



UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

ESCUELA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
MODALIDAD PRESENCIAL

Ingeniería preliminar de opciones de aprovechamiento de energía de fuentes renovables (no convencionales) para implementación en la ampliación del campus San Cayetano de la UTPL: Harvesting de energía en la ampliación del campus San Cayetano de la UTPL

Trabajo de fin de carrera previa a la
obtención del Título de Ingeniero en
Electrónica y Telecomunicaciones

AUTOR: Barrazueta Mendieta Astrid Eunice

DIRECTOR: Jaramillo Pacheco Jorge Luis, Ing.

Centro Universitario Loja

2012



CERTIFICACIÓN

Ingeniero
Jorge Luis Jaramillo Pacheco

DIRECTOR DE PROYECTO DE FIN DE CARRERA

CERTIFICA:

Que el presente Trabajo de Fin de Carrera, previo a la obtención del título de INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES, ha sido dirigido y revisado en todas sus partes, por lo mismo, cumple con los requisitos legales exigidos por la Universidad Técnica Particular de Loja, quedando autorizada su presentación.

Loja, Abril de 2012

Ing. Jorge Luis Jaramillo Pacheco

Visto Bueno Dirección Escuela

F).....
Ing. Jorge Luis Jaramillo Pacheco
DIRECTOR DE LA ESCUELA DE ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES



ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS EN TESIS DE GRADO

Yo, Astrid Eunice Barraqueta Mendieta, declaro ser autor del presente trabajo y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del artículo 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

Astrid Eunice Barraqueta Mendieta

1104017239



AUTORÍA

Las ideas, opiniones, conclusiones, y, contenidos expuestos en el presente informe de investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Astrid Eunice Barraqueta Mendieta



DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedicó a mi familia y a Dios, pilares fundamentales en mi vida, que gracias a su apoyo incondicional he podido crecer como persona. A mis padres Martha y Carlos, a mis hermanos Marcia y Carlos, este logro que quiero compartir con ustedes, es también fruto de su esfuerzo y dedicación a mí, los amo infinitamente.

Astrid Eunice



AGRADECIMIENTO

Son muchas las personas a quienes les quiero agradecer su amistad, apoyo, colaboración, compañía, a lo largo de mi vida, a mis amigos, tíos, mamá, papá, hermanos, los llevo siempre en mi corazón, a pesar del tiempo y la distancia quiero darles las gracias por formar parte de mí.

Mi agradecimiento al Ing. Jorge Jaramillo, por su apoyo, confianza, y su capacidad para guiarme, han sido un aporte invaluable, gracias por compartir su experiencia y amplio conocimiento sobre las energías renovables.

A mi mami Marthita, Marcia y Carlos, gracias por velar por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento.

A ti Fabián gracias por todo tu amor, comprensión, y apoyo incondicional, juntos hemos vivido inolvidables momentos, eres importante para mí.

Y mi agradecimiento al ser que me ha rodeado de tanto amor y bendiciones, a ti Dios, gracias por regalarme una familia maravillosa, aunque hemos pasado por duros y difíciles momentos, nunca me ha faltado nada, pues tengo todo lo que necesito.

Astrid Eunice Barrazueta Mendieta



Tabla de Contenido

CERTIFICACIÓN	ii
ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS EN TESIS DE GRADO	iii
AUTORÍA	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
Tabla de Contenido.....	vii
LISTA DE TABLAS.....	xii
RESUMEN EJECUTIVO	xiii
INTRODUCCIÓN	14
CAPÍTULO I	16
1.1 INTRODUCCIÓN	16
1.2 BREVE REFERENCIA SOBRE ENERGÍA RENOVABLE	16
1.3 LA VISIÓN GLOBAL SOBRE EL COMPROMISO UNIVERSITARIO EN LA GESTIÓN EFICIENTE DE ENERGÍA	17
1.4 LA ENERGÍA RENOVABLE EN EL CAMPUS UNIVERSITARIO. EL CASO DE LAS UNIVERSIDADES LATINOAMERICANAS	18
1.5 LA ENERGÍA RENOVABLE EN EL CAMPUS UNIVERSITARIO. EL CASO DE LAS UNIVERSIDADES ECUATORIANAS.....	20
CAPÍTULO II	22
2.1 INTRODUCCIÓN	22
2.2 METODOLOGÍA APLICADA.....	22
2.3 PROCESOS QUE REQUIEREN DE ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA EN LAS ÁREAS EXTERIORES DEL CAMPUS.....	24
2.4 APROXIMACIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA.....	24
2.4.1 ILUMINACIÓN DE VÍAS DE CIRCULACIÓN	24
2.5 PAISAJISMO MONUMENTAL	29
2.6 ILUMINACIÓN DE ISLAS DE DESCANSO	29
2.7 SEÑALÉTICA Y ANUNCIOS.....	31
2.8 PAISAJISMO	32
CAPÍTULO III	35
3.1 INTRODUCCIÓN	35



3.2	TECNOLOGÍAS DE ENERGÍA RENOVABLE CONSIDERADAS PARA FORMAR PARTE DE LOS SISTEMAS HÍBRIDOS.....	36
3.2.1	PANELES FOTOVOLTAICOS.....	36
3.2.2	LÁMINAS FOTOVOLTAICAS.....	37
3.2.3	AEROGENERADORES	38
3.2.4	GENERADORES PIEZOELÉCTRICOS	38
3.3	ANÁLISIS DE LA TECNOLOGÍA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA DISPONIBLE EN EL MERCADO	39
3.4	ANÁLISIS DE LA TECNOLOGÍA DE ENERGÍA EÓLICA DISPONIBLE EN EL MERCADO	45
3.4.1	ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	45
3.4.2	ANÁLISIS DE LOS COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN	46
3.4.3	ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE GENERACIÓN	47
3.5	ANÁLISIS DE LA TECNOLOGÍA DE ENERGÍA PIEZOELÉCTRICA DISPONIBLE EN EL MERCADO.....	48
3.5.1	ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE GENERACIÓN	48
3.5.2	ENERGÍA PRODUCIDA POR EL MÓDULO PIEZOELÉCTRICO	49
3.6	SISTEMAS HÍBRIDOS PROPUESTOS PARA LA POTENCIACIÓN DE LAS ISLAS DE DESCANSO.....	50
3.6.1	DISEÑO BASE.....	50
3.6.2	SISTEMA HÍBRIDO LÁMINA FOTOVOLTAICA – GENERADOR PIEZOELÉCTRICO.....	55
3.6.3	PARQUE BIOSALUDABLE.....	56
CAPÍTULO IV		58
4.1	INTRODUCCIÓN	58
4.2	REQUERIMIENTOS DEL DISEÑO	58
4.3	ANÁLISIS DE LA OPERACIÓN Y DESEMPEÑO DE LOS ESQUEMAS POSIBLES DE INTERCONEXIÓN DE LAS BALDOSAS PIEZOELÉCTRICAS.....	59
4.4	INSTRUMENTACIÓN REQUERIDA PARA LA ESTACIÓN DE EXPERIMENTACIÓN.....	62
4.5	ANÁLISIS DE LA OPERACIÓN Y DESEMPEÑO DE LAS DISTINTAS OPCIONES DE STORAGE DE ENERGÍA	63
4.6	ANÁLISIS DE LA OPERACIÓN Y DESEMPEÑO DEL SISTEMA CON DISTINTAS CARGAS	65
4.7	INTEGRACIÓN DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL.....	66
4.8	COSTO APROXIMADO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.....	67



CONCLUSIONES.....	68
REFERENCIAS.....	72
ANEXOS	78



LISTA DE FIGURAS

Fig. 2.1. Metodología de trabajo propuesta para la evaluación y selección de fuentes de energía renovable de potencial aplicación en el nuevo Campus de la UTPL

Fig. 2.2. Definición de términos usados en la iluminación de las carreteras

Fig. 2.3. Disposición de las luminarias en la calzada

Fig.2.4. Postes solares, para iluminación de senderos y Jardines

Fig.2. 5. Fuente con chorro de agua

Fig. 3.1. Vista general de un panel fotovoltaico

Fig. 3. 2. Lámina fotovoltaica

Fig. 3. 3. Dipolos en cerámicas piezoeléctricas

Fig. 3. 4. Diseño básico de una isla de descanso

Fig. 3. 5. Esquema general de un sistema híbrido solar – eólico

Fig. 3. 6. Esquema de un parque biosaludable

Fig. 4.1. Diagrama funcional del módulo experimental a implementar

Fig. 4.2. Módulos Power Floor

Fig. 4. 3. Conexión en serie de las baldosas piezoeléctricas en la plataforma de la estación experimental

Fig. 4. 4. Conexión en paralelo de las baldosas piezoeléctricas en la plataforma de la estación experimental

Fig. 4. 5. Conexión mixta de las baldosas piezoeléctricas en la plataforma de la estación experimental

Fig. 4. 6. Multímetro Fluke modelo 8845A

Fig. 4. 7. Vatímetro PCE – PA 6000

Fig. 4. 8. Batería 12-CS-11PS

Fig. 4. 9. Regulador de Carga

Fig. 4. 10. Multímetro Dig Panel DMK-20

Fig. 4. 11. Interface de usuario para monitoreo de la energía generada por el sistema



Fig. 4. 12. Estación experimental para el estudio de la operación y desempeño de baldosas piezoeléctricas



LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Datos de eficiencia del sistema de iluminación

Tabla 3.1. Eficiencia de los paneles fotovoltaicos

Tabla 3.2. Eficiencia de las láminas fotovoltaicas

Tabla 3.3. Características técnicas de los paneles PV-MJT245GB y láminas fotovoltaicas PowerFLEX BIPV 250/300 W

Tabla 3.4. Costos de mantenimiento de los paneles PV-MJT245GB y láminas fotovoltaicas PowerFLEX BIPV 250/300 W

Tabla 3.5. Costos de explotación de los paneles PV-MJT245GB y láminas fotovoltaicas PowerFLEX BIPV 250/300 W

Tabla 3.6. Costos de implementación de los paneles PV-MJT245GB y láminas fotovoltaicas PowerFLEX BIPV 250/300 W

Tabla 3.7. Características técnicas del aerogenerador vertical turbine TIMAR 600W

Tabla 3.8. Costos de mantenimiento del aerogenerador vertical turbine TIMAR 600W

Tabla 3.9. Costos de implementación del aerogenerador vertical turbine TIMAR 600W

Tabla 3.10. Costos de explotación del aerogenerador TIMAR

Tabla 3.11. Costos de implementación del sistema

Tabla 3.12. Características de las baldosas piezoeléctricas Power Floor

Tabla 3.13. Costos de mantenimiento baldosas piezoeléctricas Power Floor

Tabla 3.14. Costos de implementación baldosas piezoeléctricas Power Floor

Tabla 3.15. Dimensionamiento del componente fotovoltaico del sistema, para un voltaje de salida de la lámina fotovoltaica de 53.9 V



RESUMEN EJECUTIVO

Se describe la situación actual de la incorporación de la energía proveniente de fuentes renovables en la vida diaria de las universidades y sus campus. Se explica la pertinencia de incorporar iniciativas de I+D+D en el harvesting de energía renovable en el ejemplo de la ampliación del campus San Cayetano de la UTPL.

Se identifica los procesos que requieren abastecerse de energía en esta construcción, se analizan las opciones de optimización del consumo de energía, y, se cuantifica la demanda total de energía. Sobre esta base, se explora y valora potenciales fuentes renovables (no convencionales) de energía en una arquitectura híbrida. Se profundiza en el diseño de una estación experimental de baldosas piezoeléctricas.



INTRODUCCIÓN

La escala en la demanda de energía llevó al agotamiento de las reservas de combustibles fósiles, y, derivó en un aumento de la concentración de contaminantes. Frente a esto, el uso de energías renovables se constituye en una inmejorable alternativa energética, cuya gestión eficaz proporcionará a la población, en el mediano y largo plazo, grandes ventajas comparativas, tanto a nivel económico, social, y, ambiental. [1]

En 1989, la Universidad de California en Los Ángeles, UCLA, marcó un precedente al introducir el concepto de “valoración del impacto ambiental” en la gestión y operación de su campus. Como resultado, se formuló una política institucional con visión ambiental.

Este fue el punto de partida para lo que, en los años noventa, se denominó “ambientalización de la universidad”. Muchas universidades, internacionalmente reconocidas, incluyeron prácticas medioambiente-amigables en su gestión, como la Universidad de Wisconsin y su *Programa de Ecología del Campus*, y, la Universidad de Brown y su *Proyecto Brown Verde*. Estas iniciativas propiciaron la firma de acuerdos universitarios con el compromiso de desarrollar políticas para definir y promover la sustentabilidad en la Educación Superior.

La búsqueda del desarrollo sustentable plantea un cambio estructural en la manera de pensar y actuar; implica la visión de un mundo diferente, con prácticas eficientes y adecuadas en el uso de los recursos.

El cambiar paradigmas es un reto inherente a la educación. Por eso, las universidades no pueden limitarse a perfeccionar las capacidades técnicas del recurso humano, sino que deben actuar como catalizadores del cambio de pensamiento, a través de la investigación y la demostración. Se exige que la comunidad universitaria valore la huella ecológica del campus, proponga un modelo de eficiencia energética, y, planifique y administre el uso adecuado de las distintas formas de energía, en forma sistemática [2].

A partir de enero de 2012, en la Universidad Técnica Particular de Loja, Campus San Cayetano, se conformó un grupo de trabajo transdisciplinario, cuyo objetivo fundamental es el de referir las mejores prácticas en el aprovechamiento de energía renovable (no convencional) a ser consideradas en la planificación y construcción de la infraestructura de la ampliación del Campus. Se prevé a futuro la incorporación de algunas de estas prácticas a la operación de la infraestructura actual del Campus.

Este trabajo recoge la línea base obtenida al documentar las distintas experiencias universitarias en la incorporación del uso de energía renovable (no convencional) en la gestión y operación de los campus universitarios.



OBJETIVOS

Ingeniería preliminar de opciones de aprovechamiento de energía de fuentes renovables (no convencionales) para implementación en exteriores de la ampliación del Campus San Cayetano de la UTPL.



CAPÍTULO I

ENERGÍA RENOVABLE Y GESTIÓN SUSTENTABLE DEL CAMPUS UNIVERSITARIO

1.1 INTRODUCCIÓN

Este trabajo recoge la línea base obtenida al documentar las distintas experiencias universitarias en la incorporación del uso de energía renovable (no convencional) en la gestión y operación de los campus universitarios; al validar distintas opciones de energía renovable potencialmente aplicables en el Campus San Cayetano de la UTPL en la ciudad de Loja, y, al diseñar una estación experimental, que permita obtener los mejores opciones de harvesting de energía.

1.2 BREVE REFERENCIA SOBRE ENERGÍA RENOVABLE

Pese a que los conceptos de energía y gestión sustentable son lugares comunes, es poco probable que todos los involucrados los comprendan por igual. Esto se debe al dinamismo con que en la última década se abordó el problema de la energía y su gestión.

En una acepción moderna, el término **energía** se refiere a una magnitud escalar que describe el trabajo que puede producir una fuerza. En este sentido, la energía es un atributo de los objetos y sistemas físicos, y, se subordina a la Ley de la Conservación de la Energía [3].

Se define a la **energía renovable** a aquella energía que proviene de fuentes renovables, o, aquella que “simplemente no se termina”. La energía renovable puede provenir del agua en movimiento (hidráulica, mareomotriz, movimiento de las olas), de los gradientes térmicos del agua del océano, de la biomasa, de las fuentes geotermales, del Sol, del viento, etc. [4].

En contraposición, la **energía no renovable** proviene de fuentes de difícil renovación o que pueden terminarse. Esta energía puede provenir del carbón, del petróleo, del gas natural, o, de las centrales nucleares [5].

El **desarrollo sostenible** se define como aquel que satisface las necesidades presentes sin hacer peligrar la posibilidad de que las generaciones futuras puedan satisfacer las suyas [6].

La **eficiencia energética** se define como la capacidad de realizar el mismo trabajo, utilizando menos energía, y, sin disminuir la calidad del servicio prestado [7].



1.3 LA VISIÓN GLOBAL SOBRE EL COMPROMISO UNIVERSITARIO EN LA GESTIÓN EFICIENTE DE ENERGÍA

En distintos foros internacionales se ha resaltado la importancia de una educación para la sostenibilidad, desde y hacia el ámbito universitario. Dentro de este marco se han suscrito varias declaraciones y acuerdos entre los principales directivos de las universidades más reconocidas en el mundo.

La **Declaración de Talloires**, firmada en Francia en 1990 por 21 delegados de universidades de todo el mundo, fue la primera declaración sobre la necesidad de construir un futuro ambientalmente sostenible desde el ámbito de la educación superior. En su parte medular, la declaración compromete a los firmantes (y a los que se han adherido posteriormente) a incentivar a la universidad para que se comprometa con la educación, la investigación, la formación de políticas, y, con los intercambios de información en temas relacionados con población, medio ambiente, y, desarrollo, y así alcanzar un futuro sostenible. La declaración prevé el impulso de acciones concretas desde el interior de la universidad, y, la búsqueda de sinergia con la empresa, el estado, y, las organizaciones supranacionales [8].

La **Declaración de Halifax**, firmada en Canadá en diciembre de 1991 por 33 rectores de universidades provenientes de 10 países, define el rol de las universidades en la conservación del medio ambiente y la construcción de un desarrollo sostenible. La declaración propone un plan de acción para el diseño de estrategias prácticas, y, enfatiza la importancia de la educación, de la capacitación, de la investigación, y, de la disponibilidad de información; pero sobre todo valora el trabajo interdisciplinario, y, resalta la actitud proactiva que han de tener las universidades en el contexto del desarrollo sostenible [9].

La **Declaración de Río**, firmada en Brasil en junio de 1992, reafirma los compromisos adquiridos en la Declaración de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente. En la Declaración de Río se establece una alianza equitativa (mediante la creación de niveles de participación) entre los estados, los sectores sociales, y, los industriales, procurando alcanzar acuerdos internacionales en búsqueda de resguardar la integridad del medio ambiente y lograr el desarrollo mundial [10].

La **Declaración de Swansea**, firmada en Gales en agosto de 1993 por 400 delegados de instituciones de educación superior, delegados y miembros de la Association of Commonwealth Universities, en el marco de la **Conferencia Gente y Medio Ambiente- Preservando el Balance**, propone establecer y diseminar un claro enfoque del desarrollo sustentable, fortalecer la capacidad de las universidades para enseñar e investigar los principios del desarrollo sostenible, incrementar la información ambiental, y, fortalecerla ética ambiental [11].

