pruebas con mediciones en puntos estratégicos de la red, para evaluar el comportamiento del sistema mediante condiciones específicas de operación, normal y contingencia (Torres, 2019; Torres et al., 2020).

Los resultados obtenidos atestiguan la capacidad de la nanomalla para satisfacer las cargas de forma fiable, siempre que se respeten las limitaciones del sistema de generación y almacenamiento de energía implementado. Además, se verificó que las características relacionadas con la topología del controlador de carga comercial utilizado para componer la nanomalla de distribución de corriente continua son beneficiosas para la calidad de la energía para el tamaño y la topología de la red desarrollada.

La propuesta que aquí se presenta, consiste en trasladar el trabajo de Torres (2019) del laboratorio a una aplicación de campo que involucra tres edificios de ribera, con el fin de confrontar las especificidades de una operación de laboratorio de las especificidades del uso práctico en un sistema de campo.

En Jhunjhunwala, Lolla & Kaur (2016) se presenta un estudio de caso de la aplicación de un MDCC de 48 V para la electrificación de una pequeña comunidad en la India. En esta aplicación, aunque la red pública estaba disponible, el uso de MDCC en paralelo resultó ser más ventajoso desde el punto de vista económico, teniendo en cuenta las tarifas de consumo eléctrico vigentes en el emplazamiento. Para este proyecto se desarrollaron dos modelos de convertidores para el control de la carga y descarga del banco de baterías, el control de la generación fotovoltaica y la conexión a la red de corriente alterna, con capacidad para dar servicio hasta a 24 residencias.

Muchas de las dificultades para implantar sistemas de corriente continua proceden de la falta de normalización, regulación y disponibilidad de equipos. Muchos equipos, aunque internamente funcionan en corriente continua, se alimentan en corriente alterna, que se rectifica internamente en la fuente del dispositivo.

La falta de equipos disponibles comercialmente para operar en corriente continua es, en gran parte, consecuencia de la ausencia de normas que busquen estandarizar este tipo de sistemas. Un ejemplo de ello es el nivel de tensión que debe adoptar un sistema de distribución de corriente continua. Existen varios ejemplos prácticos en los que los sistemas LVDC se aplican sin seguir una normalización, principalmente en lo que se refiere al nivel de tensión, como los presentados en las referencias anteriores. En este sentido, el proyecto propuesto tiene como objetivo implementar un sistema en 24 V, porque además de ser un estándar donde

muchos equipos para la composición del sistema y las cargas comerciales se encuentran off-the-shelf, además de ser un nivel de tensión aceptable para la distribución de energía a través de un NDCC, como ya se ha demostrado por Torres (2019).

Se han realizado esfuerzos de normalización por parte de instituciones como: IEC (International Electrotechnical Commission), que ya cuenta con normas como IEC 62040-5-3 , IEC 61643-3 e IEC 61643-311 , además de haber aprobado recientemente la formación del grupo estratégico SG4 para la evaluación de sistemas de distribución de corriente continua de baja tensión hasta 1.500 V; IEEE-SA (The Institute of Electrical and Electronics Engineering Standards Association), que actualmente cuenta con varias actividades relacionadas con este tema, como el GT946 (prácticas recomendadas en el diseño de sistemas auxiliares de corriente continua que utilizan baterías de plomo-ácido). c. utilizando baterías de plomo-ácido), P2030. 10 (diseño, funcionamiento y mantenimiento de MDCC para aplicaciones rurales o remotas) e IEEE DC@Home (investiga el uso de LVDC en residencias); Emerge Alliance, que acaba de publicar dos normas, una para sistemas residenciales y comerciales en 24 V y otra para centros de datos y telecomunicaciones en 380 V; también hay normas de otras instituciones centradas en sistemas de telecomunicaciones como ETSI (Instituto Europeo de Normas de Telecomunicación), ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones) y CCSA (Asociación China de Normas de Comunicación).

Otras dificultades están relacionadas con la implementación de dispositivos de protección, que difieren de los dispositivos de los sistemas de CA basados en el paso de corriente/tensión a través de cero, una situación que no se da en los sistemas de CC. En este caso, la desconexión brusca de las cargas es más propensa a la formación de arcos. En el campo de los sistemas fotovoltaicos ya existen dispositivos comerciales como disyuntores, fusibles e interruptores de desconexión diseñados para funcionar en corriente continua. Se están desarrollando otros dispositivos, como tomas específicas para la supresión de arcos (TAN et al., 2014).

En el Perú, el 19.9 % de la población rural no cuenta con energía eléctrica por red pública, según el INEI, con resultados de la Encuesta Nacional de Hogares-ENAHO (1). La población rural que cuenta con el servicio tiene un problema adicional y recurrente en eventos de falla del abastecimiento del servicio eléctrico, siendo los más afectados, centros de producción agropecuarios, viviendas, residencias en general. Una alternativa de solución es otorgar una independencia energética a través de sistemas de generación de energía renovable como los sistemas fotovoltaicos aislados con almacenamiento.

(1) Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI (2018). Nota de prensa: resultados de la Encuesta Nacional de Hogares-ENAHO

VI. HIPÓTESIS DEL TRABAJO (ES EL APORTE PROYECTADO DE LA INVESTIGACIÓN EN LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA)

El estudio para la implementación de tecnología de nanoredes de distribución de corriente continua (NDCC) permitirá mejorar la calidad de vida, mejor atención a los turistas y confort de la población de las islas flotantes de los Uros en el lago Titicaca de la Región Puno.

VII. OBJETIVO GENERAL

Este proyecto pretende demostrar la viabilidad y sostenibilidad a largo plazo del servicio a pequeños consumidores aislados de electricidad en la región altoandina en el lago Titicaca (isla flotantes de los Uros) mediante una nanored de distribución de corriente continua (C.C.) de estructura abierta, promoviendo la inclusión social de las poblaciones altoandinas mediante el uso de tecnologías consolidadas de generación de electricidad utilizando la energía solar fotovoltaica como fuente primaria. Se pondrá en marcha un sistema de demostración, compuesto por una nanorred de corriente continua alimentada por generación fotovoltaica y múltiples bancos de baterías, que funcionarán de forma compartida. Los convertidores y/o controladores de c.c.-c.c. utilizados en la composición de la nano-red de c.c. estarán basados en equipos comercialmente disponibles en el territorio nacional, facilitando el mantenimiento del sistema propuesto. Otro objetivo importante de este proyecto es promover el uso práctico de la pequeña movilidad eléctrica en el lago Titicaca (isla flotantes de los Uros), además de estimular el desarrollo de prototipos y el uso de cargas de corriente continua. La estrategia es aprovechar la experiencia de trabajos anteriores desarrollados por el Grupo de Estudio y Desarrollo de Alternativas Energéticas de la Universidad Federal de Pará (GEDAE-UFPA) en Brasil, con el objetivo de posibilitar el uso de cargas de corriente continua, tanto comerciales como adaptadas, destinadas al uso cotidiano de los consumidores en zonas altoandinas de la Region Puno. Con este fin, el proyecto pretende adaptar e implantar al menos tres tipos de cargas de CC, asociadas a los siguientes usos finales:

Usos productivos: bombeo de agua, tecnología para procesamiento de fibra de ovino y alpaca, tecnología para tratamiento de granos andinos.

Usos de confort: iluminación, cargas domésticas en C.C y pequeña embarcación.