En la **Declaración de Kioto**, firmada en Japón en noviembre de 1993 por 90 líderes la Asociación Internacional de Universidades, en el marco de la **Conferencia Desarrollo Sostenible**, hace un llamado a las universidades para establecer y diseminar un claro entendimiento del desarrollo sostenible, utilizando todos los recursos a su alcance, y,



reconociendo la significativa interdependencia de las dimensiones internacionales del desarrollo sostenible [12].

La **Declaración de Barbados**, resultado de una actividad promovida por la ONU y realizada en Bridgetown en 1994, establece la necesidad de fortalecer la educación, la capacitación, y, el desarrollo de habilidades para hacer frente a los retos que plantea el desarrollo sostenible en las pequeñas islas [13].

La **Declaración de Thessaloniki**, firmada en Grecia en 1997, en el marco de la **Conferencia Medio Ambiente y Sociedad: Educación y Conciencia Pública para la Sostenibilidad**, señala a la educación y a la capacitación como pilares de la sostenibilidad, y, hace un llamado a los gobiernos, a la administración pública, a la comunidad científica, a las universidades, y, a las industrias, para que prioricen la educación y trabajen en el fortalecimiento de los sistemas educativos para enseñar sobre desarrollo sostenible [14].

La **Declaración de Lüneburg**, firmada en Alemania en octubre de 2001, propone la unión de esfuerzos de las instituciones de educación superior, de las organizaciones no gubernamentales, de los stakeholders, de los gobiernos, y, las Naciones Unidas y de la UNESCO, para afrontar los retos que el desarrollo sostenible plantea a la educación en general y a la educación superior en particular [15].

La **Declaración UBUNTU**, presentada en la **Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible**, celebrada en Sudáfrica en el 2002, propone unir esfuerzos para trabajar en el desarrollo sostenible y movilizar al sector educativo para contribuir a ello [16].

1.4 LA ENERGÍA RENOVABLE EN EL CAMPUS UNIVERSITARIO. EL CASO DE LAS UNIVERSIDADES LATINOAMERICANAS

La experiencia latinoamericana en la gestión sustentable del campus universitaria es reciente y diversa.

La **Universidad Nacional de la Plata**, en Argentina, desde el 2008 cuenta con un plan estratégico de Desarrollo Sustentable, que diagnostica y prevé estrategias metodológicas para el desarrollo urbano-ambiental [17].

La **Universidad Nacional de Colombia**, tiene un Plan de Desarrollo que incluye la creación de una Reserva de Biosfera (iniciativa adoptada por el Municipio de Bogotá en 1994). La universidad propone la educación ambiental, y, el reordenamiento de tendencias del desarrollo [18].

En México, el plan de acción para el desarrollo sustentable en las instituciones de educación superior, analiza escenarios posibles y plantea la el desarrollo sostenible como el resultado de una adecuada educación, de una investigación acorde, y, de una honesta operación [19].



La iniciativa ***la ciudad universitaria y la energía*** (2005), de la ***Universidad Nacional Autónoma de México***, apunta a diseñar y desarrollar de manera integral infraestructura, tecnología, y, cultura para transformar el campus universitario en un modelo de utilización inteligente de la energía y en un aula de enseñanza del tema. Se pretende convertir el campus universitario en un modelo de utilización inteligente de las diferentes formas de energía necesarias. Para lograr estos objetivos, la iniciativa se sustenta en seis líneas de investigación: energía solar, energía de biomasa, energía del hidrógeno, diagnóstico y ahorro de energía, utilización y ahorro de energía, y, cultura energética [20].

La ***Universidad Nacional de Chile*** ha desarrollado un marco conceptual y crítico sobre el desarrollo sustentable en la región, impulsando una serie de investigaciones sobre la evolución energética y el impacto ambiental [21].

La ***Universidad de Buenos Aires*** posee un programa interdisciplinario en energías sustentables, que analiza e investiga el cambio climático y sus consecuencias en el medio ambiente, determinando los potenciales recursos naturales que pueden ser empleados para frenar el impacto al medio ambiente [22].

En Guatemala, adjunto al ***Zamorano*** funciona el Centro Zamorano de Energía Renovable (CZER). El CZER realiza investigación y capacitación en el área de generación de energía eléctrica a partir de la energía solar, hídrica, eólica, biomasa. Otro punto de interés del CZER es la producción de biocombustibles y biogás, a partir de residuos orgánicos. En el futuro, el CZER pretende expandir su capacidad de investigación y aplicación a otras tecnologías, como la energía geotérmica, la mareomotriz, y, experimentar con nuevos métodos de almacenamiento de energía [23].

El programa ***Joint European – Latin American Universities Renewable Energy Project*** (JELARE), impulsa un esquema de cooperación entre universidades de Alemania, Letonia, Bolivia, Brasil, Chile, y, Guatemala, con el objetivo de promover enfoques innovadores en el mercado de trabajo orientado a la educación y a la investigación en el campo de las energías renovables en América Latina, y, en los institutos de enseñanza superior europeos [24].



1.5 LA ENERGÍA RENOVABLE EN EL CAMPUS UNIVERSITARIO. EL CASO DE LAS UNIVERSIDADES ECUATORIANAS

En el Ecuador, el marco jurídico existente respalda y obliga a las universidades en la ejecución de programas formativos, de investigación, y, de demostración, que permitan cambiar el paradigma social en relación a la energía.

Así, la Constitución vigente, en su artículo 3, inciso 5, señala como deberes del Estado “planificar el desarrollo nacional, erradicar la pobreza, promover el desarrollo sustentable y la redistribución equitativa de los recursos y la riqueza, para acceder al buen vivir”. Ese mismo documento, en la sección quinta referente a la educación, en el artículo 27 proclama que “la Educación se centrará en el ser humano y garantizará su desarrollo holístico, en el marco del respeto a los derechos humanos, al medio ambiente sustentable y a la democracia; será participativa, obligatoria, intercultural, democrática, incluyente y diversa, de calidad y calidez; impulsará la equidad de género, la justicia, la solidaridad y la paz; estimulará el sentido crítico, el arte y la cultura física, la iniciativa individual y comunitaria, y el desarrollo de competencias y capacidades para crear y trabajar”. En el capítulo noveno, artículo 8, inciso 6, referente a las responsabilidades de los ecuatorianos, se establece la obligatoriedad de “respetar los derechos de la naturaleza, preservar un ambiente sano y utilizar los recursos naturales de modo racional, sustentable y sostenible” [25].

La Ley Orgánica de Educación Superior (LOES), en el artículo 8, incisos a y f, propone como fines de la Educación Superior al despliegue de la producción científica, y, a la promoción de las transferencias e innovaciones tecnológicas. También se señala que la Educación Superior debe “fomentar y ejecutar programas de investigación de carácter científico, tecnológico y pedagógico que coadyuven al mejoramiento y protección del ambiente y promuevan el desarrollo sustentable nacional” [26].

El Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, ente rector del área de interés de este trabajo, como uno de sus objetivos plantea “el desarrollar proyectos de marco legal y reglamentario para la aplicación de energías renovables y biocombustibles” [27].

En este marco, algunas universidades han propuesto iniciativas relacionadas a las energías renovables (no convencionales), sin llegar a incluirlas en la gestión del campus universitario.

La Escuela Politécnica del Litoral, a través del Centro de Desarrollo Sustentable, se ha propuesto impulsar el desarrollo de tecnologías sostenibles, combinando perspectivas técnicas, ambientales, y, socioeconómicas que incluyan una transferencia efectiva y aplicada a la comunidad [28].

La Pontificia Universidad Católica del Ecuador, a través de la Escuela de Geografía, lleva adelante programas de investigación en estudios ambientales, desarrollo sustentable, y, ordenamiento territorial [29].



La Escuela Superior Politécnica Nacional impulsa proyectos enfocados en el desarrollo sostenible, con el objeto de desarrollar conciencia científica y medioambiental [30].

La Universidad Nacional de Loja (UNL), en convenio con el Ministerio de Industrias y Productividad (MIPRO), impulsa el “Programa de Desarrollo de las Energías Renovables y la Eficiencia Energética en la región sur del Ecuador”, cuyos resultados finales se esperan para el 2013 [31].

En la Universidad Técnica Particular de Loja, desde 2009 se introdujo el concepto de eficiencia energética, mejorando el desempeño de los circuitos de fuerza y logrando una considerable reducción del consumo de energía eléctrica. En el año 2010 se diseñó e implementó un sistema híbrido termosolar – GLP, para proveer de agua caliente sanitaria a la Cafetería de la universidad. En el año 2011, se iniciaron los procesos de preparación para acceder a una certificación ISO FDIS 50001 de eficiencia energética.

El gobierno actual ha propuesto la creación de la “Ciudad del Conocimiento – Yachay”, que entre otros objetivos, buscará la I+D+D en temas afines a las energías renovables (no convencionales), buscando el compromiso con la sustentabilidad, la sostenibilidad de los recursos, y, las generaciones futuras [32].



CAPÍTULO II

INVENTARIO PRELIMINAR DE FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE POTENCIALMENTE UTILIZABLES PARA ABASTECER LA DEMANDA DE ENERGÍA EN EL CAMPUS UNIVERSITARIO DE LA UTPL

2.1 INTRODUCCIÓN

Este trabajo presenta la evaluación de la incorporación de fuentes renovables al abastecimiento de energía en la gestión y operación de las áreas externas del campus, partiendo de prediseños existentes, razón por la cual los resultados obtenidos tienen el carácter de preliminar.

2.2 METODOLOGÍA APLICADA

La metodología aplicada para esta evaluación, se describe en la Fig. 2.1. En esta primera fase, se consideraron los cuatro primeros pasos metodológicos.

Primero, sobre la base de los diseños de la infraestructura futura, se plantea ***identificar todos aquellos procesos que necesitan ser abastecidos de energía.***

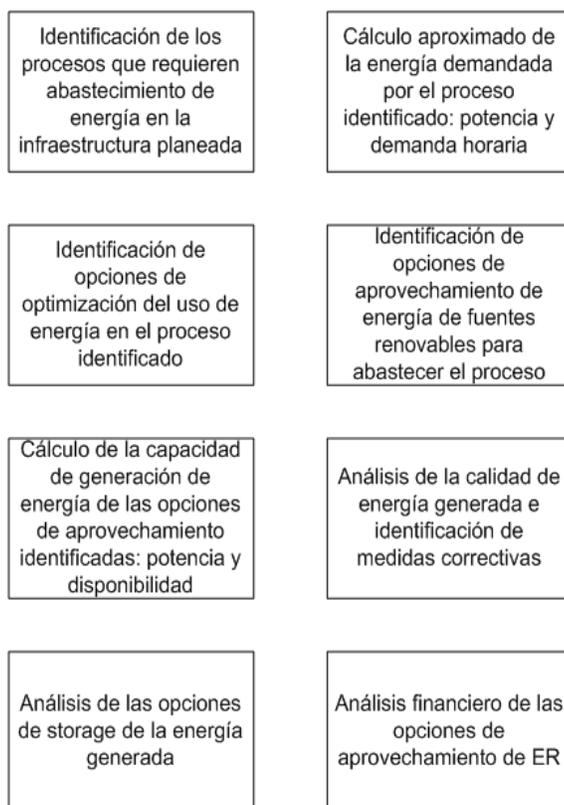


Fig. 2.1. Metodología de trabajo propuesta para la evaluación y selección de fuentes de energía renovable de potencial aplicación en el nuevo Campus de la UTPL. Elaborada por los autores.

Considerando como referencia aspectos técnicos y económicos de la infraestructura planeada o de la ya existente, se **calcula la demanda de energía** para cada uno de los procesos identificados.

El tercer paso, busca **optimizar la demanda de energía**, introduciendo referencias sobre mejoras tecnológicas u operativas que disminuyen el consumo de energía.

Conociendo los valores optimizados de demanda y las curvas de demanda horaria, para cada uno de los procesos, se realiza un inventario de **fuentes de energía renovables** potencialmente utilizables, de entre las cuales se selecciona un grupo en base al criterio del equipo de trabajo.



2.3 PROCESOS QUE REQUIEREN DE ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA EN LAS ÁREAS EXTERIORES DEL CAMPUS

Como resultado de las reuniones del equipo del proyecto, se identificó 5 potenciales aplicaciones de las fuentes de energía no convencional, en las zonas exteriores del campus:

- Iluminación de vías de circulación.
- Iluminación de islas de descanso.
- Alimentación de tomas de fuerza en las islas.
- Alimentación de señalética y anuncios.
- Alimentación de obras de paisajismo.

En el rubro de **iluminación de vías de circulación**, se incluye la iluminación de las vías de circulación y de los pasos peatonales en el nuevo campus.

En la **iluminación de islas de descanso** se consideró la iluminación con niveles estándares de las zonas de descanso que se pretende implementar por todo el campus. En estas mismas zonas, se requiere **alimentar tomas de fuerza** para la conexión de dispositivos electrónicos o de otra naturaleza.

Se ha propuesto que para la orientación e información de los usuarios del nuevo campus, se implementen diferentes opciones de **señalética y anuncios**, que requieren ser alimentados.

Se pretende que el **paisajismo** sea un elemento primordial del diseño del nuevo campus, razón por la cual se requiere proporcionar alimentación a elementos como chorros de agua.

2.4 APROXIMACIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA

La proyección de la demanda de energía requerida para cada uno de los procesos, incluye la referencia de aspectos técnicos y económicos de la infraestructura planeada, o, de la ya existente.

2.4.1 ILUMINACIÓN DE VÍAS DE CIRCULACIÓN

Cálculo de la iluminación de las vías de circulación

Un factor importante a considerar es el nivel mínimo de iluminación. Para este proyecto, se consideró la normativa de la International Commission on Illumination CIE para zonas abiertas,



con acceso al público, y, con alrededores oscuros [33]. Para vías de circulación de uso habitual, las normas establecen un nivel mínimo de iluminación de entre 7,5 a 20 luxes.

El cálculo del sistema de iluminación exterior para vías de circulación, considera la geometría y los parámetros mostrados en la Fig. 2.2 [33]. El método empleado fue el denominado método de factor de utilización, cuya finalidad es calcular la distancia de separación adecuada entre las luminarias tal que, garantice un nivel de iluminancia medio determinado [34].

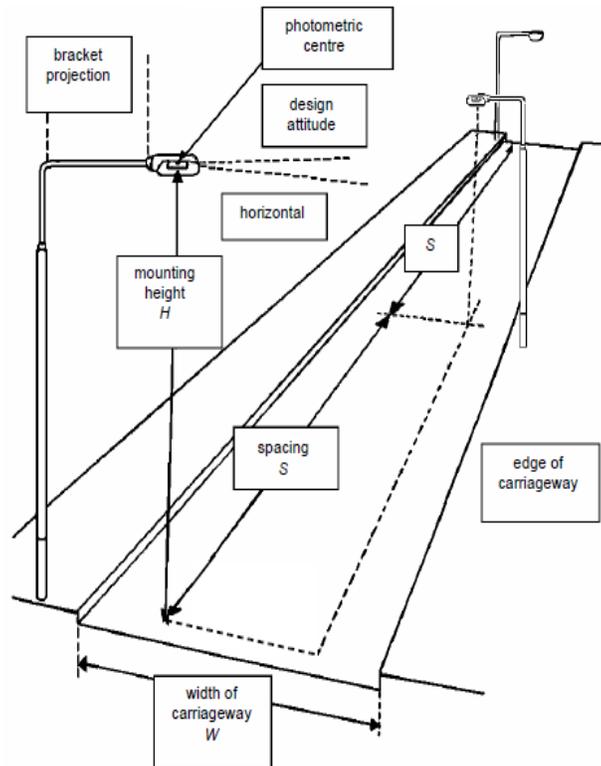


Fig. 2.2. Definición de términos usados en la iluminación de las carreteras. CIE. "ROAD TRANSPORT LIGHTING FOR DEVELOPING COUNTRIES", 2007

- Ancho de la vía (W).
- Altura de montaje (H). Cuanto mayor sea la altura del mástil, mayor potencia será necesaria para lograr la iluminación requerida, pero el resultado será más uniforme.
- Disposición de las luminarias. Los postes pueden estar colocados de un solo lado de la calle o de ambos, de forma escalonada o bilateral.
- Distancia entre luminarias (S). Cuanto más larga sea la distancia, menor será el nivel de iluminación, y, mayor la desigualdad en la misma.
- Tipo de lámpara. Estas pueden ser de tungsteno, tungsteno halógeno, o, de tipo LED.
- Tipo de luminaria.



Para efectos de cálculo, la vía se catalogó como tipo E [35] con clase de alumbrado P1 [36] (vías con tráfico mixto con presencia de vehículos y peatones). Para este tipo de vías, la iluminación media requerida es de 20 luxes, y, la luminancia media es de 1 cd/m².

Se seleccionó una disposición unilateral de las luminarias, con lámparas de flujo luminoso ϕ_l comprendido entre 3.000 y 10.000 lúmenes. La altura de montaje de las lámparas se fijó en 10 m de tal manera que, considerando un ancho de la vía estimado de 8,50 m, se cumpla la relación (1) [37]:

$$W_H < 1 \quad (1)$$

Se consideró un factor de mantenimiento medio f_m igual a 0,75 [38]. Al trabajar con luminarias LED, el coeficiente de depreciación se ubicó en 0,85 [39].

El flujo luminoso útil, se calculó a partir de la expresión (2):

$$\phi_u = E_m S \quad (2)$$

En dónde,

ϕ_u , es el flujo luminoso útil, lm
 E_m , es la iluminación media requerida, lux
 S , es la superficie a iluminar, m²

Para efectos de este proyecto, se determinó que el área a iluminar sea de 8,5 m x 30 m, es decir 255 m². Con esto, la expresión (2) adoptó el valor de:

$$\phi_u = 20 (8,50 * 30)$$

$$\phi_u = 5100 \text{ lm}$$

Obtenido del flujo luminoso útil, se calculó el flujo luminoso de la lámpara requerida, a través de la expresión (3), con un factor de mantenimiento de 0,85 [40]:

$$\phi_l = \frac{\phi_u}{f_m C_d} \quad (3)$$

En dónde,

ϕ_l , es el flujo luminoso de la lámpara, lm
 f_m , es el factor de mantenimiento
 C_d , es un coeficiente de depreciación

$$\phi_l = \frac{5100}{0,85 (0,75)}$$

$$\phi_l = 8000 \text{ lm}$$



Sobre la base del flujo luminoso requerido en la lámpara, se seleccionó el uso de lámparas LU4, ubicadas en postes de iluminación solar LED Street Light [41], cuyo flujo luminoso es de 9.707 lm. El factor de utilización de la lámpara se determinó a través de la expresión (4):

$$\eta = \frac{\Phi_u}{\Phi_{l0}} \quad (4)$$

En dónde,

η , es el factor de utilización
 Φ_u , es el flujo luminoso útil, lm
 Φ_{l0} , es el flujo luminoso inicial de la lámpara, lm

$$\eta = \frac{9.707}{10.000}$$

$$\eta = 0,97$$

La distancia de separación entre luminarias, se aproximó mediante la expresión (5):

$$d = \frac{\Phi_l \eta f_m C_d}{E_m a} \quad (5)$$

En dónde,

η , es el factor de utilización
 Φ_l , es el flujo luminoso de la lámpara, lm
 f_m , es el factor de mantenimiento
 C_d , es el coeficiente de depreciación
 E_m , es la iluminación media requerida, lux
 a , es el ancho de la calzada, m

$$d = \frac{9.707 \cdot 0,97 \cdot 0,85 \cdot (0,75)}{20 \cdot (8,5)}$$

$$d = 35 \text{ m}$$

Verificación de resultados obtenidos

Mediante la expresión (6), se obtuvo la iluminancia media en la calzada en el momento de puesta en marcha de la instalación [42]:

$$E_m = \frac{\eta f_m \Phi_l}{A \cdot d} \quad (6)$$

En dónde,

η , es el factor de utilización



f_m , es el factor de mantenimiento
 Φ_l , es el flujo luminoso de la lámpara, lm
 A , es el ancho de la calle a iluminar, m
 d , es la separación entre las luminarias, m

$$E_m = \frac{0,97 (0,85)(9,707)}{(8,5)(35)}$$

$$E_m = 26,9 \text{ lux}$$

La iluminancia media obtenida (26,9 lux) es mayor a lo establecido por la norma (20 lux), con lo que se garantiza la calidad de iluminación.

Utilizando el software Calculux Viario, se realizó una simulación del funcionamiento del sistema, y, se obtuvo información sobre la calidad del desempeño del mismo. La Fig. 2.3, muestra la disposición unilateral derecha de las luminarias a una distancia de 35m. La tabla 2.1, muestra los parámetros de calidad del sistema de iluminación. Los resultados muestran que en promedio la luminancia media es mayor a 1 cd/m^2 , que establece la norma.

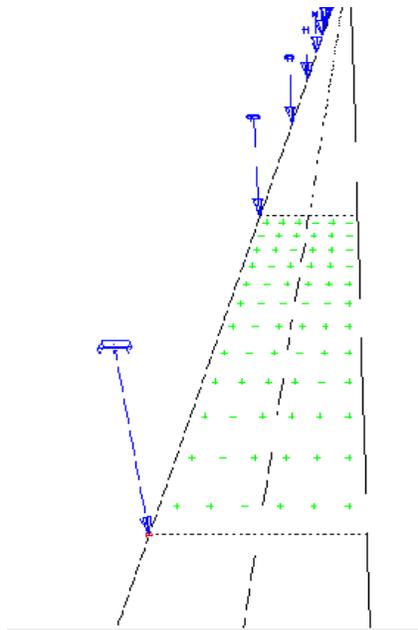


Fig. 2.3. Disposición de las luminarias en la calzada. Imagen obtenida mediante el software Calculux Viario.



Tabla 2.1.

Datos de eficiencia del sistema de iluminación

	Cálculo	Unidad	Media	Mín/Med	Mín/máx
1	Carretera de una cal(01)	Candela/m ²	2.02	0,52	0,29
2	Carretera de una cal(02)	Candela/m ²	2.04	0,53	0,30
3	E Calzada	lux	22,6	0,39	0,19

Postes para vías

Como una solución óptima, para la iluminación de las vías de circulación, se optó por los postes de iluminación solar, modelo **LED Street Light**, que cumplen con los requerimientos necesarios.

2.5 PAISAJISMO MONUMENTAL

Para efectos de este proyecto, se consideró la posibilidad de implementar una iluminación monumental básica y no deslumbrante, en la que bastan unas iluminancias reducidas para acentuar el entorno del monumento. Este tipo de iluminación es sutil y uniforme, orientada a mejorar la perceptibilidad de los monumentos en la oscuridad.

Un factor a considerar, es la dirección o ángulo de visión del monumento. La vista principal deberá ser iluminada de manera que, la luz forme un ángulo con respecto a la línea de visión. Este ángulo quedará definido por las características propias del edificio o monumento, así como por el grado de impresión que se quiera en la obra [43]. Para evitar la contaminación lumínica, es necesario el posicionamiento y orientación exacta de los proyectores. Para monumentos de gran altitud se puede utilizar proyectores de tecnología LED (120W de potencia aproximada), y, para enfatizar detalles concretos en los monumentos se puede emplear bañadores de pared (22 a 44W) [44].

2.6 ILUMINACIÓN DE ISLAS DE DESCANSO

La isla será una zona de descanso y entretenimiento. El nivel mínimo de iluminación requerido en una zona de esas características es de 200 lux, para garantizar el confort visual [45].



Para calcular la iluminación, se aproximó el área ocupada por la isla a 12 m^2 , y, se evaluó la demanda máxima simultánea de energía para dos luminarias y tres tomas de fuerza [46], alimentadas desde 2 circuitos independientes.

Circuito 1

El circuito 1 alimenta las luminarias. La altura de las luminarias se fijó en 2,7m, y, el plano de trabajo se fijó a 0,85 m sobre el nivel del suelo. Para el cálculo se empleó uno de los métodos más habituales para sistemas de iluminación interior. Mediante la expresión (7), se determinó el índice del local (k) [47], empleado para determinar la iluminancia promedio de la isla:

$$k = \frac{a \cdot b}{h(a+b)} \quad (7)$$

En dónde,

- a, es el largo de la isla, m
- b, es ancho de la isla, m
- h, es la distancia desde el plano de trabajo a las luminarias, m

$$k = \frac{4 (3)}{(1,85)(4 + 3)}$$

$$k = 0,926$$

Con el valor de k obtenido, se determinó el número mínimo de puntos de medición (Nmpm), en los que se verificará el cumplimiento de los niveles exigidos de iluminación, mediante la expresión (8):

$$Nmpm = (k + 2)^2 \quad (8)$$

$$Nmpm = (1 + 2)^2$$

$$Nmpm = 9$$

El flujo útil necesario para iluminar la isla, se determinó a través de la expresión (2), para una iluminación media requerida de 200 luxes.

$$\Phi_{\mu} = 200 (12)$$

$$\Phi_{\mu} = 2.400 \text{ lm}$$

Al seleccionar lámparas tipo BHT-T8 [48], de 1.700 lúmenes, fue necesario realizar una rectificación al proceso de cálculo recomendado en la bibliografía [49]. Se calculó el número de lámparas requeridas, dividiendo el flujo útil necesario entre el flujo luminoso de la lámpara seleccionada, obtenido un valor de 2. Con esta información, se verificó el cumplimiento de la iluminancia media a través de la expresión (9):



$$E_m = \frac{f_m \phi_l n}{S} \quad (9)$$

En dónde,

f_m , es el factor de mantenimiento
 ϕ_l , es el flujo luminoso de la lámpara, lm
 S , es el área de la isla, m²
 n , es el número de lámparas

$$E_m = \frac{0,85 \cdot 1.700}{12} \quad (2)$$

$$E_m = 240 \text{ lux}$$

La iluminancia media obtenida (240 lux) es mayor a lo establecido por la norma (200 lux), con lo que se garantiza la calidad de iluminación.

La potencia eléctrica requerida para la iluminación de las islas, se calculó a partir de que la lámpara seleccionada fue la BHT-T8, lámpara LED tipo tubo, de 18 W. Se consideró una reserva de energía de un 66% para cubrir eventualidades. Con esto, la potencia requerida se determinó en 60 W.

Circuito 2

El circuito 2 alimenta las tomas de fuerza. El consumo energético previsto se aproximó considerando el uso de dispositivos electrónicos como computadoras personales, radios, entre otros.

Se tomó en cuenta 3 tomas dobles (6 tomacorrientes), de 250 W cada una. Considerando la reserva del 66%, la potencia total requerida es del orden de los 2600 W.

2.7 SEÑALÉTICA Y ANUNCIOS

En el marco de este proyecto, se propuso el uso de pantallas LED como paneles informativos en el campus. La selección de este tipo de equipos se basa en la resolución requerida, y, en la distancia al observador.

El factor de resolución de la pantalla (píxel pitch), indica la relación de distancia entre los LED en milímetros. En la práctica, se recomienda resoluciones de 43.000 píxeles para aplicaciones de vídeo de calidad normal, y, de 60.000 píxeles para video de alta definición [50].

La distancia de visión al espectador, se puede calcular a través de la expresión (10), una adecuación del teorema de Pitágoras.



$$h^2 = l^2 + a^2 \quad (10)$$

En dónde,

- h, es la distancia de visión al espectador, m
 l, es la altura del centro de la pantalla respecto al suelo, m
 a, es la distancia a la que encuentra el usuario, respecto a la pantalla, m

Para efectos de este proyecto, l se determinó en 6 m, y, a en 10 m.

$$h^2 = (6)^2 + (10)^2$$

$$h = 12$$

Con estos datos, se seleccionó una pantalla LED para exteriores modelo DMX-PH10-RGB-E [51], de 10 mm de píxel pitch con 76,800 píxeles en total, cuya distancia de visión al espectador recomendada está entre 12 y 120 m. Esta pantalla tiene dimensiones de 3,2 m de ancho, y, 2,4 m de alto, y, un consumo energético máximo de 2.000 W.

2.8 PAISAJISMO

En el marco de este proyecto, en este rubro se propuso la implementación de sistemas automatizados de riego, iluminación de senderos, y, fuentes de agua con chorros sincronizados.

Sistema de riego

Se propuso la implementación de sistemas automatizados de riego por goteo, como los proporcionados por la empresa Gardena [52]. Como referencia, el producto Micro Drip consta de un programador 4040 modulable Comfort, con una conexión de 230 V; y, está diseñado para la conexión de cuatro electroválvulas de 24 V. Cada electroválvula se programa de acuerdo a los días y ciclos de riego. La duración del riego puede ajustarse entre 1 minuto, y, 4 horas 59 minutos.

Iluminación de senderos

El cálculo de la iluminación de los pasos peatonales, consideró una iluminancia media requerida de 7,5 lux, con un factor de mantenimiento de 0,85. Considerando que el sendero tendría un ancho de 4 m, la altura de montaje (H) se definió en 5m. La disposición de luminarias será unilateral, y, cada luminaria cubrirá un área de 4m x 10m.



Se determinó el flujo luminoso útil (300 lm), y, el flujo luminoso de la lámpara (470 lm), mediante las expresiones (2), y, (3).

Para la iluminación se seleccionó un poste piramidal (Ver Fig. 2.4), capaz de funcionar 8 h. Este poste cuenta con un panel fotovoltaico de 30 W completamente autónomo de la red eléctrica [53], y, con una lámpara de 900 lúmenes de flujo luminoso.



Fig. 2.4. Postes solares, para iluminación de senderos y Jardines. Disponible en: <http://www.dinkysclub.com/2010/01/lamparas-solares-para-casas-negocios.html>

Con ayuda de la expresión (5), se calculó la distancia entre postes en 19 m.

Fuentes de agua con chorros sincronizados.

Se sugirió la posibilidad de instalar en las lagunas de recolección de escorrentías y aguas lluvias, fuentes de agua con chorros sincronizados. Considerando las dimensiones de la laguna, se deberá diseñar el sistema hidráulico, y, seleccionar los equipos y sensores (ver Fig. 2.5) [54].

El sistema hidráulico incluye tuberías, válvulas, bobinas, switch de nivel, manómetro, boquillas, etc.



Los equipos requeridos incluyen una bomba (1 HP), un transmisor de presión, un variador de frecuencia (1 HP), un tablero de control de bomba, etc.

Para la “creación” de figuras con chorros de agua, hay que considerar la presión y el caudal [55]. Las toberas se utilizan comúnmente para conseguir los chorros de agua, y, mediante una rótula, se pueden obtener chorros verticales o parabólicos en dependencia de la presión del agua [56].



Fig. 2.5. Fuente con chorro de agua. Disponible en:

http://www.taringa.net/posts/imagenes/3087804/Lima-Equot_La-Reina-de-las-CascadasEquot_.html



CAPÍTULO III

ENERGÍAS RENOVABLES PARA POTENCIACIÓN DE ISLAS DE DESCANSO EN EL NUEVO CAMPUS DE LA UTPL

3.1 INTRODUCCIÓN

El creciente costo económico y ambiental de los combustibles fósiles ha promovido el desarrollo de fuentes renovables como alternativas energéticas. Las energías renovables no sólo han propiciado el mejoramiento y optimización constante de la tecnología para su aprovechamiento, sino que también incluyen un fuerte componente de transformación de la cultura en el uso de energía en la sociedad.

Los sistemas híbridos de energía son la asociación de dos o más fuentes, con el objetivo de proporcionar un abastecimiento constante y transparente al usuario, en una carga aislada o integrada a un grid. La principal ventaja de los sistemas híbridos es la posibilidad del aprovechamiento en conjunto, y, optimizado de los recursos locales disponibles, garantizando altos niveles de calidad, confiabilidad, y, rendimiento. Los sistemas híbridos se utilizan en aplicaciones en los que se busca una independencia total o parcial de los sistemas convencionales de energía (eléctrica) [57].

La instalación de un sistema híbrido en el campus universitario, no sólo puede ayudar a la reducción del consumo de energía convencional, sino también permite introducir en la comunidad universitaria, la discusión sobre las consecuencias del déficit de fuentes de energía fósil y la contaminación ambiental que produce la explotación no regulada de las mismas, a la vez que fomenta el pensamiento creativo acerca de la aplicación de energías renovables.

En este trabajo se ha analizado distintas configuraciones para sistemas híbridos (fotovoltaica, eólica, piezoelectricidad, energía humana) para abastecimiento de energía a las islas de descanso que se pretende implementar en el territorio del campus de la UTPL en San Cayetano. El análisis se ha realizado desde una perspectiva técnica y financiera.



3.2 TECNOLOGÍAS DE ENERGÍA RENOVABLE CONSIDERADAS PARA FORMAR PARTE DE LOS SISTEMAS HÍBRIDOS

3.2.1 PANELES FOTOVOLTAICOS

Los paneles fotovoltaicos están compuestos de una estructura mecánica rígida y hermética que contiene celdas fotovoltaicas (Ver Fig. 3.1), construidas habitualmente sobre silicio. Un panel puede contener 36 celdas o más, conectadas eléctricamente en serie. La geometría de las células es cuadrada con esquinas redondeadas. El voltaje máximo de salida por cada celda es de 0.5V. Los módulos están diseñados para suministrar electricidad a un determinado voltaje, normalmente 12 ó 24 V. La corriente producida depende del nivel de insolación [58]. Los paneles tienen una potencia de salida entre 30Wp y 300Wp [59], según el tipo y la eficiencia de las celdas que lo componen. El rendimiento y la eficiencia de los paneles fotovoltaicos, depende de la su estructura y de la composición de las celdas (Ver Tabla 3.1) [60].

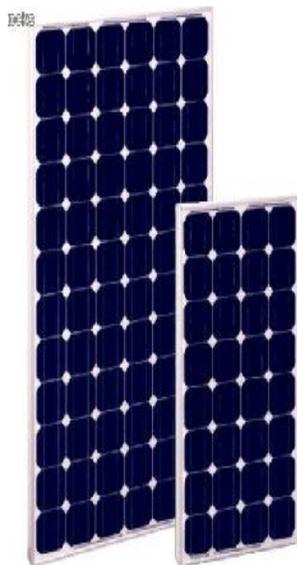


Fig. 3.1. Lámina fotovoltaica. <http://www.solostocks.com/venta-productos/maquinaria/construccion/otros/panel-solar-fotovoltaica-185w-24v-1-9-euros-por-watio-4684816>



Tabla No. 3.1

Eficiencia de los paneles fotovoltaicos.

Material	Rendimiento máximo	Eficiencia
Silicio Puro monocristalino	24.7%	16%
Silicio puro policristalino	19.8%	14%
Silicio amorfo (TFS)	13%	8%
Teluro de cadmio	16%	8%
Arseniuro de Galio	25.7%	20%
Diseleniuro de cobre en indio	17%	9%

3.2.2 LÁMINAS FOTOVOLTAICAS

En las láminas fotovoltaicas, los sustratos de silicio se han solidificado a través de un troquel de carbono, formando una cinta (Ver Fig. 3.2) [61], lo que mejora los indicadores de peso y rigidez de los paneles tradicionales. El proceso de deposición en vacío que se emplea, se realiza a una temperatura menor a la empleada en la producción de paneles tradicionales, lo que ahorra energía en la producción. Además, estas láminas de capa fina pueden ser hasta 300 veces más delgadas que las cristalinas, por lo que requieren menos material [62].



Fig. 3.2. Lámina fotovoltaica. <http://www.globalsolar.com/products/flexible-modules/powerflex-300w>



La tabla 3.2, muestra la eficiencia de las láminas fotovoltaicas, de acuerdo a su composición.

Tabla No.3.2
Eficiencia de las láminas fotovoltaicas.

Material	Eficiencia
Células Silicio amorfo (a-Si)	9.5%
Célula de Teluro de Cadmio (CdTe)	16.7%

3.2.3 AEROGENERADORES

Un aerogenerador es un generador de electricidad activado por la acción del viento. La energía eólica mueve la hélice, y, a través de un sistema mecánico de engranajes, hace girar el rotor de un alternador, que convierte la energía mecánica rotacional en energía eléctrica [63].

Los aerogeneradores pueden operar a través de una amplia gama de velocidades de viento, a partir de 1 a 4 m/s hasta los 25 m/s (90 Km / h), equivalentes a la fuerza del vendaval 9 o 10 [64].

Los aerogeneradores se clasifican en base a la posición de su eje principal [65], en máquinas de eje horizontal, y, máquinas de eje vertical.

En los aerogeneradores de **eje horizontal**, el eje principal es paralelo al suelo. Este tipo de máquina necesita de un control de orientación al viento. Los elementos de conexión, el multiplicador, y, el generador, se encuentran a la altura del rotor en la góndola situada en lo alto de la torre. La disposición de las palas, puede ser a barlovento o a sotavento [66].

En las máquinas de **eje vertical**, los ejes principales están perpendiculares al suelo. Estos aerogeneradores captan el viento en cualquier dirección, por lo que no necesitan de un control de orientación. El enlace entre los multiplicadores y el generador, se realiza en el suelo, y, por lo tanto, tienen un coste menor y mayor sencillez en el montaje [67].