El objetivo de este proyecto es realizar un estudio para diseñar, construir y validar una nanored de distribución en C.C. de estructura abierta con tecnología solar fotovoltaica, el cual sea aplicado a diferentes usos energéticos productivos y de confort, para mejorar la calidad de vida de las poblaciones en zonas altoandinas del lago Titicaca, como ejemplo zonas en la riberas del lago Titicaca, islas de Taquile, islas de Amantaní o Isla flotantes de los Uros.

El presente proyecto toma relevancia debido a que la aplicación de nanoredes de C.C. en estructura abierta utilizando tecnología solar fotovoltaica es innovadora y además que viene siendo desarrollada por universidades extranjeras que estarán asociadas a la Universidad Nacional del Altiplano, mediante el INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN ENERGÍA, AUTOMATIZACIÓN ELÉCTRICA Y MECÁNICA (ENAEM). Dichas universidades que están desarrollando a nivel técnico y científico son las siguientes:

- Universidad Federal de Pará (Brasil) mediante el Dr. Wilson Negrao Macedo.
- Universidad de Bristol (Inglaterra) mediante el Dr. Samuel Williamson
- Universidad de Concordia (Canada) mediante el Dr. Luiz López.

En la Universidad Federal de Pará, la tecnología de nanoredes de C.C. en estructura abierta fue desarrollado a nivel de laboratorio y aplicado a zonas ribereñas de la Amazonía en la ciudad de Belem-Brasil.

En la Universidad de Bristol y de Concordia, se están desarrollando a nivel de laboratorio.

Todo ello se puede corroborar en los artículos científicos y proyectos publicados por estas entidades internacionales.

VIII. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

El objetivo general se alcanzará teniendo en cuenta los siguientes objetivos específicos:

O1. Realizar el estudio para implementar una nanored fotovoltaica de corriente continua de estructura abierta basada en dispositivos y equipos disponibles en el mercado nacional y evaluar su sostenibilidad;

O2. Promover las competencias locales en el funcionamiento y mantenimiento de las nanoredes de corriente continua, así como la no dependencia de los combustibles fósiles;

O3. Aumentar la experiencia en el desarrollo e implementación de sistemas de distribución de corriente continua formados por múltiples sistemas de generación y almacenamiento que operan de forma compartida;

O4. Supervisar y evaluar el rendimiento y el funcionamiento de los sistemas de corriente continua y su apropiación por parte de los pueblos tradicionales de zonas altoandinas en la Región Puno;

O5. Contribuir a la construcción del conocimiento científico en el área de las nanoredes de distribución de corriente continua de estructura abierta, así como a

la mejora de la calidad de vida de las poblaciones en zonas altoandinas de la Región Puno;

O6. Contribuir para la mejoría de la calidad de vida de las poblaciones altoandinas de la Región Puno, promoviendo la inclusión social y, al mismo tiempo, diseminando el uso de nano-redes de distribución en corriente continua como alternativa viable y robusta en la atención de localidades altoandinas en el Lago Titicaca de la Región Puno (isla flotantes de los Uros);

O7. Proporcionar beneficios económicos derivados de la reducción del consumo de combustible y de la transformación de lana de ovino y alpaca;

O8. Comparar la viabilidad técnica y socioeconómica en la aplicación de cargas en corriente continua frente a cargas en corriente alterna;

O9. Evaluar y promover el uso práctico de la pequeña movilidad eléctrica en el lago Titicaca (isla flotantes de los Uros);

O10. Elaborar una bibliografía de formación adecuada para apoyar el mantenimiento y la reparación de los componentes de la nanored fotovoltaico;

O11. Formar recursos humanos para el desempeño académico y profesional en esta área del conocimiento, mediante la producción científica en función a los datos monitoreado y su respectivo tratamiento.

IX. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN (DESCRIBIR EL(LOS) MÉTODO(S) CIENTÍFICO(S) QUE SE EMPLEARÁ(N) PARA ALCANZAR LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS, EN FORMA COHERENTE A LA HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN. SUSTENTAR, CON BASE BIBLIOGRÁFICA, LA PERTINENCIA DEL(LOS) MÉTODO(S) EN TÉRMINOS DE LA REPRESENTATIVIDAD DE LA MUESTRA Y DE LOS RESULTADOS QUE SE ESPERAN ALCANZAR. INCLUIR LOS ANÁLISIS ESTADÍSTICOS A UTILIZAR)

La metodología del proyecto está anclada en la respuesta a la siguiente pregunta:

¿Son satisfactorios las nanoredes de C.C. (NDCC), alimentados por energía solar fotovoltaica, para el suministro continuo de electricidad a las cargas necesarias para la vida cotidiana de las comunidades altoandinas en el lago Titicaca (isla flotantes de los Uros) de la Región Puno?

Esta pregunta fue parcialmente respondida con la información presentada por la literatura, junto con los resultados experimentales obtenidos por Torres (2019) en el prototipo desplegado en el Grupo de Estudio y Desarrollo de Alternativas Energéticas de la Universidad Federal de Pará (GEDAE-UFPA). Sin embargo, la falta de un número significativo de experiencias prácticas induce muchos recelos e inseguridades sobre la fiabilidad y viabilidad de este tipo de aplicación.

Para ayudar al proceso de consolidación de esta respuesta, se empleará un enfoque multidisciplinar, en el que se tendrán en cuenta aspectos técnicos y socioeconómicos. En este abordaje, se propone la implementación de un NDCC similar al propuesto por Torres (2019), similiar al aplicado en una localidad ribereña en la Ilha das Onças, localizada en la Bahía de Guajará, municipio de Barcarena, en el estado de Pará, se aplicará a una población altoandina de la isla flotantes de los Uros, en el lago Titicaca en la Región Puno, lo que permitirá observar las particularidades de un sistema real bajo la influencia comportamental de las personas en el uso de la energía eléctrica.

El proyecto desarrollado y ejecutado en Brasil, es como parte de las actividades de extensión de la UFPA, más específicamente dentro del proyecto Asesoría Gratuita a Proyectos de Sistemas Fotovoltaicos para Instituciones Humanitarias, Cooperativas y Comunidades Aisladas del Estado de Pará, Ordenanza nº 020.2020 - ITEC-UFPA, Programa de Apoyo y Asistencia Técnica - PROAATEC UFPA. En este proyecto se establecen asociaciones entre GEDAE/UFPA, las empresas y las familias incluidas en él para permitir la implantación, el funcionamiento y el mantenimiento del sistema, garantizando así su sostenibilidad. El proyecto se abordará a través de 6 líneas de trabajo (LT1 - LT6):

LT1 : ANÁLISIS SITUACIONAL.

Esta línea de trabajo desarrollará especificaciones sólidas para el NDCC, basadas en los requisitos obtenidos a través de trabajos anteriores, en encuestas y entrevistas con las principales partes interesadas, (miembros de las familias contempladas en el proyecto, proveedores de equipos fotovoltaicos, técnicos de máquinas de procesamiento de granos andinos, lana de ovino, lana de alpaca y pequeñas embarcaciones típicamente utilizadas en la región, así como sus proveedores locales).

LT2: DISEÑO DE NANOREDES DE CORRIENTE CONTINUA Y CARGAS ELÉCTRICAS DE CORRIENTE CONTINUA.

Las compensaciones del sistema se evaluarán mediante la modelización de los componentes, como la capacidad de los bancos de baterías, los conductores que intervienen en el sistema de distribución y los generadores fotovoltaicos.