3.2.4 GENERADORES PIEZOELÉCTRICOS

Piezoelectricidad, es el fenómeno en el que se genera electricidad en ciertos materiales sometidos a un esfuerzo mecánico [68]. Los materiales piezoeléctricos más comunes son los cristales de cuarzo, la sal de Rochelle, la turmalina, etc. [69].

La **cerámica piezoeléctrica** es un material constituido por conglomerados de cristalitos ferroeléctricos sometidos a un tratamiento de polarización. En este tratamiento, se aplica al material un campo eléctrico constante de alta intensidad, en una dirección dada, a fin de lograr girar los ejes polares de los cristalitos hacia aquellas direcciones, permitidas por la simetría,



próximas a la del campo eléctrico [70] (Ver Fig.3.3). Al deformarse el material, en la baldosa aparecerán cargas eléctricas que, debidamente canalizadas, conformarán una corriente eléctrica.

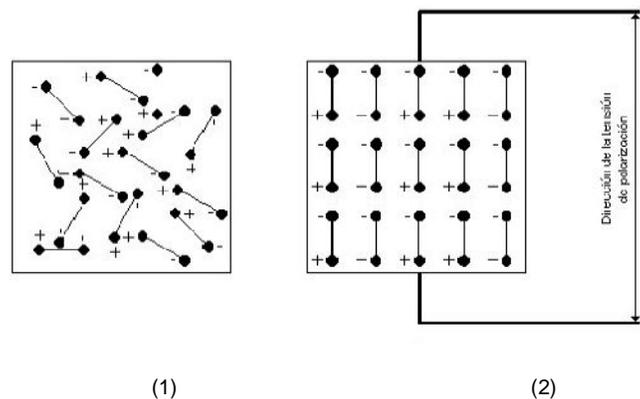


Fig. 3.3. Dipolos en cerámicas piezoeléctricas, (1) antes de la polarización, (2) después de la polarización.

3.3 ANÁLISIS DE LA TECNOLOGÍA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA DISPONIBLE EN EL MERCADO

Como primer paso, con el objetivo de seleccionar la tecnología fotovoltaica de mejor desempeño, se realizó un análisis comparativo de las características técnicas, de los costos de implementación, y, de la capacidad de generación de energía de los paneles y las láminas solares, cuidando de que las condiciones de comparación sean similares.

3.3.1 ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

En el marco de este proyecto, se comparó dos tecnologías de fácil acceso en el mercado local; un panel fotovoltaico monocristalino tipo PV-MJT245GB [71], de la empresa Mitsubishi, y, una lámina fotovoltaica Power FLEX BIPV 250/300 W [72], de la empresa Global Solar. La tabla 3.3, resume las características técnicas de cada tecnología.



Tabla No. 3.3

Características técnicas de los paneles PV-MJT245GB y láminas fotovoltaicas PowerFLEX BIPV 250/300 W.

Parámetro	PV-MJT245GB	Power FLEX BIPV 250/300 W
Capacidad	245 Wp	300Wp
Dimensiones	1658 x 994 x 46 mm	5745 x 495 x 3 mm
Peso	20 kg	9.9 kg
Tiempo de vida estimado	aproximadamente de 25 a 30 años	aproximadamente de 20 a 25 años
Tipo de célula	60 células solares de silicio monocristalino, 156 x 156 mm, conectadas en serie	108 CIGS células (210 x 100 mm)
Eficiencia	14,56%	12.5%
Tensión nominal	37 V	53.9 V

El análisis de las características técnicas de estas tecnologías fotovoltaicas, muestra la similitud de condiciones de trabajo, con una gran diferencia en su peso: la lámina fotovoltaica es 49,5% más ligera que el panel fotovoltaico, lo que omite la necesidad de reforzar estructuras para su colocación.

3.3.2 ANÁLISIS DE COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN

Para comparar los costos de implementación de cualquiera de las dos tecnologías fotovoltaicas, se consideró los costos de mantenimiento, los costos de explotación, y, los costos de instalación.

Los **costos de mantenimiento** se relacionan con los costos de limpieza de impurezas y polvo, durante la vida útil de cada tecnología fotovoltaica [73], y, se resumen en la Tabla 3.4. El mantenimiento de la lámina fotovoltaica se limita a la limpieza de las impurezas, y, se estima que los costos por este rubro se reducen a la tercera parte de lo que se invertiría en el mantenimiento de un panel fotovoltaico. La principal razón es que la lámina prescinde de una estructura rígida a examinar continuamente.

**Tabla No. 3.4**

Costos de mantenimiento de los paneles PV-MJT245GB y láminas fotovoltaicas PowerFLEX BIPV 250/300 W.

Parámetro	PV-MJT245GB	PowerFLEX BIPV 250/300 W
Mantenimiento	Limpieza de los paneles Verificación de los elementos de sujeción y conexión Verificación del estado de degradación de los elementos constructivos de los paneles	Limpieza del polvo y suciedad
Período de mantenimiento	Cada dos meses	Cada dos meses o tres meses
Costo anual (USD)	600	200

Los **costos de explotación** consideran aquellos gastos en los que se incurre una vez que el sistema ha quedado implementado y entra en funcionamiento. En este caso, el uso de las tecnologías fotovoltaicas implica la reposición frecuente de baterías. La Tabla 3.5, resume los costos de explotación para cada una de las tecnologías. Los resultados preliminares muestran que las láminas solares Power FLEX BIPV, requieren de un mayor número de baterías para el almacenamiento de energía, en comparación con los paneles solares PV-MJT245GB.

Tabla No. 3.5

Costos de explotación de los paneles PV-MJT245GB y láminas fotovoltaicas PowerFLEX BIPV 250/300 W.

Parámetro	PV-MJT245GB	Power FLEX BIPV 250/300 W
Baterías	Arreglo de tres baterías de gel modelo S8D-SLD	Arreglo de cinco baterías de gel modelo S8D-SLD
Período de reposición	Cada diez años	Cada diez años
Costo aprox. en 20 años (USD)	1.974	3.290

Los **costos de implementación** incluyen gastos en materiales, mano de obra, y dirección técnica, y, se resumen en la Tabla 3.6.

**Tabla No. 3.6**

Costos de implementación de los paneles PV-MJT245GB y láminas fotovoltaicas PowerFLEX BIPV 250/300 W.

PV-MJT245GB		PowerFLEX BIPV 250/300 W.	
Instalación (USD)	5.127	Instalación (USD)	5.256
Mantenimiento (USD)	600	Mantenimiento (USD)	200
Reposición de baterías (USD)	1.974	Reposición de baterías (USD)	3.290
Inversión total (USD)	7.701	Inversión total (USD)	8.746

La inversión en la instalación de cualquiera de las tecnologías fotovoltaicas es aproximadamente la misma, pero resulta conveniente trabajar con láminas fotovoltaicas, debido al bajo costo de implementación y flexibilidad.

3.3.3 ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE GENERACIÓN

Capacidad de generación de energía de la lámina fotovoltaica PowerFLEX BIPV 250/300 W

La capacidad diaria de producción de energía en las láminas, se aproximó a través de la expresión (11), considerando la variación del nivel de insolación en tres períodos cada día. Un primer período, entre 6h00 y 10h00, con una insolación del 50% de lo estimado. Un segundo período, entre 10h00 y 14h00 con el 100%, y, el tercero (14h00 a 18h00) con un 50%.

$$E_p = e * P * t \quad (11)$$

En dónde,

- E_p , es la energía producida por la lámina, Wh/día
- e , es nivel de insolación respecto a la normal, %.
- P , es la potencia pico de la lámina fotovoltaica, Wp
- t , es el tiempo de insolación, h

$$E_p = 0,5*(300)*4 + 0,8*(300)*4 + 0,5*(300)*4$$

$$E_p = 2.160 \text{ Wh/día}$$

Mediante la expresión (12), se aproximó la producción mensual de energía.

$$E_{pm} = m * E_p \quad (12)$$



En dónde,

E_{pm} , es la energía producida por la lámina fotovoltaica en un mes, Wh/mes
 m , son los días que tiene un mes

$$E_{pm} = 30 * 2.160$$

$$E_{pm} = 64.800 \text{ Wh/mes}$$

Mediante la expresión (13), se aproxima la producción de energía anual.

$$E_{pa} = r * E_{pm} * a \quad (13)$$

En dónde,

E_{pa} , es la energía producida por la lámina fotovoltaica en un año, Wh /año
 r , es el porcentaje de estimado de variación de las condiciones normales de insolación, %
 a , son los días del año

$$E_{pa} = 0,75 * 64.800 \text{ Wh} * 365$$

$$E_{pa} = 17\,739 \text{ KWh /año}$$

Estimando el tiempo de vida útil de lámina fotovoltaica en 20 años, mediante la expresión (14) se obtuvo la energía producida por la lámina en ese tiempo.

$$E_t = t_u * E_{pa} \quad (14)$$

En dónde,

E_t , es la energía producida por la lámina fotovoltaica considerando su tiempo de vida útil, KWh
 t_u , es el tiempo de vida útil de la lámina fotovoltaica, años

$$E_t = 20 * 17\,739 \text{ KWh}$$

$$E_t = 354\,780\,000 \text{ Wh}$$

Considerando los costos de implementación y mantenimiento a lo largo de la vida útil de la lámina, el costo por KWh generado es del orden de los USD 0,02.



Capacidad de generación de energía del panel fotovoltaico PV-MJT245GB

La capacidad diaria de producción de energía en los paneles, se aproximó a través de la expresión (15), considerando la variación del nivel de insolación en tres períodos cada día. Un primer período, entre 6h00 y 10h00, con una insolación del 50% de la normal. Un segundo período, entre 10h00 y 14h00 con el 100%, y, el tercero (14h00 a 18h00) con un 50%.

$$E_{pf} = e \cdot P \cdot t \quad (15)$$

En dónde,

E_{pf} , es la energía producida por el panel, Wh/día
 e , es nivel de insolación respecto a la normal, %
 P , es la potencia pico de la lámina fotovoltaica, Wp
 t , es el tiempo de insolación, h

$$E_{pf} = 0,5 \cdot (245) \cdot 4 + 0,8 \cdot (245) \cdot 4 + 0,5 \cdot (245) \cdot 4$$

$$E_{pf} = 1.764 \text{ Wh/día}$$

Mediante la expresión (16), se aproximó la producción mensual de energía.

$$E_{pfm} = m \cdot E_{pf} \quad (16)$$

En dónde,

E_{pfm} , es la energía producida por el panel fotovoltaico en un mes, Wh/mes
 m , son los días que tiene un mes

$$E_{pfm} = 30 \cdot 1.764$$

$$E_{pfm} = 52.920 \text{ Wh/mes}$$

Mediante la expresión (17), se aproxima la producción de energía anual

$$E_{pfa} = r \cdot E_{pfm} \cdot a \quad (17)$$

En dónde,

E_{pfa} , es la energía producida por el panel fotovoltaico en un año, Wh/año
 r , es el porcentaje de estimado de variación de las condiciones normales de insolación, %
 a , son los días del año



$$E_{pfa} = 0,75 * 52.920 \text{ Wh} * 365$$

$$E_{pfa} = 14 487 \text{ KWh/año}$$

Estimando el tiempo de vida útil del panel fotovoltaico en 20 años, mediante la expresión (18) se obtuvo la energía producida por el panel en ese tiempo.

$$E_{tpf} = t_u * E_{pfa} \quad (18)$$

En dónde,

E_{tpf} , es la energía producida por el panel fotovoltaico considerando su tiempo de vida útil, KWh

t_u , es el tiempo de vida útil del panel fotovoltaico, años

$$E_{tpf} = 20 * 14 487 \text{ KWh}$$

$$E_{tpf} = 289 740 \text{ Wh}$$

Considerando los costos de implementación y mantenimiento a lo largo de la vida útil del panel fotovoltaico, el costo por KWh generado es del orden de los USD 0,03.

3.4 ANÁLISIS DE LA TECNOLOGÍA DE ENERGÍA EÓLICA DISPONIBLE EN EL MERCADO

3.4.1 ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Para efectos de análisis, dada la disponibilidad en el mercado y las posibilidades de abastecer los distintos requerimientos de energía en las islas, se consideró el aerogenerador vertical turbine TIMAR 600 W [74], cuyas características técnicas se detallan en la Tabla 3.7.

Tabla No. 3.7

Características técnicas del aerogenerador vertical turbine TIMAR 600W.

<i>Diámetro de la hélice</i>	1,32 m
<i>Potencia nominal</i>	750W /1000Wmáx.
<i>Velocidad de arranque</i>	1 m/s
<i>Velocidad de potencia nominal</i>	2 m/s
<i>Voltaje de salida</i>	DCV12/24V
<i>Altitud de la torre</i>	9-12 m
<i>Método de carga</i>	Banco de baterías 100 Ah



3.4.2 ANÁLISIS DE LOS COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN

Los **costos de mantenimiento** del aerogenerador, detallados en la Tabla 3.8, incluyen la comprobación, la limpieza, y, la lubricación de todas las partes giratorias, durante la vida útil.

Tabla No. 3.8

Costos de mantenimiento del aerogenerador vertical turbina TIMAR 600W.

Mantenimiento	Limpieza y lubricación de las hélices
	Limpieza de las partes fijas del aerogenerador
	Lubricación del generador
Período de mantenimiento	anual
Costo anual (USD)	200

Los **costos de implementación** incluyen gastos en materiales, mano de obra, y, dirección técnica, y, se resumen en la Tabla 3.9.

Tabla No. 3.9

Costos de implementación del aerogenerador vertical turbina TIMAR 600W.

Instalación	Aerogenerador (USD)	3.000
	Banco de baterías (USD)	658
	Modelo SB700USBD (USD)	1.540
	Obra civil (USD)	400
	Instalaciones eléctricas	300
	Costo aproximado de la instalación (USD)	5.898

La Tabla 3.10 detalla los **costos de explotación**, que incluyen la reposición de baterías para un periodo de 15 años, tiempo de vida útil de aerogenerador.

Tabla No. 3.10

Costos de explotación del aerogenerador TIMAR.

Baterías	Banco de baterías
Período de reposición	Cada diez años
Costo aprox. en 15 años (USD)	1316

La tabla No. 3.11, resume los **costos totales** al trabajar con aerogeneradores del tipo seleccionado.



Tabla No. 3.11
Costos de implementación del sistema.

Instalación (USD)	5.898
Mantenimiento (USD)	200
Reposición de baterías (USD)	1.316
Inversión total (USD)	7.414

3.4.3 ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE GENERACIÓN

En ausencia de un mapa eólico del Ecuador, la capacidad diaria de producción de energía en el aerogenerador, se aproximó a través de la expresión (19).

$$E_a = P \cdot t \quad (19)$$

En dónde,

- E_a , es la energía producida el aerogenerador, Wh/día
- P , es la potencia nominal de aerogenerador, Wh
- t , es el tiempo de funcionamiento del aerogenerador, h

$$E_a = 750 \cdot 8h$$

$$E_a = 6 \text{ KWh/día}$$

Mediante la expresión (20), se estimó la producción de energía mensual.

$$E_{am} = E_a \cdot m \quad (20)$$

En dónde,

- E_{am} , es la energía producida en un año por el aerogenerador, KWh
- m , son los día que tiene un mes

$$E_{am} = 6.000 \text{ Wh} \cdot 30$$

$$E_{am} = 18 \text{ KWh/mes}$$

Mediante la expresión (21), se estimó la producción de energía anual.

$$E_{anual} = r \cdot E_{am} \cdot a \quad (21)$$

En dónde,

- E_{anual} , es la producción anual estimada en un año de funcionamiento del sistema Wh /año
- r , es el porcentaje estimado de funcionamiento del sistema, %



a, son los días del año

$$E_{\text{anual}} = 0,50 \cdot 18 \text{ KWh} \cdot 365$$

$$E_{\text{anual}} = 3.285 \text{ K Wh /año}$$

Considerando los costos de implementación y mantenimiento a lo largo de la vida útil del aerogenerador, el costo por KWh generado es del orden de los USD 0,23.

3.5 ANÁLISIS DE LA TECNOLOGÍA DE ENERGÍA PIEZOELÉCTRICA DISPONIBLE EN EL MERCADO

3.5.1 ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE GENERACIÓN

Dentro del marco del proyecto, se consideró la posibilidad de adquirir un sistema de baldosas piezoeléctricas Power Floor [75], de la empresa Powerleap. La tabla 3.12 detalla las características técnicas de las baldosas.

Tabla No. 3.12

Características de las baldosas piezoeléctricas Power Floor

Dimensiones	0,50m x 0,50m x 0,085m
Desplazamiento	10mm
Voltaje de salida	48VDC
Resistente al agua	IP68
Vida útil estimada	10 años

Los **costos de mantenimiento** de sistema de baldosas piezoeléctricas, detallados en la Tabla 3.13, incluyen la comprobación, y la limpieza de las baldosas, durante la vida útil del módulo piezoeléctrico.

Tabla No. 3.13

Costos de mantenimiento baldosas piezoeléctricas Power Floor.

Período de mantenimiento	Limpieza de impurezas y suciedad.
	anual
Costo anual (USD)	200



Los **costos de implementación** incluyen gastos en materiales, mano de obra, y, dirección técnica. La tabla 3.14, resumen los costos de implementación de un sistema de baldosas piezoeléctricas.

Tabla No. 3.14

Costos de implementación baldosas piezoeléctricas Power Floor.

Instalación (USD)	37.316
Mantenimiento (USD)	200
Inversión total (USD)	37.516

3.5.2 ENERGÍA PRODUCIDA POR EL MÓDULO PIEZOELÉCTRICO

Se calculó la energía producida por la baldosa piezoeléctrica, en un día, mediante la expresión (22).

$$E_p = N \cdot P_i \cdot t \quad (22)$$

En dónde,

- E_p , es la energía piezoeléctrica producida por la baldosa
- N , es el número de pisadas estimadas en un minuto
- P_i , es la potencia generada por pisada
- t , es el tiempo estimado de uso de la cerámica al día, (120 minutos)

$$E_p = 70 \cdot 5W \cdot 120$$

$$E_p = 42.000 \text{ Wh}$$

Mediante la expresión (23), se determinó la energía producida un mes.

$$E_{pm} = E_p \cdot dl \quad (23)$$

En dónde,

- E_{pm} , es la energía producida en mes
- dl , son los días del mes considerados laborables

$$E_{pm} = 42.000 \text{ Wh} \cdot 20$$

$$E_{pm} = 840 \text{ KWh/mes}$$

Mediante la expresión (24), se determinó la energía producida en un año. Como el sistema se va a integrar en el nuevo campus UTPL, se consideró un año académico de 195 días.



$$E_{pa} = E_p * dl \quad (24)$$

En dónde,

E_{pa} , es la energía producida por la baldosa piezoeléctrica en un año
 dl , son los días laborables del año

$$E_{pa} = 840 \text{ KWh} * 195 \text{ días.}$$

$$E_{pa} = 164 \text{ MWh/año}$$

Mediante la expresión (25), se determinó la energía producida en el tiempo de vida útil de la baldosa piezoeléctrica.

$$E_{pt} = E_{pa} * vu \quad (25)$$

En dónde,

E_{pt} , es la producción de energía eléctrica, considerando el tiempo de vida útil del sistema
 vu , es el tiempo de vida útil del sistema

$$E_{pt} = 164 \text{ MWh} * 5 \text{ años}$$

$$E_{pt} = 820 \text{ MWh}$$

Considerando los costos de implementación y mantenimiento a lo largo de la vida útil del sistema de baldosas piezoeléctricas, el costo por KWh generado es del orden de los USD \$1,06.