LT3: MEJORA DE LA CAPACIDAD DE LA NANOREDES DE C.C.

Se determinará los requisitos de mantenimiento, diagnóstico y reparación de todo el sistema, desarrollando la formación para la cualificación de técnicos locales que apoyen el mantenimiento del NDCC, incluido el mantenimiento de la carga. A partir del establecimiento de los requisitos y de la investigación de LT1, se verificarán las competencias actuales y las herramientas disponibles. Los diseños iniciales del sistema en LT2 se utilizarán para evaluar qué tareas de mantenimiento son necesarias para el correcto funcionamiento del NDCC.

LT4: EJECUCIÓN DEL PILOTO DE DEMOSTRACIÓN

El proyecto piloto servirá para demostrar la tecnología NDCC, con el apoyo técnico del personal de GEDAE, la empresa Tech Amazon y el Dr. Samuel Williamson, de la Universidad de Bristol. Esta asociación, junto con técnicos locales formados en LT3, se utilizará para apoyar y supervisar técnicamente el sistema una vez terminado. La supervisión se llevará a cabo en cada unidad básica de generación y almacenamiento, lo que permitirá evaluar el comportamiento de la red en distintos puntos.

LT5: ACTIVIDADES DE IMPACTO

El análisis de impacto es esencial para el éxito del proyecto. Los principales objetivos de este impacto serán: mostrar las experiencias positivas y negativas de las NDCC a los responsables políticos locales y nacionales de la Region Puno y de otras regiones del Perú, con el apoyo de sesiones informativas sobre políticas basadas en los datos de la investigación (LT1 -LT 4)

LT6: GESTIÓN DE PROYECTOS Y MITIGACIÓN DE RIESGOS

La gestión del proyecto incluirá reuniones semanales entre los miembros del equipo y reuniones quincenales por videoconferencia con el Dr. Wilson Negrao Macedo y Dr. Samuel Williamson y la participación de otros miembros de sus grupos de investigación.

X. REFERENCIAS (LISTAR LAS CITAS BIBLIOGRÁFICAS CON EL ESTILO ADECUADO A SU ESPECIALIDAD)

ARDA POWER. EV Charging DC Microgrids Lift Off in North America with Phase 2 of ARDA Power's Burlington DC Microgrid Project. Disponível em: <http://www.ardapower.com/2/post/2018/12/ev-charging-dc-microgrid-burlington-phase-2.html>. Acesso em: 24/7/2019.

DÍAZ, E. R.; SU, X.; SAVAGHEBI, M.; et al. Intelligent DC Microgrid living Laboratories - A Chinese-Danish cooperation project. 2015 IEEE First International Conference on DC Microgrids (ICDCM), p.365–370, 2015.

Ebrahim, E. A., Maged, N. A., Abdel-Rahim, N., & Bendary, F. (2019). Photovoltaic-Based Interconnected-Modified DC-Nanogrids within an Open Energy Distribution System. 2019 6th International Conference on Advanced Control Circuits and Systems (ACCS) & 2019 5th International Conference on New Paradigms in Electronics & Information Technology (PEIT).

ELSAYED, A. T.; MOHAMED, A. A.; MOHAMMED, O. A. DC microgrids and distribution systems: An overview. Electric Power Systems Research, v. 119, p. 407–417, 2015.

EPE. Balanço Energético Nacional: Relatório Síntese 2017. 2018.

FREGOSI, D.; RAVULA, S.; BRHLIK, D.; et al. A comparative study of DC and AC microgrids in commercial buildings across different climates and operating profiles. 2015 IEEE First International Conference on DC Microgrids (ICDCM), p.159–164, 2015.

HÉDER, M.. From NASA to EU: the evolution of the TRL scale in Public Sector Innovation. The Innovation Journal: The Public Sector Innovation Journal, Volume 22(2), 2017, article 3.

HUGHES, T. P. Networks of Power: Electrification in Western Society, 1880-1930. JHU Press, 1993.

JHUNJHUNWALA, A.; LOLLA, A.; KAUR, P. Solar-dc Microgrid for Indian Homes: A Transforming Power Scenario. **I**EEE Electrification Magazine, v. 4, n. 2, p. 10–19, 2016.

Lasseter, R. H.. “MicroGrids,” in Proc. IEEE Power Eng. Soc. Winter Meet., Jan. 2002, vol. 1, pp. 305–308.

Loh, P. C.; Li, D.; Chai, Y. K.; and Blaabjerg, F.. "Autonomous control of interlinking converter with energy storage in hybrid AC-DC microgrid," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 49, no. 3, pp. 1374-1382, 2013.

KUMAR, D.; ZARE, F.; GHOSH, A. DC Microgrid Technology: System Architectures, AC Grid Interfaces, Grounding Schemes, Power Quality, Communication Networks, Applications, and Standardizations Aspects. IEEE Access, v. 5, p. 12230–12256, 2017.

MISHIMA, T.; TANIGUCHI, I.; TAMAKI, H.; et al. A Verification of High-efficiency DC Micro-grid Power Systems with High-performance Power Converters and Energy Management Strategy. Procedia Technology, International workshop on Innovations in Information and Communication Science and Technology, IICST 2014, 3-5 September 2014, Warsaw, Poland., v. 18, p. 47–52, 2014.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. NFPA NEC (2011): National Electrical Code. 2011.

NEXTEKPOWER. Fort Belvoir Direct Coupling® DC Microgrid. Disponível em: <https://www.nextekpower.com/fort-belvoir-direct-coupling-dc-microgrid>. Acesso em: 24/7/2019.

RAZAVI, S.-E.; RAHIMI, E.; JAVADI, M. S.; et al. Impact of distributed generation on protection and voltage regulation of distribution systems: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 105, p. 157–167, 2019.

REN21. RENEWABLES 2019 GLOBAL STATUS REPORT. Disponível em: <https://www.ren21.net/gsr-2019>. Acesso em: 23/7/2019.

RODRIGUEZ-DIAZ, E.; SAVAGHEBI, M.; VASQUEZ, J. C.; GUERRERO, J. M. An overview of low voltage DC distribution systems for residential

applications. 2015 IEEE 5th International Conference on Consumer Electronics - Berlin (ICCE-Berlin), p.318–322, 2015. Berlin, Germany: IEEE. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7391268/>. Acesso em: 23/7/2019.

SINGH, B.; MUKHERJEE, V.; TIWARI, P. A survey on impact assessment of DG and FACTS controllers in power systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 42, p. 846–882, 2015.

TAN, K.; HUANG, A. Q.; MARTIN, A. Development of solid state arc-free socket for DC distribution system. 2014 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition - APEC 2014, p.2300–2305, 2014. Fort Worth, TX, USA: IEEE. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6803624/>. Acesso em: 23/7/2019.

TON, D. T.; SMITH, M. A. The U.S. Department of Energy's Microgrid Initiative. The Electricity Journal, v. 25, n. 8, p. 84–94, 2012.

TORRES, P. F.; COSTA, T. O.; ARAÚJO, L. F.; VIEIRA FILHO, J. A. A.; WILLIAMSON, S. J.; MACÊDO, W. N.. Solar Photovoltaic-based DC Nanogrid Testing under Real-World Operating Conditions. Aceito no 10th International Conference on Power Electronics, Machines and Drives. 2020.