3.6 SISTEMAS HÍBRIDOS PROPUESTOS PARA LA POTENCIACIÓN DE LAS ISLAS DE DESCANSO.

3.6.1 DISEÑO BASE

Para efectos de este proyecto, se consideró el diseño de una isla de descanso mostrado en la Fig. 3.4. En una isla, los profesionales en formación y el personal de la UTPL, puedan disfrutar del medio ambiente, en un área aproximada de 15 m².



Fig. 3.4. Diseño básico de una isla de descanso. Disponible en:
<http://depuertoricopalmundo.blogspot.com/2011/03/ideas-para-parques-eco-amigables.html>

La potencia requerida por isla, se determinó en base al número de luminarias a instalar, al requerimiento de potencia en las tomas a instalar, y, a una reserva de energía del orden del 66% para cubrir eventualidades. El requerimiento total de energía para la isla, se determinó en 2.660 Wh/día.

Como resultado del análisis de las tecnologías de energía renovable disponibles en el mercado, se propuso tres sistemas híbridos para suplir la energía requerida en las islas: lámina fotovoltaica – aerogenerador, lámina fotovoltaica – piezogenerador, y, harvesting de energía humana (parque biosaludable)

La Fig. 3.5 muestra el esquema general de la instalación de un sistema híbrido energía solar - energía eólica. El sistema consta de dos componentes: fotovoltaico y eólico.

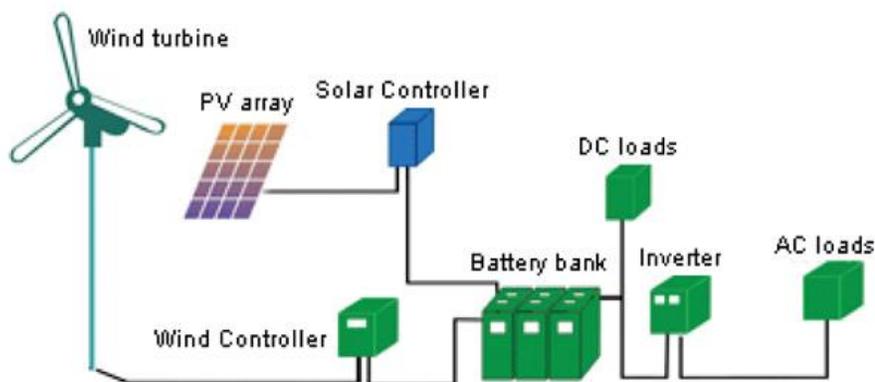


Fig. 3.5 Esquema general de un sistema híbrido solar – eólico. Disponible en:
<http://www.addnew.com.hk/Small%20Wind%20Generators/Products/Wind%20Solar%20hybrid%20systems/hybrids-connect.jpg>



Debido a los altos niveles de irradiación en el Ecuador (aproximadamente una media diaria de 4,2 KWh/m²) el aprovechamiento del recurso solar [76] es una alternativa viable. De acuerdo a las características de la zona, es conveniente estimar el componente fotovoltaico para que provea un 80% de la energía total de la isla, y, al aerogenerador para que aporte el 20% restante. Se prevé la inclusión de un banco de baterías para almacenar la energía, asegurando la autonomía del sistema.

Componente fotovoltaico del sistema

Para el componente fotovoltaico del sistema, se seleccionó las láminas PowerFLEX BIPV, fabricadas por la empresa Global Solar. Las láminas seleccionadas utilizan 108 células de copper indium gallium selenide (CIGS), de alta eficiencia para transformar la energía de la radiación solar en energía eléctrica de corriente continua, y, proporcionan 300 Wp en condiciones estándares (1000 W/m² de irradiación, y, 25°C de temperatura en las células).

Para dimensionar el componente fotovoltaico del sistema, se consideró la cantidad de energía recibida del Sol (radiación solar), y, la demanda diaria de energía, aplicando la metodología de cálculo recomendada en el Atlas Solar del Ecuador, editado por el CONELEC [77].

Con ayuda de la expresión (26), se transformó la **carga total requerida** del formato CA a CD, multiplicando la carga total en CA ($CTca$) por un factor de 1,05 para cubrir un 5% de pérdidas en el proceso de conversión:

$$CTcd = CTca * 1,05 \quad (26)$$

$$CTcd = 2.660 \frac{Wh}{día} * 1,05$$

$$CTcd = 2.793 \frac{Wh}{día}$$

La **intensidad de corriente diaria I_{cc}** , en formato CD, se calculó a través de la expresión como (27), conociendo la carga total diaria y la tensión de la lámina fotovoltaica:

$$I_{cc} = \frac{CTcd}{V_{cd}} \quad (27)$$

$$I_{cc} = \frac{2.793}{53,9}$$

$$I_{cc} = 51,82 \text{ Ah}$$



El valor de la **corriente corregida I_{cca}** , se obtuvo al multiplicar el valor de I_{cc} por un factor de seguridad equivalente al 5%, empleando la expresión (28):

$$I_{cca} = I_{cc} * 1,05 \quad (28)$$

$$I_{cca} = 51,82 * 1,05$$

$$I_{cca} = 54,41Ah$$

La **corriente pico I_p** , se obtiene de la fórmula (29), considerando que de acuerdo a la radiación solar media I_{ccm} en Loja, es del orden de 4,84 KWh/m²/día:

$$I_p = \frac{I_{cca}}{I_{ccm}} \quad (29)$$

$$I_p = \frac{54,41}{4,84KWh/m^2/día}$$

$$I_p = 11,242 A$$

Conociendo la corriente pico I_p del módulo fotovoltaico, y, la corriente pico de cada lámina fotovoltaica I_{pm} (5,6A), se calculó el **número requerido de láminas N_{mf}** , de acuerdo a la expresión (30). Como resultado se obtuvo que para cubrir la demanda proyectada de energía en cada una de las islas, se requiere conectar en paralelo 2 láminas fotovoltaicas del tipo seleccionado. La Tabla 3.15, resume el proceso de dimensionamiento del componente fotovoltaico del sistema.

$$N_{mf} = \frac{I_p}{I_{pm}} \quad (30)$$

$$N_{mf} = \frac{11,242}{5,6}$$

$$N_{mf} = 2,007$$



Tabla No. 3.15

Dimensionamiento del componente fotovoltaico del sistema, para un voltaje de salida de la lámina fotovoltaica de 53.9 V

Carga total en alterna (Wh por día)	CTca (Wh)	2.660
Carga total en continua (Wh por día)	CTcc (Wh)	2.793
Tensión del sistema	Vcc (V)	53.9
Intensidad de corriente del sistema	Icc (A)	51,82
intensidad de Corriente corregida	Icca (Ah)	54,41
Radiación solar	KWh/m ² /día	4,84
corriente pico del sistema	I _p (A)	11,242
corriente de la lámina fotovoltaico	I _{p_m} (A)	5,6
Número requerido de láminas	(u)	2

Se estima que la utilización de láminas solares en las islas, podría sostener una producción anual de 767 KWh de energía, con la consecuente no emisión de 2,84 toneladas métricas de dióxido de carbono, que se emiten por KWh de electricidad generada de la manera tradicional [78].

Dimensionamiento del banco de baterías

Para calcular el número de baterías necesarios para almacenar la energía [79], se usó la expresión (31), el tiempo de autonomía en este caso se eligió 3 días por las características de la zona, la capacidad de almacenamiento es de 108 Ah equivalente a 1300 Wh, el valor de descarga viene dado por el fabricante y se ubicó en 0,5:

$$N_B = \frac{Em * Ta}{Alm * Cm} \quad (31)$$

En dónde,

N_B , es el número de baterías, Wh
 Em , es la carga energética máxima producida
 Ta , es el tiempo de autonomía del sistema en ausencia de radiación
 Alm , es la capacidad de almacenamiento de la batería, Wh
 Cm , es el valor de descarga.

$$N_B = \frac{3.100Wh * 3}{1300Wh * 0,5}$$

$$N_B = 14,30$$

$$N_B \approx 14$$



Componente eólico del sistema

Para el componente eólico del sistema, se consideró el aerogenerador vertical turbine TIMAR 600 W. Cada aerogenerador puede incluir, un controlador de carga que dispone de indicadores de voltaje y corriente, y, un disipador de energía que se activará cuando la batería este totalmente cargada. Está probado que el uso de este tipo de aerogenerador, reduce las emisiones anuales de CO₂ entre 1550 y 3150 Kg, de acuerdo a la intensidad de uso.

Funcionamiento integrado del sistema híbrido

El sistema híbrido propuesto estaría constituido por dos láminas fotovoltaicas PowerFLEX BIPV 250/300 W, un aerogenerador 1KW, y, un banco de trece baterías de gel tipo SV6GC-SLD-G para storage de energía.

El sistema tendría la capacidad de generar un promedio de 3100 Wh/día, con una producción anual estimada de 1MWh, y, la no emisión de 4.2 toneladas métricas de dióxido de carbono.

3.6.2 SISTEMA HÍBRIDO LÁMINA FOTOVOLTAICA – GENERADOR PIEZOELÉCTRICO

El sistema consta de dos componentes: fotovoltaico y un sistema de 24 baldosas piezoeléctricas.

Teniendo en consideración que los módulos piezoeléctricos son una nueva tecnología de baja capacidad de generación eléctrica, se dimensionó el componente fotovoltaico en tres láminas, que generarían aproximadamente 3.150 Wh/día, lo que abastecería la demanda energética en la isla, al componente piezoeléctrico se lo dejaría para reservas en el sistema.

Componente piezoeléctrico.

Para efectos del proyecto, se seleccionó baldosas piezoeléctricas de la empresa Powerleap, construidas en base a materiales reciclados. Cada baldosa tiene una geometría de 50cm x 50cm x 2cm, y, se mueve alrededor de 2 mm por debajo del pie al ser deformada. El kit básico ofertado, contiene una barra integrada LED para visualizar la energía aportada en cada pisada.

Para efectos de este proyecto, se consideró que el área útil de la isla es del orden de 6 m². Por cuanto, cada baldosa cubre un área de 0,25 m², utilizando la expresión (32) [80] se determinó que se requerirá de 24 baldosas para capturar energía en toda el área útil.

$$N_b = \frac{S_c}{S_b} \quad (32)$$



En dónde,

N_b , es el número de baldosas
 S_c , es la superficie a cubrir, m^2
 S_b , es la superficie de la baldosa, m^2

$$N_b = \frac{6}{0,25}$$

$$N_b = 24$$

De acuerdo al fabricante, cada paso genera en promedio 5J de energía eléctrica. Si en un día normal, 200 personas pisaran cada uno de las 24 baldosas, se generaría entonces 24000 J de energía, ó, 2433Wh por año [81].

Funcionamiento integrado del sistema híbrido

El sistema híbrido propuesto estaría conformado por tres láminas fotovoltaicas PowerFLEX BIPV 250/300 W, 24 baldosas Power floor, mediante la expresión (21) se determinó el sistema de storage para la isla, que comprende 15 baterías, necesarias para soportar la carga máxima estimada en la isla.

El sistema tendría la capacidad de generar un promedio de 3160 Wh/día, con una producción anual estimada de 1 MWh, y, la no emisión de 4.2 toneladas métricas de dióxido de carbono.

3.6.3 PARQUE BIOSALUDABLE

En la actualidad, los espacios al aire libre pueden incluir mobiliario que integra y estimula el ejercicio físico (Ver Fig.3.6). Los equipos instalados son de fácil manejo, gran versatilidad, y, escaso mantenimiento.

Estos equipos no sólo cubren una necesidad social, al favorecer el ejercitamiento y propiciar el cuidado de la salud, sino que también pueden ser modificados para capturar la energía humana y aprovecharla para una serie de aplicaciones como el bombeo de agua, la activación de sistemas de riego, o, la generación de energía eléctrica para iluminar determinadas zonas del nuevo campus UTPH [82]. El desarrollo de una investigación sobre el aprovechamiento propuesto de los espacios al aire libre, es tema de un futuro trabajo.



Fig. 3.6. Esquema de un parque biosaludable. Disponible en: <http://gruposalem.com/parquebio.htm>



CAPÍTULO IV

DISEÑO DE UNA ESTACIÓN EXPERIMENTAL PARA EL ESTUDIO DE LA OPERACIÓN Y DESEMPEÑO DE BALDOSAS PIEZOELÉCTRICAS

4.1 INTRODUCCIÓN

En el marco de ese trabajo, se evaluó la incorporación de fuentes renovables al abastecimiento de energía en la gestión y operación de las áreas externas del campus, partiendo de diseños existentes. Entre la tecnología evaluada, especial interés presenta la generación piezoeléctrica, que facilita el harvesting de energía en las más diversas actividades humanas.

Sobre la base de la información de la bibliografía, se logró determinar el principio de funcionamiento, y, la metodología de dimensionamiento de un sistema piezoeléctrico, pero no se han resuelto una serie de preguntas relacionadas a la operación y desempeño del sistema, razón por la cual se ha sugerido el diseño de una estación experimental que permita obtener respuestas a las interrogantes planteadas. Este trabajo, recoge los resultados obtenidos en el diseño de ese módulo experimental

4.2 REQUERIMIENTOS DEL DISEÑO

En el marco de este proyecto, se propone diseñar una estación experimental para el estudio de la operación y desempeño de un sistema de generación eléctrica basada en el uso de baldosas piezoeléctricas.

La estación experimental propuesta deberá poseer una infraestructura base y la instrumentación adecuada, para permitir al menos tres tipos de análisis: operación y desempeño de los esquemas posibles de interconexión de las baldosas, operación y desempeño de las opciones potenciales de storage de energía, y, la operación y desempeño del sistema ante distintos tipos de carga (Ver Fig.4.1).



Fig. 4.1. Diagrama funcional del módulo experimental a implementar.

4.3 ANÁLISIS DE LA OPERACIÓN Y DESEMPEÑO DE LOS ESQUEMAS POSIBLES DE INTERCONEXIÓN DE LAS BALDOSAS PIEZOELECTRICAS

El módulo de experimentación deberá permitir el análisis de tres tipos diferentes de interconexión de las baldosas piezoeléctricas: serie, paralelo, y, mixto. Desde esta perspectiva, se requiere de al menos tres baldosas piezoeléctricas.

Como referencia preliminar, el diseño se basó en las características de las baldosas piezoeléctricas Power Floor de la compañía Power Leap (ver Fig. 4.2), cuyas características técnicas se muestran en la tabla 4.1 [75].

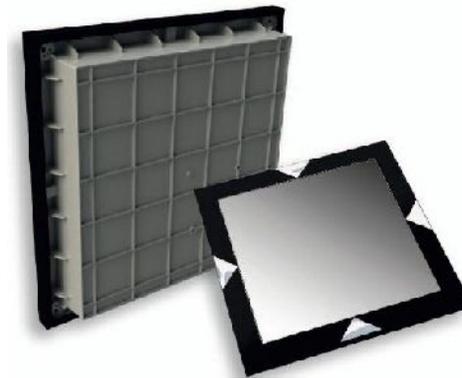


Fig. 4.2. Módulos Power Floor.

**Tabla No. 4.1**

Características técnicas de las Baldosas Piezoeléctricas.

Dimensiones	500 mm x 500 mm x 85mm
Desplazamiento	2 - 10 mm
Potencia Máxima	5 W
Voltaje de Salida	48 VDC
Carga Máxima	100 KN
Funcionamiento	Inducción electromagnética
Vida útil	10 años o 30 millones de pasos
Eficiencia	12.6%
Tensión nominal	53,9 V

Considerando opciones de ampliaciones futuras, se planteó la elaboración de una plataforma, construida como una matriz de 9 módulos, distribuidos en un arreglo de 3 x 3. Tres de estos módulos serán ocupados por baldosas piezoeléctricas, y, los 6 restantes serán módulos falsos. Las figuras 4.3, 4.4, y, 4.5, muestran los esquemas de conexión de las baldosas en la plataforma.

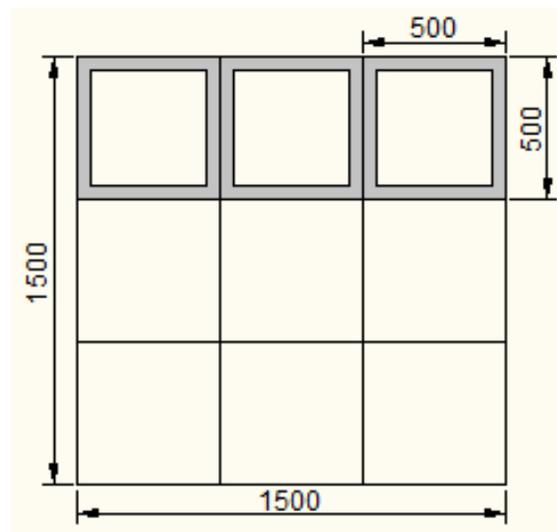


Fig. 4.3. Conexión en serie de las baldosas piezoeléctricas en la plataforma de la estación experimental.

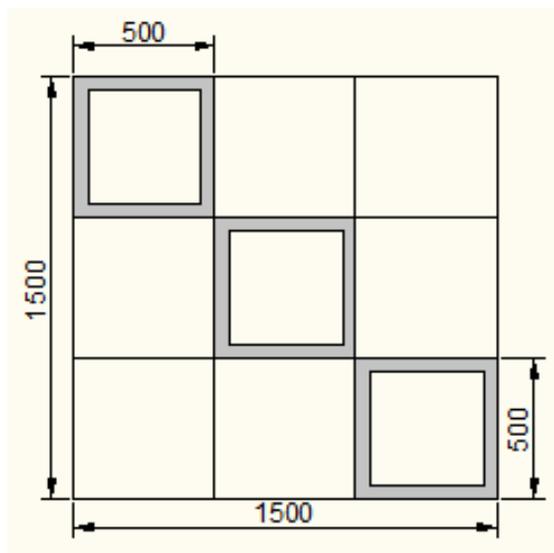


Fig. 4.4. Conexión en paralelo de las baldosas piezoeléctricas en la plataforma de la estación experimental.