TORRES, P. F. Desenvolvimento e Modelagem de uma Nanorrede de Distribuição em Corrente Contínua em Baixa Tensão com Sistemas de Geração Distribuída, 2019. Dissertação de Mestrado, Belém, Brasil: Universidade Federal do Pará.

WORLEYPARSONS. WorleyParsons awarded microgrid project by the University of Toronto. Disponível em: <https://www.worleyparsons.com/news/2019/feb-toronto-microgrid-project>. Acesso em: 24/7/2019.

ZHANG, F.; MENG, C.; YANG, Y.; et al. Advantages and challenges of DC microgrid for commercial building a case study from Xiamen university DC microgrid. 2015 IEEE First International Conference on DC Microgrids (ICDCM), p.355–358, 2015.

XI. USO DE LOS RESULTADOS Y CONTRIBUCIONES DEL PROYECTO (SEÑALAR EL POSIBLE USO DE LOS RESULTADOS Y LA CONTRIBUCIÓN DE LOS MISMOS)

Para ayudar en el proceso de consolidación de esta respuesta, se empleará un enfoque multidisciplinar, en el que se tendrán en cuenta aspectos técnicos y socioeconómicos. En este abordaje, se propone la implementación de un NDCC similar al propuesto por Torres (2019), y este será aplicado en una localidade altoandina en el lago Titicaca, especificamente islas flotantes de los Uros., localizada en la Bahía de Puno, Distrito de Puno, en la Región de Puno (Figura 1), permitiendo observar las particularidades de un sistema real bajo la influencia comportamental de las personas en el uso de la energía eléctrica.

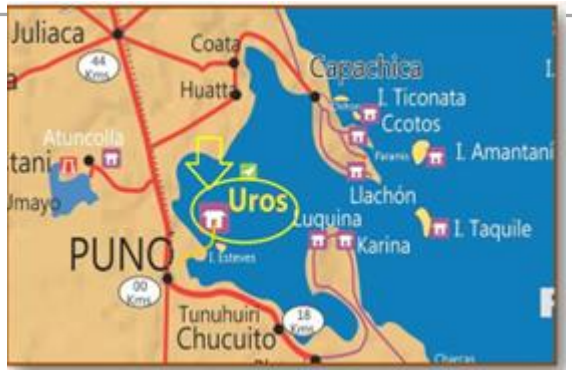


Figura 1. Ubicación de islas flotantes de los Uros

Para ayudar en el proceso de consolidación de esta respuesta, se empleará un enfoque multidisciplinar, en el que se tendrán en cuenta aspectos técnicos y socioeconómicos. En este abordaje, se propone la implementación de un NDCC similar al propuesto por Torres (2019) y el grupo GEDAE de la Universidad Federal de Pará, y este será aplicado en una localidad de las islas flotantes de los Uros en el lago Titicaca, localizada en la Bahía de Puno, en la Región Puno (Figura 2), permitiendo observar las particularidades de un sistema real bajo la influencia comportamental de las personas en el uso de la energía eléctrica. Lo que permtirá generar conocimiento científico respecto al uso de energías renovables mediante una nanored de distribución de CC y solucionar problemas de confort y producción en las poblaciones identificadas.

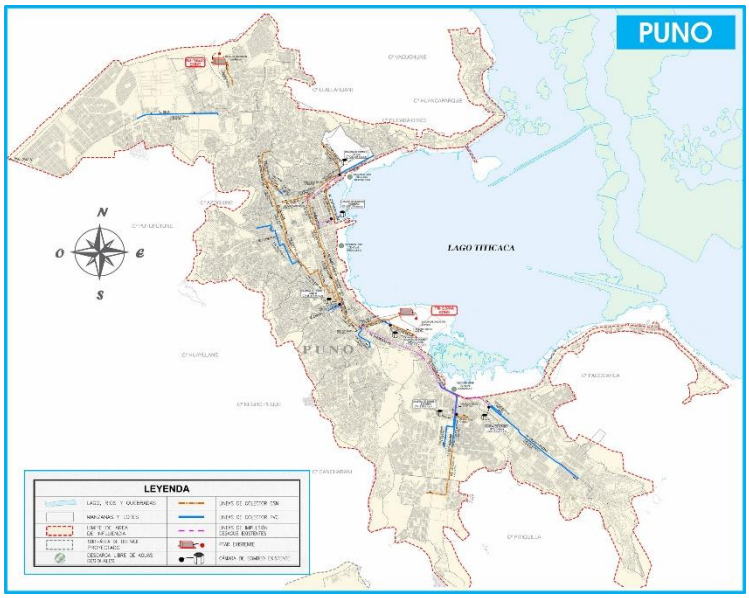


Figura 2: Bahía de Puno

El trabajo de Torres (2019) presenta el desarrollo de una NDCC instalado en el laboratorio del Grupo de Estudios y Desarrollo de Energías Alternativas (GEDAE), Universidad Federal de Pará. La red desarrollada se compone de tres sistemas de generación fotovoltaica (FV) y almacenamiento en bancos de baterías y tres bancos de carga mayoritariamente resistiva, distribuidos a lo largo de la red

de topología en anillo de 200 m, en un bus de 24 Vcc (Torres, 2019; Torres et al., 2020). Se desarrollaron dos metodologías de simulación capaces de reproducir el comportamiento operativo de la nanomalla en condiciones estáticas y dinámicas, permitiendo evaluar el rendimiento de la red a lo largo de un día de operación. También se realizaron pruebas con mediciones en puntos estratégicos de la red, para evaluar el comportamiento del sistema mediante condiciones específicas de operación, normal y contingencia (Torres, 2019; Torres et al., 2020).

Los resultados obtenidos avalan la capacidad de la nanorred para satisfacer las cargas de forma fiable, siempre que se respeten las limitaciones del sistema de generación y almacenamiento de energía implementado. Además, se verificó que las características relacionadas con la topología del controlador de carga comercial utilizado para componer la nanomalla de distribución de corriente continua son beneficiosas para la calidad de la energía para el tamaño y la topología de la red desarrollada.

La propuesta que aquí se presenta, consiste en trasladar el trabajo de Torres (2019) y lo que se está desarrollando en poblaciones amazônicas por el grupo GEDAE de la Universidad Federal de Pará, con el fin de confrontar las especificidades de una operación de laboratorio de las especificidades del uso práctico en un sistema de campo.

La propuesta pretende inicialmente utilizar comercialmente tecnologías ya existentes, sin excluir el desarrollo de prototipos de convertidores CC-CC para evaluar otras estrategias de funcionamiento. Se propone el uso de un NDCC en una estructura abierta de sistema de distribución de energía para dar servicio a cuatro unidades consumidoras, como se ilustra en la Fig. 3. El sistema se compondrá de bloques formados por generación solar fotovoltaica, como fuente de energía eléctrica, y bancos de baterías para almacenamiento (Fig. 4). Las cargas idealizadas para cada residencia también se ilustran en la Fig. 4. Una de las ventajas de esta configuración es que, en los casos en que sea necesario ampliar el NDCC, pueden añadirse al sistema bloques de generación y carga.

Figura 3 - Diseño inicial de NDCC, compuesto por 4 unidades residenciales/de producción, 1 estación de carga de embarcaciones eléctricas de tipo rabeta y 5 sistemas de generación distribuida.

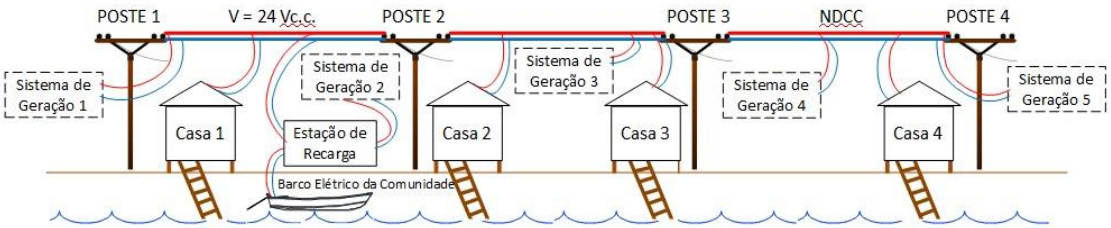
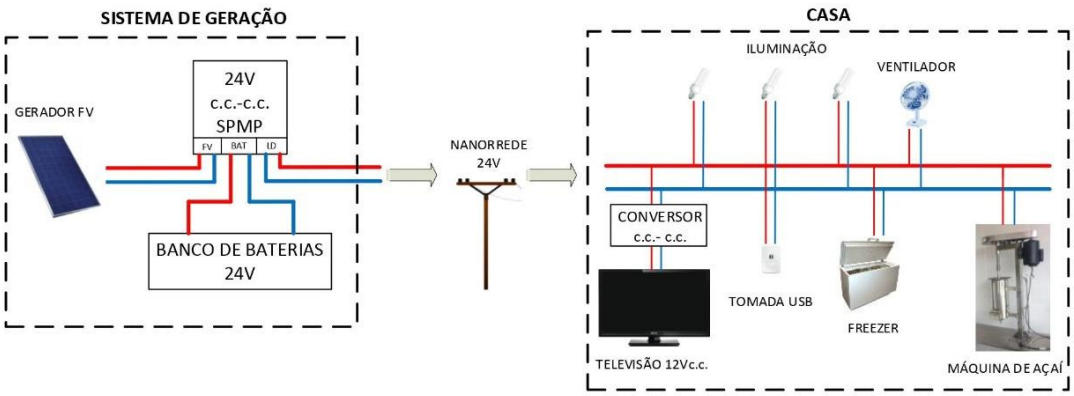


Figura 4 - Bloque de generación FV con seguimiento del punto de máxima potencia (SPMP) y cargas de CC consideradas preliminarmente en el servicio de cada familia.



Las cargas se estableceran a partir de estudios preliminares, buscando establecer una relación de compromiso entre el tamaño del sistema de generación y almacenamiento y la cantidad de energía necesaria para satisfacer los usos finales de la electricidad más deseados por las familias de las islas flotantes de los Uros en el lago Titicaca. Entre las cargas preestablecidas, la máquina de moler granos andinos de corriente continua y el sistema de movilidad o pequeña embarcación (rabeta eléctrica) no son productos disponibles comercialmente en Perú, sin embargo, son adaptables para el funcionamiento con corriente continua. La Fig. 5 ilustra la adaptación de una máquina de procesamiento de granos andinos (quinua o cañihua) basada en componentes disponibles localmente y será probada preliminarmente en el Laboratorio de Sistemas FV del GEDAE-UFPA y el Instituto de Investigación ENAEM de la Universidad Nacional del Altiplano.

Figura 1 - Protótipo de una máquina de procesamiento de granos andinos adaptada para c.c..

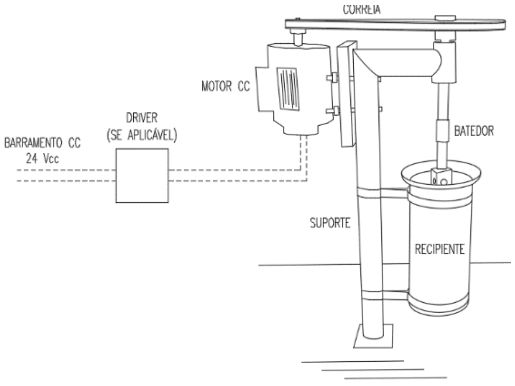
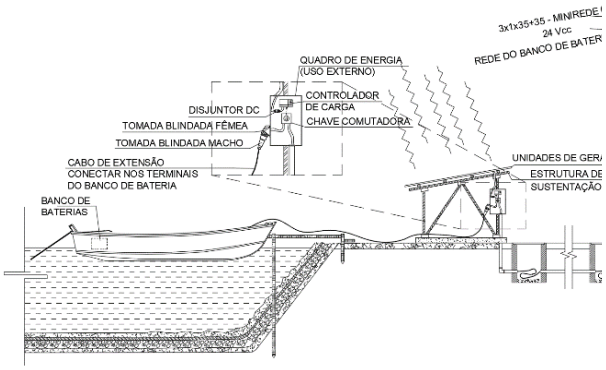


Figura 2 - Estación de recarga de embarcación elétrica interconectados NDCC.



GEDAE-UFPA también está desarrollando un prototipo de pequeña embarcación eléctrica, que se integrará en el proyecto y permitirá evaluar su viabilidad técnica y económica y generar producción científica a nivel de artículos, patentes, tesis de

pregrado y posgrado, etc. En este proyecto también se evaluará el prototipo formado por un motor eléctrico de corriente continua y un banco de baterías para sustituir a los pequeños motores de combustión, muy utilizados por las poblaciones altoandinas de las islas flotantes de los Uros. Las baterías se recargarán mediante una estación de recarga conectada al NDCC, como se ilustra en la Fig. 6. El objetivo es suministrar energía eléctrica al NDCC, siempre que el barco eléctrico no esté conectado o el banco de baterías esté completamente cargado, contribuyendo también al suministro de energía eléctrica a los residentes, inspirado en el concepto V2G (Vehicle to Grid).

El transporte fluvial en el lago Titicaca suele referirse a las grandes embarcaciones de transporte público y de carga, olvidando llos cientos de pequeñas embarcaciones, fundamentales en la dinámica de la vida cotidiana de los pobladores en el lago Titicaca. En este sentido, este proyecto pretendía centrarse en el desarrollo, la aplicación y la evaluación del uso de pequeñas embarcaciones y su integración en NDCC. Las comunidades de las islas flotantes de los Uros han transformado arroyos, riachuelos y ríos en auténticas "carreteras" donde pequeñas embarcaciones, llamadas popularmente lanchas, balsas, etc, sirven de transporte hasta los lugares más lejanos. En la Fig. 7 se muestra un ejemplo típico de este tipo de embarcación y su sistema de propulsión.

Figura 7 - Pequeño sistema de transporte: (a) motor de gasolina tipo lancha muy utilizado en las islas flotantes de los Uros en el lago Titicaca y (b) estacionamiento de pequeñas embarcaciones.

Demostrar a las poblaciones altoandinas de las islas flotantes de los Uros en el lago Titicaca la posibilidad real de utilizar embarcaciones eléctrica, reduciendo el consumo de combustible y el impacto ambiental causado por estas pequeñas embarcaciones es una tarea difícil que requerirá muchos proyectos experimentales como éste. Es importante destacar que el impacto medioambiental de estas embarcaciones propulsadas por gasolina va mucho más allá de la emisión de CO2 a la atmósfera, el vertido directo del combustible restante en los ríos realizado durante las fases de funcionamiento y mantenimiento de los motores de combustión es uno de los principales factores agravantes. La Fig. 8 ejemplifica este problema, donde es posible observar el fuel diesel después de ser desechado en el lago Titicaca por el usuario de una de estas pequeñas embarcaciones.