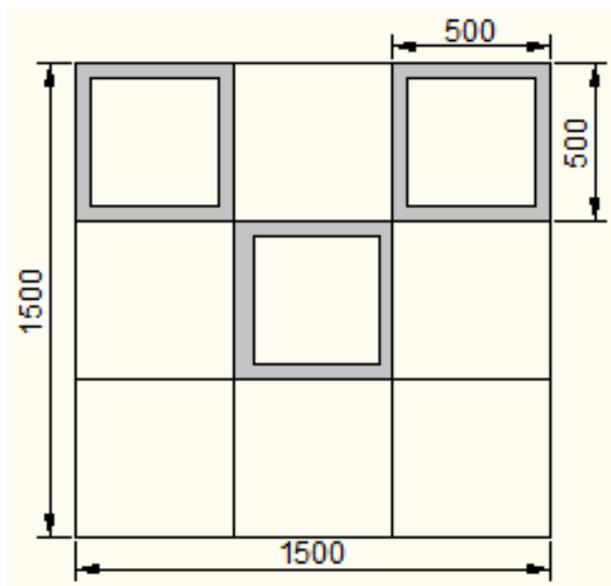


Fig. 4.5. Conexión mixta de las baldosas piezoeléctricas en la plataforma de la estación experimental.



4.4 INSTRUMENTACIÓN REQUERIDA PARA LA ESTACIÓN DE EXPERIMENTACIÓN

Analizar la operación y desempeño del sistema de generación piezoeléctrica, implica medir la capacidad de generación de energía del sistema, para lo cual se requiere de registros temporales de voltaje y amperaje.

En el marco de este proyecto, se sugiere el uso de un multímetro Fluke 8845A (ver Fig. 4.6), cuyas características técnicas se muestran en la tabla 4.2 [83].

Tabla No. 4.2

Características técnicas multímetro Fluke 8845A.

Resolución	6,5 dígitos
Rango VDC	100 mV – 1000 V (100 nV)
Rango VAC	100 mV – 750 V (100 nV)
Precisión	0,0035 + 0,0005 (% measurement + % of range)
Rango de corriente	100 μ A a 10 A
Corriente DC / AC	11 A/1000 V 440 mA/1000 V



Fig. 4.6. Multímetro Fluke modelo 8845A. Disponible en:

<http://www.fluke.com/fluke/eces/Instrumentos-para-Bancos-de-Trabajo/Mult%C3%ADmetros-de-banco/8845A-8846A.htm?PID=55451>

Para registrar la potencia de generación, se puede utilizar un vatímetro tipo PCE – PA 6000 (Ver Fig. 4.7) cuyas características técnicas se indican en la tabla 4.3 [84].

**Tabla No. 4.3**

Características técnicas vatímetro PCE – PA 6000.

Características de medición	Medición de potencia efectiva y aparente, mantenimiento de valores, medición del factor de potencia.
Conexión a Pc	RS232
Alimentación	A través de la red eléctrica o baterías.
Rango	200 / 1000 DCA / ACA
Precisión	$\pm 1,5 / 2 \%$



Fig. 4.7. Vatímetro PCE – PA 6000. Disponible en: <http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/instrumento-de-electricidad/analizador-potencia-pce-pa6000.htm>

4.5 ANÁLISIS DE LA OPERACIÓN Y DESEMPEÑO DE LAS DISTINTAS OPCIONES DE STORAGE DE ENERGÍA

La utilización del sistema piezoeléctrico para potenciar aplicaciones que necesitan de alimentación constante, requiere del uso de un sistema de storage de energía.

Existen diversos esquemas para guardar energía, pero en el marco de este proyecto, se analizará la operación y desempeño de un sistema de storage basado en la utilización de baterías de descarga de ciclo profundo, como la batería modelo 12-CS-11PS (Ver Fig. 4.8), cuya información técnica se detalla en la tabla 4.4 [85].



Fig. 4.8. Batería 12-CS-11PS. Disponible en: <http://www.sunelec.com/surette-rolls-battery-12-volt-357-amp-hour-12cs11ps-p-565.html>

Tabla No. 4.4

Características técnicas Batería 12-CS-11PS

Voltaje	12 V
Corriente	17,9 A
Consumo interno	10 mA
Capacidad	357 Ah
Ciclos	3200

Para controlar el proceso de carga de la batería, se requiere de un regulador de carga, se seleccionó el modelo C0190 (ver Fig. 4.9), cuyas características se muestran en la tabla 4.5 [86].

Tabla No. 4.5

Características técnicas Regulador de carga C0190

Potencia Máxima	55 W (4 A)
Tipo de instalación	12V
Tensión de Carga	13,8 V
Consumo interno	3 mA
Temperatura de trabajo	-10 a 40 °C



Fig. 4.9. Regulador de Carga. Disponible en: <http://www.electroindustrial.com/solar/reguladores/c0190.htm#descripcion>

4.6 ANÁLISIS DE LA OPERACIÓN Y DESEMPEÑO DEL SISTEMA CON DISTINTAS CARGAS

Un sistema de generación piezoeléctrica proporciona energía en formato CD. Esta energía puede alimentar directamente una carga CD, o, a través de un inversor una carga AC.

Para efectos de este proyecto, el sistema alimentará dos salidas. La primera, permitirá monitorear en forma gráfica la cantidad de energía generada. La segunda estará disponible para utilizarla en diversas aplicaciones.

El monitoreo de la energía generada, se realizará a través de una pantalla Samsung SyncMaster 933 (Ver Fig. 4.10), en la que se mostrará una interface similar a la indicada en la figura 4.11.



Fig. 4.10. Pantalla Samsung SyncMaster 933. Disponible en: <http://reviews.cnet.com>



Fig. 4.11. Interface de usuario para monitoreo de la energía generada por el sistema.

4.7 INTEGRACIÓN DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL

La estación experimental integrada, un esquema general de la estación de experimentación se bosqueja a través en la figura 4.12.

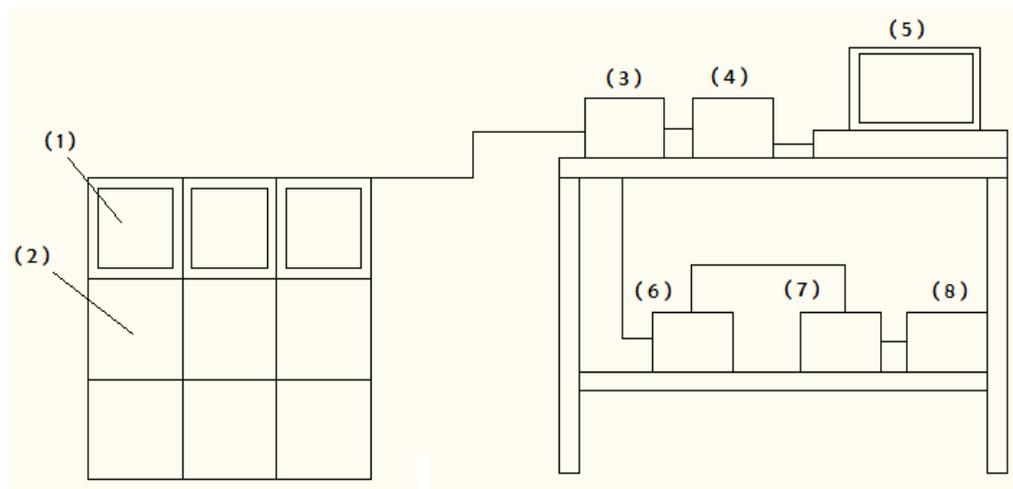


Fig. 4.12. Estación experimental para el estudio de la operación y desempeño de baldosas piezoeléctricas: 1, Módulos Power Floor. 2, Baldosas Falsas. 3, Multímetro. 4, Vatímetro. 5, Computador. 6, Regulador de Carga. 7, Batería. 8, Inversor de Voltaje



4.8 COSTO APROXIMADO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

La tabla 4.6, resume el costo aproximado de la implementación de la estación experimental

Tabla No.4.6
Costo de implementación del sistema

Descripción	Cantidad	Valor unitario (USD)	Total (USD)
Armazón para el sistema	1	120	120
Kit de 3 baldosas Piezoeléctricas PowerFloor 1 multímetro de medición 3 transmisores inalámbricos 1 software de medición 1 lámpara LED inalámbrica 1 paquete de software USB con instrucciones y materiales de presentación PowerLeap	1	9.600	9.600
Multímetro	1	250	250
Baldosas falsas	1	25	25
Vatímetro	1	350	350
Regulador de Carga	1	40	40
Pantalla Samsung Sync Master 933	1	190	190
Batería 12-CS-11PS	1	1.900	1.900
Subtotal			12.475
Imprevistos, 10%			1.248
Total			13723



CONCLUSIONES

- En 1989, la Universidad de California en Los Ángeles, UCLA, marcó un precedente al introducir el concepto de “valoración del impacto ambiental” en la gestión y operación de su campus. Como resultado, se formuló una política institucional con visión ambiental.
- Este fue el punto de partida para lo que, en los años noventa, se denominó “ambientalización de la universidad”. Muchas universidades incluyeron prácticas medioambiente-amigables en su gestión, e, impulsaron un proceso de internacionalización del compromiso universitario con el medio ambiente y el desarrollo sustentable.
- Esta internacionalización dio lugar a la firma de declaraciones como la de Talloires y muchas otras, que se han convertido en referencias para el accionar de las universidades en la formación de profesionales, en la investigación, y, en la adopción de medidas para la gestión sustentable de sus campus.
- La experiencia latinoamericana en la gestión sustentable del campus universitaria es reciente y diversa. Existen experiencias enmarcadas en esfuerzos propios de cada institución, y, algunos de cooperación internacional.
- En el Ecuador, el marco jurídico existente respalda y obliga a las universidades en la ejecución de programas formativos, de investigación, y, de demostración, que permitan cambiar el paradigma social en relación a la energía.
- En este marco, algunas universidades han propuesto iniciativas relacionadas a las energías renovables (no convencionales), sin llegar a incluirlas en la gestión del campus universitario. Existen propuestas de investigación que abordan el tema de desarrollo sustentable del campus, pero hace falta el desarrollo y demostración, que comprometa a la comunidad universitaria a dimensionar, asumir, y, minimizar el impacto ambiental de las instalaciones de la institución.
- Para proyectar la demanda de energía en los exteriores el nuevo Campus UTPL, se ha definido cinco grupos de procesos que requieren ser abastecidos: iluminación de vías de circulación, iluminación de islas de descanso, alimentación de tomas de fuerza en las islas, alimentación de señalética y anuncios, y, alimentación de obras de paisajismo.
- La selección de fuentes de energía renovable potencialmente utilizables para abastecer de energía a los exteriores del nuevo Campus San Cayetano de la UTP, se basó en tres condiciones: aplicabilidad, disponibilidad, y, requerimientos de instalación y explotación.
- Como opción para abastecer de energía a las vías de circulación, se identificó a la energía solar.
- Las opciones seleccionadas para la iluminación en las vías de circulación y senderos son completamente autónomas del sistema eléctrico tradicional.



- La demanda proyectada de energía en las islas, ubicadas a lo largo del nuevo Campus, incluye la iluminación de la isla, y, la potenciación de las tomas de fuerza, y, alcanza el valor de 2.660 W.
- Una oportunidad de optimización del consumo de energía en iluminación interior de la isla es el uso de luminarias tipo LED.
- El sistema de riego seleccionado, por goteo ahorra en un 70% el consumo de agua, en comparación a los sistemas tradicionales.
- Analizando las características técnicas de las tecnologías fotovoltaicas, muestra similitudes de condiciones de trabajo, con una gran diferencia en su peso: la lámina fotovoltaica es 49,5% más ligera que el panel fotovoltaico, lo que omite la necesidad de reforzar estructuras para su colocación.
- El mantenimiento de la lámina fotovoltaica se limita a la limpieza de las impurezas, y, se estima que los costos por este rubro se reducen a la tercera parte de lo se invertiría en el mantenimiento de un panel fotovoltaico.
- La inversión en la instalación de cualquiera de las tecnologías fotovoltaicas es aproximadamente la misma, pero resulta conveniente trabajar con láminas fotovoltaicas, debido al bajo costo de implementación y flexibilidad.
- Considerando los costos de implementación y mantenimiento a lo largo de la vida útil de la lámina, el costo por KWh generado es del orden de los USD 0,02.
- Considerando los costos de implementación y mantenimiento a lo largo de la vida útil del panel fotovoltaico, el costo por KWh generado es del orden de los USD 0,03.
- Considerando los costos de implementación y mantenimiento a lo largo de la vida útil del aerogenerador, el costo por KWh generado es del orden de los USD 0,23
- Considerando los costos de implementación y mantenimiento a lo largo de la vida útil del sistema de baldosas piezoeléctricas, el costo por KWh generado es del orden de los USD \$1,06, siendo el KWh más costoso de las tres energías renovables analizadas.
- La potencia requerida por isla, se determinó en base al número de luminarias a instalar, al requerimiento de potencia en las tomas a instalar, y, a una reserva de energía del orden del 66% para cubrir eventualidades
- De acuerdo a las características de la zona, es conveniente estimar el componente fotovoltaico para que provea un 80% de la energía total de la isla, y, al aerogenerador para que aporte el 20% restante
- Para el componente fotovoltaico del sistema, se seleccionó las láminas PowerFLEX BIPV, fabricadas por la empresa Global Solar. Las láminas seleccionadas utilizan 108 células de copper indium gallium selenide (CIGS), de alta eficiencia para transformar la energía de la radiación solar en energía eléctrica de corriente continua.
- Se estima que la utilización de láminas solares en las islas, podría sostener una producción anual de 767 KWh de energía, con la consecuente no emisión de 2,84 toneladas métricas de dióxido de carbono.



- Teniendo en consideración que los módulos piezoeléctricos son una nueva tecnología de baja capacidad de generación eléctrica, se dimensionó el componente fotovoltaico en tres láminas, que generarían aproximadamente 3.150 Wh/día.



TRABAJOS FUTUROS

Implementación del sistema experimental de baldosas piezoeléctricas.



REFERENCIAS

- [1] No se reconoce autor. "Manual del uso de la energía solar". Disponible en línea: <http://www.cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/73bib_arch.pdf> [Consulta 18 de enero de 2012].
- [2] R. Conde, O. González, and E. Mendieta, "Hacia una Gestión Sustentable del Campus Universitario", México, 2008
- [3] J. Pierce, E. Paulos. "MaterialingEnergy". USA.
- [4] No se menciona Autor. "RenewableEnergy". Disponible en línea:<<http://www.eere.energy.gov/basics/glossary.html#R>>[Consulta enero del 2012].
- [5] EIA. "EnergyBasics". Disponible en línea:<<http://www.eia.gov/totalenergy/data/annual/showtext.cfm?t=ptb1002a>> [Consulta enero del 2012].
- [6] J. Fernández, F. Santos, M. Herrero, A. Crespo. "Energías renovables para el Desarrollo". México. 2007.
- [7] Gilman, Larry, (2010, Nov 15) "Energy Efficiency", Gale, Cengage Learning. [Online]. Disponible en: <http://find.galegroup.com/grnr/infomark.do?&contenSet=EBKS&idigest=2af874b2262f5e4fad12e3860a960171&type=retrieve&tabID=T001&prodId=GRNR&docId=CX3079000097&eisbn=978-1-4144-37088&source=gale&userGroupName=utpl_cons&version=1.0> [Consulta de abril de 2011].
- [8] No se menciona Autor. "Declaración de Talloires". [Online]. Disponible en:<http://portal.unesco.org/education/en/ev.php-URL_ID=37590&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html> [Consulta enero del 2012].
- [9] ULSF. "Declaración de Halifax". [Online]. Disponible en:<http://www.ulsf.org/pub_declaration_curvol61.htm> [Consulta enero del 2012].
- [10] M. Keating. "THE RIO DECLARATION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (1992)". [Online]. Disponible en:< http://www.unesco.org/education/information/nfsunesco/pdf/RIO_E.PDF> [Consulta enero del 2012].
- [11] Association of Commonwealth Universities. "Declaración de Swansea". [Online]. Disponible en:<<http://www.iisd.org/educate/declarat/swansea.htm>> [Consulta enero del 2012].
- [12] No se menciona Autor."Declaración de Kioto". [Online]. Disponible en:<http://www.uncrd.or.jp/env/est/docs/kyoto/kyoto_dec_34.pdf> [Consulta enero del 2012].
- [13] G. Curiel. "Declaración de Barbados". [Online]. Disponible en:<<http://www.novosite.nl/editor/assets/unapublications/aanzetWEB-10.pdf>> [Consulta enero del 2012].