También será objeto de estudio una estimación del impacto ambiental evitado a partir de la encuesta sobre el número de vehículos legalizados que circulan en el lago Titicaca.

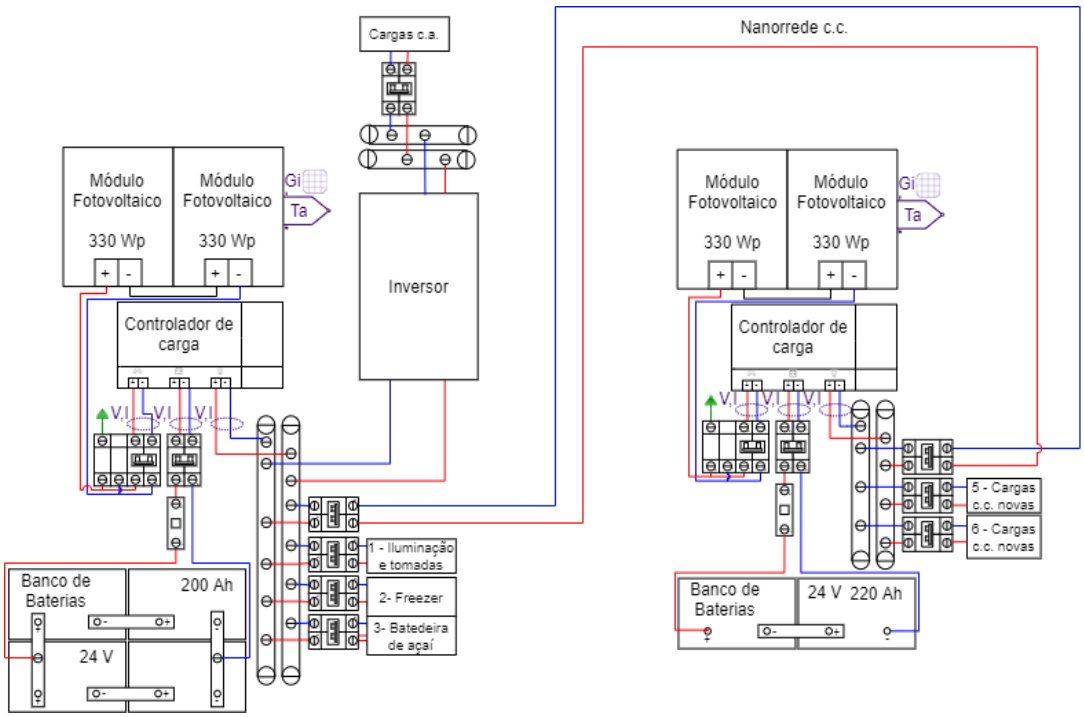
Figura 8 - Vertido directo de residuos de combustible desechado directamente al lago Titicaca

El proyecto piloto servirá para demostrar la tecnología NDCC, con el apoyo técnico del personal de GEDAE de la Universidad Federal de Pará, el Dr. Samuel Williamson, de la Universidad de Bristol y el Instituto de Investigación ENAEM de la Universidad Nacional del Altiplano. Esta asociación, junto con técnicos locales formados en LT3, se utilizará para apoyar y supervisar técnicamente el sistema una vez terminado. La supervisión se llevará a cabo en cada unidad básica de generación y almacenamiento, lo que permitirá evaluar el comportamiento de la red en distintos puntos.

Para el proyecto en cuestión, se propone una norma de tensión de 24 V para el bus de CC. Este nivel de tensión presenta la ventaja de ser más seguro y compatible con varios equipos disponibles en el mercado. Además, este nivel de tensión es compatible con los bloques de generación, almacenamiento y carga ya implantados por GEDAE-UFPA en el emplazamiento donde se llevará a cabo el proyecto, ya sea para procesamiento de granos andinos, fibra de lana y equipos de almacenamiento de alimentos (Figuras 9 y 10). Estos bloques ya funcionan en una red de corriente continua interna a uno de los edificios y se incorporarán al NDCC, reduciendo los costes de ejecución del proyecto, fruto de la colaboración entre universidad, empresa y las familias beneficiadas.

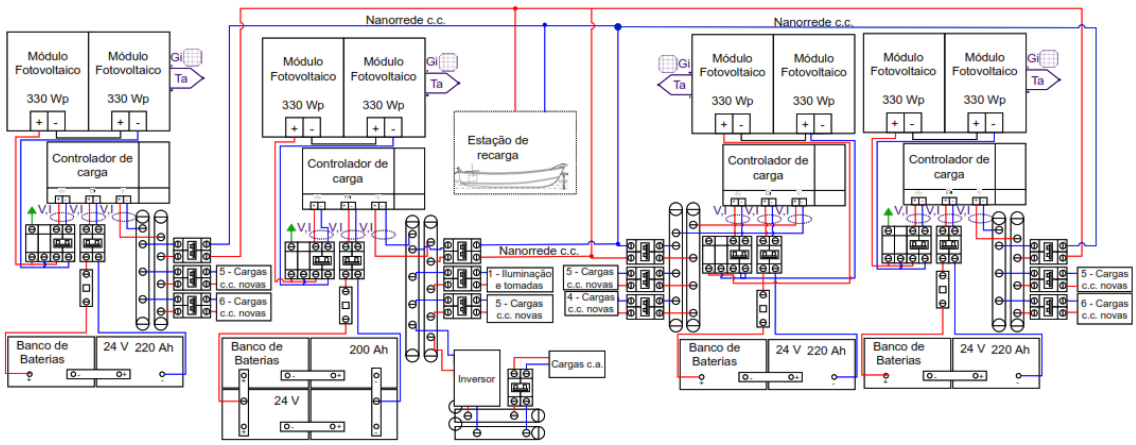
Figura 9 - Prototipo a implementar (lavado de quinua y cañihua) y cardado de fibra de lana (alpaca y ovinos)

Figura 10 - Topología del sistema a instalar



La Figura 11 presenta la configuración objetivo para NDCC incorporando la topología del sistema ya utilizada in situ y prestando atención a la configuración del generador FV, el banco de baterías y las cargas objetivo. Una de las ventajas de esta configuración es la independencia (modularidad) entre los distintos bloques de generación y carga.

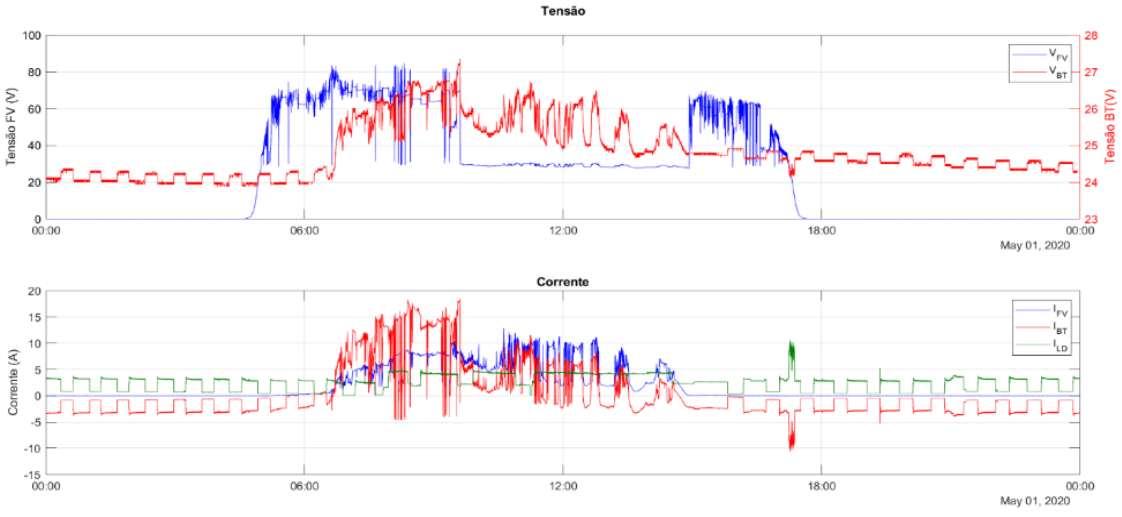
Figura 11 - Diagrama multifilar del NDCC previsto y parámetros a controlar: VI (tensión e intensidad de las barras), Gi (irradiancia en el plano de los generadores fotovoltaicos).



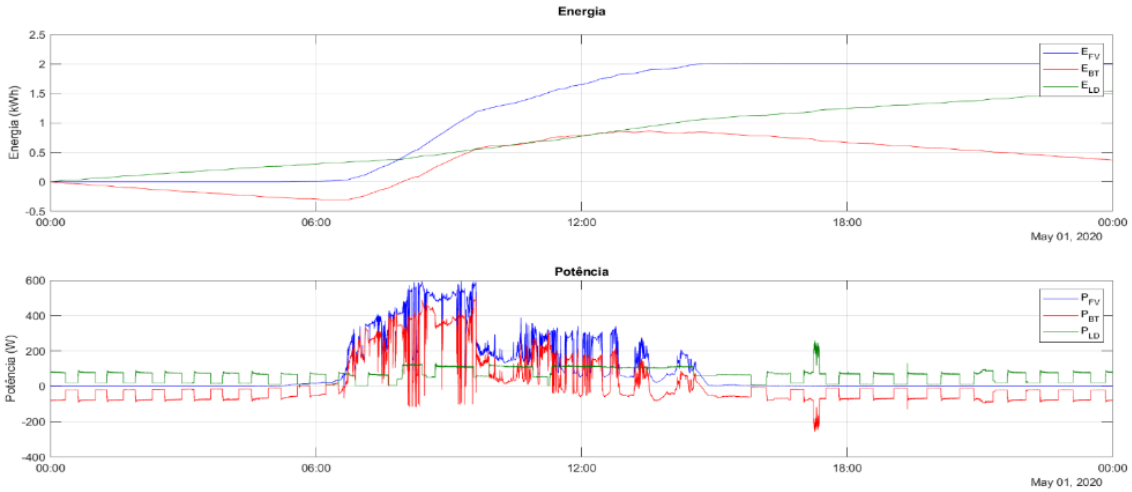
La NDCC propuesto será monitorizado en tiempo completo con recogida de datos en tiempo real, siendo estos: corriente y tensión del banco de baterías, corriente y tensión del generador fotovoltaico y corriente y tensión de la salida de alimentación del NDCC. Los datos se recogerán para cada uno de los bloques de generación y consumo, con la intención de evaluar el rendimiento del sistema en el día a día de los pobladores de las islas flotantes de los Uros em el lago Titicaca. Para ello, se monitorizarán todos los parámetros eléctricos de entrada y salida de los controladores de carga y de la estación de recarga del barco eléctrico, así como las irradiancias en el plano de los generadores fotovoltaicos y la temperatura ambiente. De este modo, será posible tener una radiografía detallada del funcionamiento del sistema.

La Fig. 12 ilustra el nivel de detalle de los datos eléctricos previstos para uno de los bloques de generación y consumo que integran el NDCC. En él es posible visualizar un día típico de funcionamiento, con la información de generación, consumo, nivel de tensión del banco de baterías, fundamental para evaluar la viabilidad técnica de la aplicación en cuestión. Estos resultados son los que estan desarrollados por el GEDAE de la Universidad Federal de Pará en la Ilha das Onças en- la Amazonía de Brasil

Figura 12 - Datos eléctricos del sistema de corriente en Ilha das Onças: (a) Tensión y Corriente; (b) Energía y Potencia.



(a)



(b)

XII. IMPACTOS ESPERADOS

i. Impactos en Ciencia y Tecnología

En primer lugar quiero destacar la importancia y el impacto de la propuesta de investigación, que presenta un carácter técnico-científico innovador dentro del tema de las nanorredes de distribución en corriente continua (NDCC), con amplia aplicación tanto en sistemas interconectados como aislados.

ii. Impactos económicos

La concepción de una NDCC de estructura abierta basado en equipos comerciales consolidados traduce un gran potencial de innovación del proyecto, sin despreciar la madurez de las tecnologías ya existentes. El proceso de adaptación de cargas de uso tradicional para las comunidades de zonas altoandinas alrededor del lago Titicaca de la Región Puno, especialmente en las islas flotantes de los Uros, tales como, usos de confort y usos energéticos para producción, según los resultados obtenidos en el GEDAEA de la Universidad Federal de Pará – Brasil, esta comprobado la eficiencia de ejecución, implantación y aceptabilidad de los consumidores (poblaciones de la amazonía brasileña), las NDCC poseen gran potencial para la producción de patentes, dada la diseminación de los sistemas en corriente continua.
El objetivo es extender el uso de este tipo de sistema a las diversas comunidades aisladas de zonas altoandinas alrededor del lago Titicaca de la Región Puno, especialmente en las islas flotantes de los Uros en el lago Titicaca. Se realizará coordinaciones con las empresas y técnicos que actúan en algunos proyectos de sistemas fotovoltaicos aislados en las islas Taquile, Amantani, los Uros y otros que se encuentran dentro del lago Titicaca en la Región Puno, posibles lugares de aplicación de sistemas y cargas en C.C.

iii. Impactos sociales

El objetivo es extender el uso de este tipo de sistema a las diversas comunidades aisladas de zonas altoandinas alrededor del lago Titicaca de la Región Puno, especialmente en las islas flotantes de los Uros en el lago Titicaca. Se realizará coordinaciones con las empresas y técnicos que actúan en algunos proyectos de sistemas fotovoltaicos aislados en las islas Taquile, Amantani, los Uros y otros que se encuentran dentro del lago Titicaca en la Región Puno, posibles lugares de aplicación de sistemas y cargas en C.C.

Dar prioridad a la participación del consumidor en el proceso productivo es también una importante característica de innovación incorporada en el proyecto propuesto. Comprender las necesidades del cliente y los matices de la relación con el usuario final ayuda a desarrollar los productos o servicios deseados en un mercado abierto e innovador. Al responder a las expectativas de los consumidores de zonas altoandinas en el lago Titicaca, tal como son las islas flotantes de los Uros, el empresario favorece la fidelización de la clientela y la difusión de la tecnología de NDCC, una estrategia indispensable para quienes desean reducir costes y ampliar el acceso a esta tecnología.

iv. Impactos ambientales

El proyecto propuesto presta atención a las necesidades cotidianas de las comunidades de zonas altoandinas de las islas flotantes de los Uros en el lago Titicaca de la Región Puno, al mismo tiempo, se preocupa por las actuaciones futuras. Así, las ideas de los gestores del proyecto se alinean con las de sus colaboradores, entre ellos las comunidades las islas flotantes de los Uros de zonas altoandinas en el lago Titicaca, buscando beneficios para todas las partes interessadas, especialmente en los siguientes aspectos:
- Con energia, se tiene un mejor manejo de resíduos sólidos y líquidos.