- [14] UNESCO. "DECLARATION OF THESSALONIKI". [Online]. Disponible en: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0011/001177/117772eo.pdf>> [Consulta enero del 2012].
- [15] UNESCO. "The Lüneburg Declaration on Higher Education for Sustainable Development". [Online]. Disponible en: <<http://portal.unesco.org/education/en/files/37585/11038209883LuneburgDeclaration.pdf/LuneburgDeclaration.pdf>> [Consulta enero del 2012].
- [16] No se menciona Autor. "UBUNTU DECLARATION On Education and Science and Technology for Sustainable Development". [Online]. Disponible en: <<http://www.environment.gov.za/sustdev/documents/pdf/UbuntuDeclaration.pdf>> [Consulta enero del 2012].
- [17] No se menciona Autor. "Campus sustentable". [Online]. Disponible en: <http://www.unlp.edu.ar/articulo/2008/6/25/plan_estrategico_de_desarrollo_sustentable> [Consulta enero del 2012].
- [18] No se menciona Autor. "Plan de desarrollo sustentable". [Online]. Disponible en: <<http://www.bogota.unal.edu.co/>> [Consulta enero del 2012].
- [19] B. Gutiérrez, M. Martínez. "EL PLAN DE ACCIÓN PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE EN LAS INSTITUCIONES DE EDUCACIÓN SUPERIOR. ESCENARIOS POSIBLES". [Online]. Disponible en: <<http://scielo.unam.mx/pdf/resu/v39n154/v39n154a6.pdf>> [Consulta enero del 2012].
- [20] UNAM. "*la ciudad universitaria y la energía*". [Online]. Disponible en: <<http://vesta.fib.unam.mx/index.html>> [Consulta enero del 2012].
- [21] No se menciona Autor. "Campus Sur y su contribución al desarrollo sustentable de Chile". [Online]. Disponible en: <http://www.agronomia.uchile.cl/?_nfpb=true&_pageLabel=notAgronomia&url=78182> [Consulta enero del 2012].
- [22] UBA. "Desarrollo sustentable". [Online]. Disponible en: <<http://www.uba.ar/>> [Consulta enero del 2012].
- [23] CZER.Zamorano.edu. [Online]. Disponible en: <<http://czer.zamorano.edu/acerca.html>>. [Consulta 20 enero de 2012].
- [24] No se reconoce autor. "Centro demostrativo de tecnologías d energía renovable". [Online]. Disponible en línea: <<http://lpz.ucb.edu.bo/Forms/Noticias/2011/Cartilla%20UACS.pdf>>. [Consulta 20 de enero de 2012]
- [25] Asamblea nacional.gob.ec. [Online]. Disponible en: <<http://www.asambleanacional.gov.ec/documentos/Constitucion-2008.pdf>>. [Consulta 17 enero de 2012].
- [26] Asamblea nacional.gob.ec. [Online]. Disponible en: <<http://documentacion.asambleanacional.gov.ec/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/eb888489-645d-43f1-b85d-2baa1f5d6afe/Ley%20Org%C3%A1nica%20Educativa%20Superior>>. [Consulta 17 de enero de 2012]



- [27] Ministerio de energías renovables. [Online]. Disponible en: <http://www.meer.gov.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=50&Itemid=74>. [Consulta 18 enero de 2012]
- [28] ESPOL. "Centro de desarrollo sustentable". [Online] Disponible en:<<http://www.cds.espol.edu.ec/>> [Consulta enero de 2012]
- [29] No se menciona Autor. "Desarrollo sustentable". [Online]. Disponible en:<<http://www.puce.edu.ec/>> [Consulta enero de 2012]
- [30] No se Menciona Autor. "Plan de desarrollo sustentable". [Online]. Disponible en: <http://www.epn.edu.ec/udc/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=201&Itemid=76> [Consulta enero de 2012]
- [31] unl.edu.ec. [Online]. Disponible en: <<http://aeirnr.unl.edu.ec/energia/index.php/investigacion.html>> [Consulta 19 enero de 2012]
- [32] No se menciona Autor. "La ciudad del conocimiento, La ciudad del conocimiento, Yachay". [Online]. Disponible en:<http://www.municipiourcuqui.gob.ec/index.php?option=com_seyret&task=videodirectlink&Itemid=8&id=5> [Consulta enero de 2012]
- [33] CIE. "ROAD TRANSPORT LIGHTING FOR DEVELOPING COUNTRIES", Estados Unidos de Norte América, 2007
- [34] AUTORIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE PUERTO RICO. "Manual de normas de alumbrado público", Puerto Rico, 2001
- [35] J. Sandoval. "Iluminación de espacios exteriores y privados", Argentina, 2008
- [36] Universidad Politécnica de Catalunya, "Bloque 4 Alumbrado Público y urbano". [Online]. Disponible en: <<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/4429/3/anexo%2021.pdf>> [Consulta de febrero de 2012].
- [37] L. Bañon, "Iluminación de vías", España
- [38] J. García. "Alumbrado público". [Online]. Disponible en:<http://edison.upc.es/curs/llum/exterio/vias_p.html#SR> [Consulta de febrero de 2012].
- [39] Anfalum, "Luminarias LED", España, 2010
- [40] ETAP, "Dossier LED", España, 2011
- [41] "Postes Led". [Online]. Disponible en <<http://www.bbeled.com/led-street-lights/lu4/>>, [Consulta de febrero de 2012].
- [42] ETAP, "Dossier LED", España, 2011
- [43] J. García, "Vías públicas. Ejercicios". [Online]. Disponible en: <<http://edison.upc.es/curs/llum/exterio/ejvias.html>> [Consulta de febrero de 2012].
- [44] No se menciona autor, "Iluminación monumental". [Online]. Disponible en: <http://hometech.com.mx/articulos.php?id_art=251&id_sec=22> [Consulta de febrero de 2012].
- [45] No se menciona autor, "Luz en espacios exteriores". [Online]. Disponible en: <http://www.erco.com/download/data/30_media/69_lightintheoutdoorarea/es_erco_lightintheoutdoorarea.pdf> [Consulta de febrero de 2012].
- [46] E. Tiravanti, "Iluminación". [Online]. Disponible en:<<http://www.stilar.net/Archivos%20Web/Iluminacion%20Industrial.pdf>> [Consulta de febrero de 2012].
- [47] Pirelli, "Manual de instalaciones eléctricas sica". Argentina, 1998



- [48] A. Leon, "Lighting", Hawai, 2007
- [49] M. Raitelli, "Diseño de iluminación de interiores". Argentina, 2011
- [50] No se menciona autor, "luminarias LED". [Online]. Disponible en: <<http://bhtavanza.com/catalogoled/catalogo.html>> [Consulta de febrero de 2012].
- [51] No se menciona autor, "Luminarias Led". [Online]. Disponible en: <<http://www.bhtshop.com/tubo-led-t8-18w-120cm-p-289.html>> [Consulta de febrero de 2012].
- [52] No se menciona autor, "Pantallas gigantes". [Online]. Disponible en: <http://www.pantallasled.com.mx/promociones/docs/0709_pantalla_electronica_led_publicitaria_p7.6_25.pdf> [Consulta de febrero de 2012].
- [53] No se menciona Autor, "Sistemas de riego". [Online]. Disponible en: <<http://www.gardena.com/es/water-management/micro-drip-irrigation-system/>> [Consulta de febrero de 2012].
- [54] No se menciona autor, "Postes solares". [Online]. Disponible en: <http://www.ienergia.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=116&Itemid=134> [Consulta de febrero de 2012].
- [55] SAFE-RAIN, "Fabricación de productos para fuentes de agua y jardín". [Online]. Disponible en: <<http://www.saferain.com/es.html?gclid=CLePyLLUpa4CFdOA7QodPTM4PQ>> [Consulta de febrero de 2012].
- [56] No se menciona autor, "Proceso para la construcción del sistema de fuente de chorros de agua sincronizados". [Online]. Disponible en: <<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/767/6/CAPITULO%20IV.pdf>> [Consulta de febrero de 2012].
- [57] Aquatica, "Spray Jets". [Online]. Disponible en: <<http://www.aquatica.com.mx/CF.pdf>> [Consulta de febrero de 2012].
- [58] R. Dufo. J. Bernal. "Dimensionado y control óptimo de sistemas híbridos aplicando algoritmos evolutivos". España, 2007
- [59] H. Gasquet. "Manual de Sistemas Fotovoltaicos". Austin. 2008
- [60] F. Gonzales. "Sistemas de generación distribuida". 2008
- [61] A. González, "Instalación de paneles solares en la empresa". 2007
- [62] No se menciona autor "SET TE: Energía solar fotovoltaica". [Online]. Disponible en: <http://www.energiaycambioclimatico.com/colab/export/sites/foro/resources/pdf/programa_investigacion/investigacion/101126_SET_TE_PV.pdf> [Consulta marzo del 2012].
- [63] Revista de urbanismo N° 12, "Sistemas fotovoltaicos en Arquitectura y Urbanismo", 2005
- [64] J. Salinas, S. Tornil. "Control de un aerogenerador". [Online]. Disponible en: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/11274/2/PFC_1.pdf> [Consulta Marzo 2012]
- [65] S. M. Muyeen. "Wind Power", United Arab Emirates, 2010
- [66] R. Iannini, J. González, S. Mastrángelo. Energía Eólica, "Teoría y Características de Instalaciones"
- [67] N. Sogari. "Diseño de un sistema híbrido solar-eólico para proveer de energía a una comunidad". Argentina, 2003.



- [68] Departamento de Energía de los Estados Unidos. "Sistemas Eólicos Pequeños para Generación de Electricidad", EE. UU.
- [69] M. Cúpich. F. Elizondo "Actuadores piezoeléctricos" 2000
- [70] B. Ruano. M. Sánchez. "PIEZOELECTRICIDAD Y ELECTROSTRICCIÓN"
- [71] A. Pereira. "Cerámicas piezoeléctricas: funcionamiento y propiedades". Brasil. 2010
- [72] MITSUBISHI ELECTRIC. "Panel fotovoltaico PV-MJT245GB". [Online]. Disponible en: <http://www.mitsubishielectric.com/bu/solar/pv_modules/pdf/mjt.pdf> [Consulta Marzo 2012]
- [73] Global Solar. "Lámina fotovoltaica". [Online]. Disponible en: <http://www.globalsolar.com/downloads/PowerFLEX_6m.pdf> [Consulta Marzo 2012]
- [74] Sherwin Electric Company. "Renewable Energy". EE.UU, 2009.
- [75] No se menciona autor. "Wind turbine". [Online]. Disponible en: <http://www.wind-sun-4all.de/product_info.php?language=en&info=p109_windgenerator-timar-600w.html&> [Consulta Marzo 2012]
- [76] PowerLeap. "Powerfloor". [Online]. Disponible en: <http://powerleap.net/?page_id=32> [Consulta Marzo 2012]
- [77] No se menciona autor. "LA RADIACIÓN SOLAR". [Online]. Disponible en:<<http://www.enalmex.com/docpdf/libro/ch01.pdf.pdf>> [Consulta marzo 2012]
- [78] Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica, CONELEC. [Online]. Disponible en <<http://www.conelec.gob.ec/>> [Consulta Marzo 2012]
- [79] M. Haji. K. Lau. A. Agogino "HUMAN POWER GENERATION IN FITNESS FACILITIES" USA, 2010
- [80] No se menciona autor. "ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES". [Online]. Disponible en. <http://www.electricidad-gratuita.com/Proyecto_Disenio_SistemaFotovoltaico.pdf> [Consulta marzo 2012]
- [81] No se menciona autor, "Pisos de cerámica". [Online]. Disponible en: <<http://www.miconstruguia.com/Como-se-hace/Colocacion-de-pisos-de-ceramica.aspx>> [Consulta Marzo 2012]
- [82] No se menciona autor "Parque Biosaludable". [Online]. Disponible en: <<http://gruposalem.com/parquebio.htm>> [Consulta Marzo 2012]
- [83] No se reconoce autor. "Fluke 8845A/8846^a. Digital Multimeters Extended Specifications". [Online]. Disponible en: <<http://www.fluke.com/fluke/eces/Instrumentos-para-Bancos-de-Trabajo/Mult%C3%ADmetros-de-banco/8845A-8846A.htm?PID=55451>> [Consulta marzo de 2012].
- [84] No se reconoce autor. "Vatímetro". [Online]. Disponible en: <<http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/instrumento-de-electricidad/analizador-potencia-pce-pa6000.htm>> [Consulta marzo de 2012].



[85] Rolls. "Batttery". [Online]. Disponible en: <http://www.rolls-battery.com/pdf/pdf_rolls/12cs11ps.pdf > [Consulta marzo de 2012].

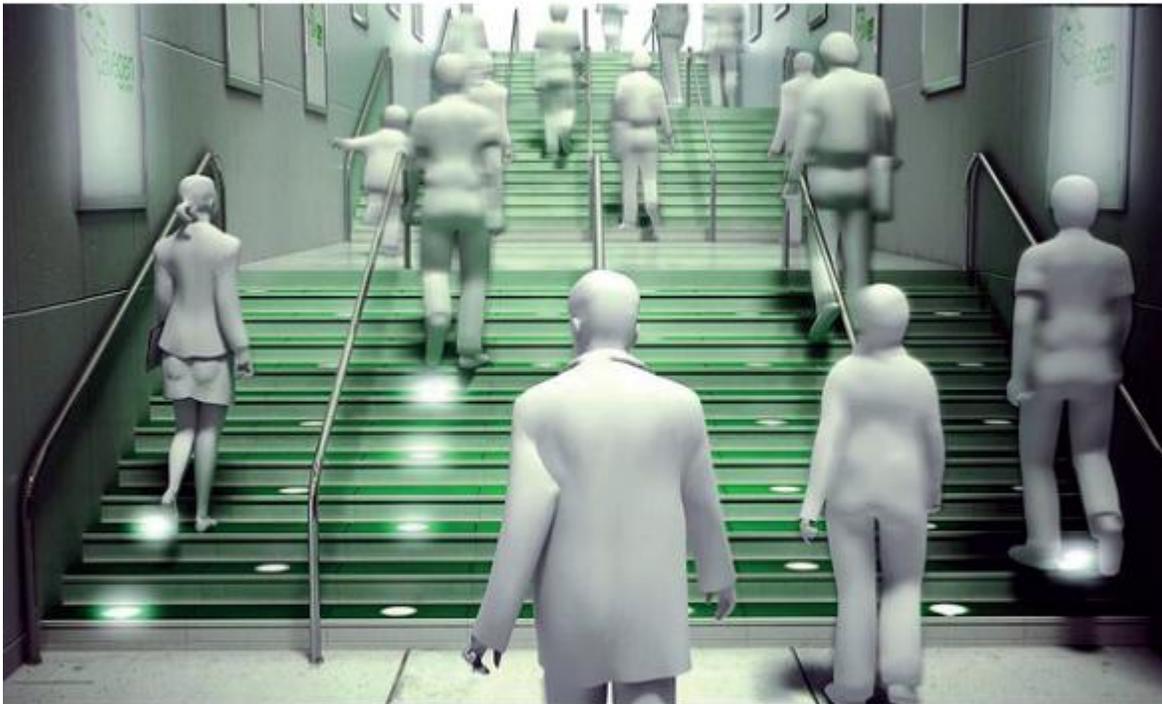
[86] No se reconoce autor. "Regulador de carga". [Online]. Disponible en: <<http://www.electroindustrial.com/solar/reguladores/c0190.htm#descripcion>> [Consulta marzo de 2012].



ANEXOS



Ingeniería Verde
de INNOVAHOME



PROFORMA DE UN KIT DE DEMOSTRACIÓN
POWERLEAP CON 3 BALDOSAS
PIEZOELÉCTRICAS



Ingeniería Verde

de INNOVAHOME



ANTECEDENTES

Ingeniería Verde de la persona jurídica INNOVAHOME Cía. Ltda. es una empresa legalmente constituida bajo las leyes y normativas de la Superintendencia de Compañías del Ecuador.

Está especializada en la prestación de servicios y elaboración de productos (hardware y software) destinados a eficiencia energética y la automatización en hogares y edificios. Pertenece a la incubadora de empresas Loja Valle de Tecnología, y está ubicada dentro del campus de la Universidad Técnica Particular de Loja.

En este contexto entendemos que una de las necesidades más importantes a cubrir en las empresas, organizaciones o clientes en general, es una adecuada, oportuna y profesional gestión de sus recursos, así como automatizar procesos mediante herramientas de hardware y software de una forma personalizada de tal manera que la satisfacción del usuario sea nuestro principal objetivo.

Es así que nuestra empresa se desempeña en las siguientes áreas:

- Eficiencia energética mediante el diseño e implementación de sistemas de ahorro energético y generación alternativa de energía.
- Domótica, a través del desarrollo de software y hardware de automatización de los recursos de un domicilio o un edificio.
- Seguridad, mediante el diseño e implementación de sistemas de video vigilancia, rastreo satelital.



Ingeniería Verde

de INNOVAHOME



RESUMEN

En el presente documento se detalla una propuesta para la implementación de un sistema de generación de energía eléctrica aprovechando la energía cinética de los peatones.

En forma general este sistema es una solución de bajas emisiones de carbono que consta principalmente de baldosas colocadas sobre el suelo que permiten convertir la energía cinética que genera una persona al caminar en energía eléctrica. La energía generada por las baldosas puede ser almacenada en baterías o utilizada directamente como alimentación de diferentes aplicaciones de baja potencia.

Los emplazamientos ideales de este sistema incluyen calles concurridas, oficinas, eventos, colegios, universidades, etc.

Este sistema ya se ha sido probado con éxito en varios lugares; entre ellos, el pasillo de una escuela donde 1.100 alumnos generan energía diariamente al caminar sobre ellas, además que crean una conciencia de sostenibilidad en las rutinas diarias de los estudiantes.

La base de las baldosas está fabricada en un 80% con materiales reciclados, son resistentes al agua y a condiciones climáticas extremas, por lo que se pueden instalar tanto en interior como en exterior.

Los dispositivos necesarios para implementar dicho sistema, se seleccionaron de entre la oferta de la empresa Powerleap de Estados Unidos. A continuación se detalla cada una de los productos necesarios junto con un presupuesto general para la implementación de este sistema en la Universidad Técnica Particular de Loja.



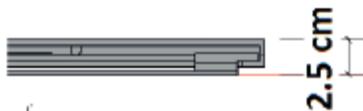
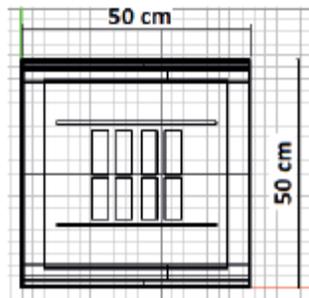
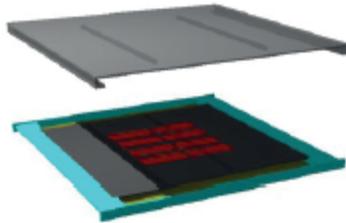
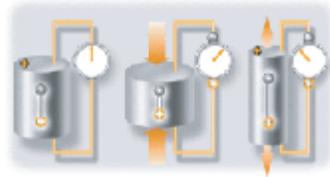
Ingeniería Verde

de INNOVAHOME



SmartFloor

Características y Funcionamiento



Tecnología Piezoeléctrica - La piezoelectricidad es un fenómeno natural en el que ciertos materiales desplazan una carga eléctrica al ser sometidos a tensiones mecánicas.

Diseño - Para estas baldosas se utiliza un dispositivo piezoeléctrico muy resistente compuesto de microfibras de cerámica incrustados en una lámina de aluminio. Cuando se presiona sobre la baldosa, el material se tensiona y se produce una transformación de energía mecánica en energía eléctrica.

Características - Esta unidad (50x50x2cm) puede generar hasta 1 vatio por pisada con tecnología piezoeléctrica. El marco es de aluminio anodizado, y la superficie puede ser personalizada con cualquier imagen o logotipo deseado.

- * Ancho: 50 cm
- * Largo: 50 cm
- * Alto: 2,5 cm
- * 2 mm de desplazamiento
- * 40-80V voltaje de salida
- * Cuadro de aluminio que soporta hasta 100 kN de fuerza
- * Fabricados en EEUU
- * Diseñado para una vida útil de 20 años



Ingeniería Verde
de INNOVAHOME



Dispositivos incluidos



Transmisor inalámbrico Smartfloor: Incrustado en cada módulo Smartfloor, este transmisor es capaz de enviar datos a una distancia de 50 metros. El dispositivo se puede programar con sensores para detectar peso, niveles de iluminación, niveles de CO2 y más. Cada sensor es alimentado por la baldosa SmartFloor lo que elimina la necesidad de baterías o cables.