- Con energia renovable, se emite menos C02 al médio ambiente.

- Con la implementación de NDCC se mejora la calidad de vida y eficiência energética en las islas flotantes de los Uros.

XIII. RECURSOS NECESARIOS (INFRAESTRUCTURA, EQUIPOS Y PRINCIPALES TECNOLOGÍAS EN USO RELACIONADAS CON LA TEMÁTICA DEL PROYECTO, SEÑALE MEDIOS Y RECURSOS PARA REALIZAR EL PROYECTO)

Se realizará uma descripción del equipamiento e infraestructura disponible em función a los objetivos y actidades de nuestra propuesta.

Respecto a:

- Objetivo 1, ya se tiene implementado una nanored fotovoltaica de C.C. de estructura abierta en la Universidad de Bristol y en la Universidad Federal de Pará. Cabe indicar que la Universidad Federal de Pará tiene una instalación funcionando en la población ribereñas de la amazonía denominada Isla de las Onças, localizada en la Baía do Guajará, município de Barcarena, em el estado de Pará. Ya tenemos referencia de nuestra propuesta y el aseguramiento de cumplir com este objetivo.
- Objetivo 2, Una vez implementado el sistema de nanoredes de CC, se va a promover habilidades a nivel de los pobladores las comunidades altoandinas y personal técnico de la Universidad Nacional del Altiplano.
- Objetivo 3, El equipamiento instalado, tales como líneas de corriente continua, inversores, paneles fotovoltaicos, tableros de monitoreo y funcionamiento, etc va a permitir aumentar la experiencia y desarrollo de este tipo de tecnología en el Perú.
- Objetivo 4, En la Universidad Federal de Pará, ya se tiene sistemas de monitoreo que evaluan el desempeño y operación de los sistemas de nanoredes. Com la experiencia que se tiene em el proyecto CONCYTEC 180-2018, em la Univesidad Nacional de Juliaca. Se garantiza de un buen monitoreo en la nueva propuesta planteada.
- Objetivo 5, En el Perú, se tiene poco conocimiento de este tipo de tecnología. Con el apoyo logístico de las Universidades Asociadas en el Perú (Universidad Nacional de Juliaca y PUCP) y extranjeras (U. Bristro y la UFPA-Brasil) se contribuirá satisfactoriamente con la construcción de conocimiento científico em el área de nanoredes de distribución de CC en el Perú.
- Objetivo 6, Uma vez instalado el sistema de nanoredes, se podrá solucionar muchos otras necesidades de la población en zonas altoandinas. Tal como lo esta realizando la UFPA-Brasil en zonas ribereñas de la amazonía brasileña.
- Objetivo 7, en la UFPA se viene realizando pruebas em uma pequeña embarcación, lo que origina mejoras de calidad de vida en poblaciones ribereñas del rio amazonas, por lo que esperamos mejoras en la economía de las polbaciones altoandinas en el lago Titicaca (ejemplo pobladores de la isla flotantes de los Uros).
- Objetivo 8, En la Universidad de Bristol, Universidad Nacional de Julaca y la Universidad Federal de Pará, se tiene muy buenas experiencias y equipamientos instalados para determinar la funcionabilidad de cargas en corriente continua(CC) y corriente alterna (CA).
- Objetivo 9, Las embarcaciones pequeñas com CC es muy importante desarrollar en las poblaciones altoandinas del lago Titicaca, tal como se

viene realizando en la Universidad Federal de Pará en zonas ribereñas de la amazonía de Brasil.

- Objetivo 10, Se tiene los equipamientos adecuados en la Universidad Nacional del Altiplano y la Universidad Nacional de Juliaca, con el asesoramiento experto de investigadores de la Universidad de Bristol y la Universidad Federal de Pará-Brasil.
- Objetivo 11, la experticia em manejo de información y datos, la tiene el Grupo de Inteligencia Artificial de la Pontificia Universidad Católica del Perú, tal es así, que se tiene garantizado el cumplimiento de este objetivo con la infraestructura y arquitectura informática que tiene esta universidad asociada.

Por otro lado, en el año 2015, se ganó el concurso interno en la Universidad Nacional de Juliaca, con fondos de canón minero, dicho proyecto es titutado: “Diseño y monitoreo de un miniparque solar fotovoltaico de 3Kw en las instalaciones de la Universidad Nacional de Juliaca, monitoreado con sistema SCADA”. En relación a este proyecto, se tiene un generador fotovoltaico con inversor string de 3Kw con todo el sistema de monitoreo de adquisición de parámetros en CA y CC.

XIV. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO (INDICAR DONDE SE LLEVARÁ A CABO EL PROYECTO)

Isla flotante de los Uros (se determinó una isla piloto para el inicio del presente proyecto)

XV. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Actividad	Trimestres										
1) Revisión bibliográfica de las últimas publicaciones sobre experiencias prácticas en sistemas de distribución de corriente continua (LT1)	X										
2) Especificación, cargas y accesorios para la composición adecuada de todo el sistema (LT1, LT2)		X									
3) Estudio de mercado de equipos de corriente continua para la composición del sistema (LT2)			X								
4) Diseño de las nanoredes de distribución em C.C. y de las principales cargas adaptadas: cargas productivas y de confort (LT2, LT4)			X								
5) Modelización y simulación de la nanored de distribución de C.C. y de las principales cargas adaptadas (LT2)				X							
6) Instalación de nanoredes de distribución de C.C. incluida la instalación de los nuevos sistemas de generación y almacenamiento de energía y los sistemas de control y protección (LT2, LT4)					X						
7) Realización de pruebas operativas preliminares sobre el funcionamiento de las cargas adaptadas (LT4)					X						
8) Desarrollar literatura de formación adecuada para apoyar el mantenimiento y la reparación de los componentes de la nanored de distribución en C.C. (LT1, LT3, LT5)						X	X				
9) Supervisar y evaluar el rendimiento y el funcionamiento de la nanored de distribución en C.C. y su apropiación por parte de las familias implicadas (LT5, LT6)							X				
10) Preparación de documentos técnicos y científicos y difusión de los resultados (LT5, LT6)								X			
11) Elaboración de informe parcial (LT5, LT6)									X	X	
12) Preparación del informe final (LT5, LT6)										X	X

XVI. PRESUPUESTO

Descripción	Unidad de medida	Costo Unitario (S/.)	Cantidad	Costo total (S/.)
bombas de CC	UND	1000.00	1	1000.00
Sensores varios	UND.	300.00	4	300.00
Paneles fotovoltaicos	UND.	800.00	3	2400.00
Equipos de almacenamiento de energía	UND.	900.00	2	1800.00
Conectores industriales	UND.	200.00	2	400.00
Tableros de distribución	UND.	800.00	1	800.00
Útiles de escritorio	UND.	300.00	1	300.00
Servicio de consultoría	UND.	0.00	1	0.00
Servicio de asesoría	UND.	0.00	1	0.00
Sistema de cableado en Corriente Continua	UND.	1000.00	1	2000.00
			TOTAL	9000.00