Dispositivo de medición PowerFloor: Este multímetro digital permite medir la cantidad de energía generada por cada módulo de manera inalámbrica. Este multímetro tiene una batería recargable y está diseñado con propósitos de demostración del funcionamiento de cada baldosa piezoeléctrica.



Software de visualización PowerFloor: Aplicación para el iPad o iPhone para mostrar los datos obtenidos del multímetro de manera gráfica.



-  10 LED Array
-  Wireless transmitter

Además incluye una tira de leds indicadores incorporados en cada baldosa y una lámpara de baterías controlada con los transmisores inalámbricos Smartfloor



Ingeniería Verde
de INNOVAHOME



El presupuesto general del presente proyecto se lo detalla a continuación:

PRESUPUESTO GENERAL			
Producto	Cantidad	Valor unitario (USD)	Valor total (USD)
KIT DE DEMOSTRACIÓN POWERLEAP QUE INCLUYE:			
<ul style="list-style-type: none"> • 3 baldosas de demostración PowerLeap • 1 multímetro de medición • 3 transmisores inalámbricos • 1 software de medición • 1 lámpara LED inalámbrica • 1 paquete de software USB con instrucciones y materiales de presentación PowerLeap 	1	8800,0	8800,0
SUBTOTAL			8800,0
Costos de envío hasta Ecuador			800,0
Instalación, soporte y garantía técnica			500,0
SUBTOTAL IVA 12			10100,0
IVA (12%)			1212
TOTAL PRESUPUESTO GENERAL			11312,0

PAGO Y TIEMPO DE ENTREGA

- Para el inicio del trabajo propuesto se debe cancelar 50% de la inversión total a la firma del contrato y 50% del costo total de inversión previa a la firma de entrega y recepción de la obra.
- El tiempo de entrega final es de aproximadamente 30 días a partir de la firma del contrato.

POLÍTICAS Y GARANTÍAS

- El estado de equipos: nuevos y con garantía técnica de 1 año.
- La vida útil de los módulos y de todos los dispositivos incluidos en esta oferta es de 10 años.



Ingeniería Verde
de INNOVAHOME



VALIDEZ DE LA PROPUESTA

La presente propuesta tiene una validez de 30 días a partir de la fecha de emisión de la misma. Seguros de contar con su favorable acogida, nos encontramos a su disposición.

Cualquier duda o información adicional estamos a las órdenes.

Atentamente,

Ing. David Aguirre Burneo
Presidente INNOVAHOME CIA. LTDA.
mobile: (+593) 87053562
e-mail: daguirre@ingenieriaverde.org

Harvesting de energía en exteriores del nuevo en el Campus San Cayetano de la UTPL

A. Barrazueta, J. Jaramillo

Abstract— Como parte de un proyecto transdisciplinario en el UTPL, este trabajo presenta la justificación de la incorporación de energías renovables a la gestión del campus universitario, resume los resultados del análisis de las diversas opciones para harvesting de energía en los exteriores de la ampliación del campus San Cayetano de la UTPL en la ciudad de Loja, y, describe el diseño de una estación experimental para el estudio del desempeño de baldosas piezoeléctricas.

Keywords— energía renovable, desarrollo sustentable, gestión energética de un campus universitario, harvesting de energía, baldosas piezoeléctricas.

I. INTRODUCCIÓN

La escala en la demanda de energía llevó al agotamiento de las reservas de combustibles fósiles, y, derivó en un aumento de la concentración de contaminantes. Frente a esto, el uso de energías renovables se constituye en una inmejorable alternativa energética, cuya gestión eficaz proporcionará a la población, en el mediano y largo plazo, grandes ventajas comparativas, tanto a nivel económico, social, y, ambiental [1].

En 1989, la Universidad de California en Los Ángeles, UCLA, marcó un precedente al introducir el concepto de “valoración del impacto ambiental” en la gestión y operación de su campus. Como resultado, se formuló una política institucional con visión ambiental.

Este fue el punto de partida para lo que, en los años noventa, se denominó “ambientalización de la universidad”. Muchas universidades, internacionalmente reconocidas, incluyeron prácticas medioambiente-amigables en su gestión, como la Universidad de Wisconsin y su *Programa de Ecología del Campus*, y, la Universidad de Brown y su *Proyecto Brown Verde*. Estas iniciativas propiciaron la firma de acuerdos universitarios con el compromiso de desarrollar políticas para definir y promover la sustentabilidad en la Educación Superior.

La búsqueda del desarrollo sustentable plantea un cambio estructural en la manera de pensar y actuar; implica la visión de un mundo diferente, con prácticas eficientes y adecuadas en el uso de los recursos.

El cambiar paradigmas es un reto inherente a la educación. Por eso, las universidades no pueden limitarse a perfeccionar las capacidades técnicas del recurso humano, sino que deben actuar como catalizadores del cambio de pensamiento, a través

de la investigación y la demostración. Se exige que la comunidad universitaria valore la huella ecológica del campus, proponga un modelo de eficiencia energética, y, planifique y administre el uso adecuado de las distintas formas de energía, en forma sistemática [2].

A partir de enero de 2012, en la Universidad Técnica Particular de Loja, Campus San Cayetano, se conformó un grupo de trabajo transdisciplinario, cuyo objetivo fundamental es el de referir las mejores prácticas en el aprovechamiento de energía renovable (no convencional) a ser consideradas en la planificación y construcción de la infraestructura de la ampliación del Campus. Se prevé a futuro la incorporación de algunas de estas prácticas a la operación de la infraestructura actual del Campus.

Este trabajo recoge la línea base obtenida al documentar las distintas experiencias universitarias en la incorporación del uso de energía renovable (no convencional) en la gestión y operación de los campus universitarios; al validar distintas opciones de energía renovable potencialmente aplicables en el Campus San Cayetano de la UTPL en la ciudad de Loja, y, al diseñar una estación experimental, que permita obtener los mejores opciones de harvesting de energía.

II. ENERGÍA RENOVABLE Y GESTIÓN SUSTENTABLE DEL CAMPUS UNIVERSITARIO

Se define a la energía renovable a aquella energía que proviene de fuentes renovables, o, aquella que “simplemente no se termina”. La energía renovable puede provenir del agua en movimiento (hidráulica, mareomotriz, movimiento de las olas), de los gradientes térmicos del agua del océano, de la biomasa, de las fuentes geotermales, del Sol, del viento, etc. [3].

En contraposición, la energía no renovable proviene de fuentes de difícil renovación o que pueden terminarse. Esta energía puede provenir del carbón, del petróleo, del gas natural, o, de las centrales nucleares [4].

El desarrollo sostenible se define como aquel que satisface las necesidades presentes sin hacer peligrar la posibilidad de que las generaciones futuras puedan satisfacer las suyas [5].

La eficiencia energética se define como la capacidad de realizar el mismo trabajo, utilizando menos energía, y, sin disminuir la calidad del servicio prestado [6].

A. La visión global sobre el compromiso universitario en la gestión eficiente de energía

En distintos foros internacionales se ha resaltado la importancia de una educación para la sostenibilidad, desde y hacia el ámbito universitario. Dentro de este marco se han suscrito varias declaraciones y acuerdos entre los principales directivos de las universidades más reconocidas en el mundo.

La **Declaración de Talloires**, firmada en Francia en 1990 por 21 delegados de universidades de todo el mundo, fue la primera declaración sobre la necesidad de construir un futuro ambientalmente sostenible desde el ámbito de la educación superior. En su parte medular, la declaración compromete a los firmantes (y a los que se han adherido posteriormente) a incentivar a la universidad para que se comprometa con la educación, la investigación, la formación de políticas, y, con los intercambios de información en temas relacionados con población, medio ambiente, y, desarrollo, y así alcanzar un futuro sostenible. La declaración prevé el impulso de acciones concretas desde el interior de la universidad, y, la búsqueda de sinergia con la empresa, el estado, y, las organizaciones supranacionales [7].

La **Declaración de Halifax**, firmada en Canadá en diciembre de 1991 por 33 rectores de universidades provenientes de 10 países, define el rol de las universidades en la conservación del medio ambiente y la construcción de un desarrollo sostenible. La declaración propone un plan de acción para el diseño de estrategias prácticas, y, enfatiza la importancia de la educación, de la capacitación, de la investigación, y, de la disponibilidad de información; pero sobre todo valora el trabajo interdisciplinario, y, resalta la actitud proactiva que han de tener las universidades en el contexto del desarrollo sostenible [8].

La **Declaración de Río**, firmada en Brasil en junio de 1992, reafirma los compromisos adquiridos en la Declaración de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente. En la Declaración de Río se establece una alianza equitativa (mediante la creación de niveles de participación) entre los estados, los sectores sociales, y, los industriales, procurando alcanzar acuerdos internacionales en búsqueda de resguardar la integridad del medio ambiente y lograr el desarrollo mundial [9].

La **Declaración de Swansea**, firmada en Gales en agosto de 1993 por 400 delegados de instituciones de educación superior delegados y miembros de la Association of Commonwealth Universities, en el marco de la **Conferencia Gente y Medio Ambiente- Preservando el Balance**, propone establecer y diseminar un claro enfoque del desarrollo sustentable, fortalecer la capacidad de las universidades para enseñar e investigar los principios del desarrollo sostenible, incrementar la información ambiental, y, fortalecerla ética ambiental [10].

En la **Declaración de Kioto**, firmada en Japón en noviembre de 1993 por 90 líderes la Asociación Internacional de Universidades, en el marco de la **Conferencia Desarrollo Sostenible**, hace un llamado a las universidades para

establecer y diseminar un claro entendimiento del desarrollo sostenible, utilizando todos los recursos a su alcance, y, reconociendo la significativa interdependencia de las dimensiones internacionales del desarrollo sostenible [11].

La **Declaración de Barbados**, resultado de una actividad promovida por la ONU y realizada en Bridgetown en 1994, establece la necesidad de fortalecer la educación, la capacitación, y, el desarrollo de habilidades para hacer frente a los retos que plantea el desarrollo sostenible en las pequeñas islas [12].

La **Declaración de Thessaloniki**, firmada en Grecia en 1997, en el marco de la **Conferencia Medio Ambiente y Sociedad: Educación y Conciencia Pública para la Sostenibilidad**, señala a la educación y a la capacitación como pilares de la sostenibilidad, y, hace un llamado a los gobiernos, a la administración pública, a la comunidad científica, a las universidades, y, a las industrias, para que prioricen la educación y trabajen en el fortalecimiento de los sistemas educativos para enseñar sobre desarrollo sostenible [13].

La **Declaración de Lüneburg**, firmada en Alemania en octubre de 2001, propone la unión de esfuerzos de las instituciones de educación superior, de las organizaciones no gubernamentales, de los stakeholders, de los gobiernos, y, de las Naciones Unidas y de la UNESCO, para afrontar los retos que el desarrollo sostenible plantea a la educación en general y a la educación superior en particular [14].

La **Declaración UBUNTU**, presentada en la **Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible**, celebrada en Sudáfrica en el 2002, propone unir esfuerzos para trabajar en el desarrollo sostenible y movilizar al sector educativo para contribuir a ello [15].

B. La energía renovable en el campus universitario: el caso de las universidades latinoamericanas

La experiencia latinoamericana en la gestión sustentable del campus universitaria es reciente y diversa.

La **Universidad Nacional de la Plata**, en Argentina, desde el 2008 cuenta con un plan estratégico de Desarrollo Sustentable, que diagnostica y prevé estrategias metodológicas para el desarrollo urbano-ambiental [16].

La **Universidad Nacional de Colombia**, tiene un Plan de Desarrollo que incluye la creación de una Reserva de Biosfera (iniciativa adoptada por el Municipio de Bogotá en 1994). La universidad propone la educación ambiental, y, el reordenamiento de tendencias del desarrollo [17].

En México, el plan de acción para el desarrollo sustentable en las instituciones de educación superior, analiza escenarios posibles y plantea la el desarrollo sostenible como el resultado de una adecuada educación, de una investigación acorde, y, de una honesta operación [18]. La iniciativa la ciudad universitaria y la energía (2005), de la Universidad Nacional

Autónoma de México, apunta a diseñar y desarrollar de manera integral infraestructura, tecnología, y, cultura para transformar el campus universitario en un modelo de utilización inteligente de la energía y en un aula de enseñanza del tema. Se pretende convertir el campus universitario en un modelo de utilización inteligente de las diferentes formas de energía necesarias. Para lograr estos objetivos, la iniciativa se sustenta en seis líneas de investigación: energía solar, energía de biomasa, energía del hidrógeno, diagnóstico y ahorro de energía, utilización y ahorro de energía, y, cultura energética [19].

La *Universidad Nacional de Chile* ha desarrollado un marco conceptual y crítico sobre el desarrollo sustentable en la región, impulsando una serie de investigaciones sobre la evolución energética y el impacto ambiental [20].

La *Universidad de Buenos Aires* posee un programa interdisciplinario en energías sustentables, que analiza e investiga el cambio climático y sus consecuencias en el medio ambiente, determinando los potenciales recursos naturales que pueden ser empleados para frenar el impacto al medio ambiente [21].

En Guatemala, adjunto al *Zamorano* funciona el Centro Zamorano de Energía Renovable (CZER). El CZER realiza investigación y capacitación en el área de generación de energía eléctrica a partir de la energía solar, hídrica, eólica, biomasa. Otro punto de interés del CZER es la producción de biocombustibles y biogás, a partir de residuos orgánicos. En el futuro, el CZER pretende expandir su capacidad de investigación y aplicación a otras tecnologías, como la energía geotérmica, la mareomotriz, y, experimentar con nuevos métodos de almacenamiento de energía [22].

El programa *Joint European – Latin American Universities Renewable Energy Project* (JELARE), impulsa un esquema de cooperación entre universidades de Alemania, Letonia, Bolivia, Brasil, Chile, y, Guatemala, con el objetivo de promover enfoques innovadores en el mercado de trabajo orientado a la educación y a la investigación en el campo de las energías renovables en América Latina, y, en los institutos de enseñanza superior europeos [23].

C. La energía renovable en el campus universitario: el caso de las universidades ecuatorianas

En el Ecuador, el marco jurídico existente respalda y obliga a las universidades en la ejecución de programas formativos, de investigación, y, de demostración, que permitan cambiar el paradigma social en relación a la energía.

Así, la Constitución vigente, en su artículo 3, inciso 5, señala como deberes del Estado “*planificar el desarrollo nacional, erradicar la pobreza, promover el desarrollo sustentable y la redistribución equitativa de los recursos y la riqueza, para acceder al buen vivir*”. Ese mismo documento, en la sección quinta referente a la educación, en el artículo 27 proclama que “*la Educación se centrará en el ser humano y*

garantizará su desarrollo holístico, en el marco del respecto a los derechos humanos, al medio ambiente sustentable y a la democracia; será participativa, obligatoria, intercultural, democrática, incluyente y diversa, de calidad y calidez; impulsará la equidad de género, la justicia, la solidaridad y la paz; estimulará el sentido crítico, el arte y la cultura física, la iniciativa individual y comunitaria, y el desarrollo de competencias y capacidades para crear y trabajar”. En el capítulo noveno, artículo 8, inciso 6, referente a las responsabilidades de los ecuatorianos, se establece la obligatoriedad de “*respetar los derechos de la naturaleza, preservar un ambiente sano y utilizar los recursos naturales de modo racional, sustentable y sostenible*” [24].

La Ley Orgánica de Educación Superior (LOES), en el artículo 8, incisos a y f, propone como fines de la Educación Superior al despliegue de la producción científica, y, a la promoción de las transferencias e innovaciones tecnológicas. También se señala que la Educación Superior debe “*fomentar y ejecutar programas de investigación de carácter científico, tecnológico y pedagógico que coadyuven al mejoramiento y protección del ambiente y promuevan el desarrollo sustentable nacional*” [25].

El Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, ente rector del área de interés de este trabajo, como uno de sus objetivos plantea “*el desarrollar proyectos de marco legal y reglamentario para la aplicación de energías renovables y biocombustibles*” [26].

En este marco, algunas universidades han propuesto iniciativas relacionadas a las energías renovables (no convencionales), sin llegar a incluirlas en la gestión del campus universitario.

La *Escuela Politécnica del Litoral*, a través del Centro de Desarrollo Sustentable, se ha propuesto impulsar el desarrollo de tecnologías sostenibles, combinando perspectivas técnicas, ambientales, y, socioeconómicas que incluyan una transferencia efectiva y aplicada a la comunidad [27].

La *Pontificia Universidad Católica del Ecuador*, a través de la Escuela de Geografía, lleva adelante programas de investigación en estudios ambientales, desarrollo sustentable, y, ordenamiento territorial [28].

La *Escuela Superior Politécnica Nacional* impulsa proyectos enfocados en el desarrollo sostenible, con el objeto de desarrollar conciencia científica y medioambiental [29].

La *Universidad Nacional de Loja (UNL)*, en convenio con el Ministerio de Industrias y Productividad (MIPRO), impulsa el “*Programa de Desarrollo de las Energías Renovables y la Eficiencia Energética en la región sur del Ecuador*”, cuyos resultados finales se esperan para el 2013 [30].

En la *Universidad Técnica Particular de Loja*, desde 2009 se introdujo el concepto de eficiencia energética, mejorando el desempeño de los circuitos de fuerza y logrando una

considerable reducción del consumo de energía eléctrica. En el año 2010 se diseñó e implementó un sistema híbrido termosolar – GLP, para proveer de agua caliente sanitaria a la Cafetería de la universidad. En el año 2011, se iniciaron los procesos de preparación para acceder a una certificación ISO FDIS 50001 de eficiencia energética.

El **gobierno actual** ha propuesto la creación de la “*Ciudad del Conocimiento – Yachay*”, que entre otros objetivos, buscará la I+D+D en temas afines a las energías renovables (no convencionales), buscando el compromiso con la sustentabilidad, la sostenibilidad de los recursos, y, las generaciones futuras [31].

III. INVENTARIO PRELIMINAR DE FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE POTENCIALMENTE UTILIZABLES PARA ABASTECER LA DEMANDA DE ENERGÍA EN EL CAMPUS UNIVERSITARIO DE LA UTPL

A. Metodología aplicada

La metodología aplicada para esta evaluación, se describe en la Fig.1. En esta primera fase, se consideraron los cuatro primeros pasos metodológicos.

Primero, sobre la base de los diseños de la infraestructura futura, se plantea **identificar todos aquellos procesos que necesitan ser abastecidos de energía**.

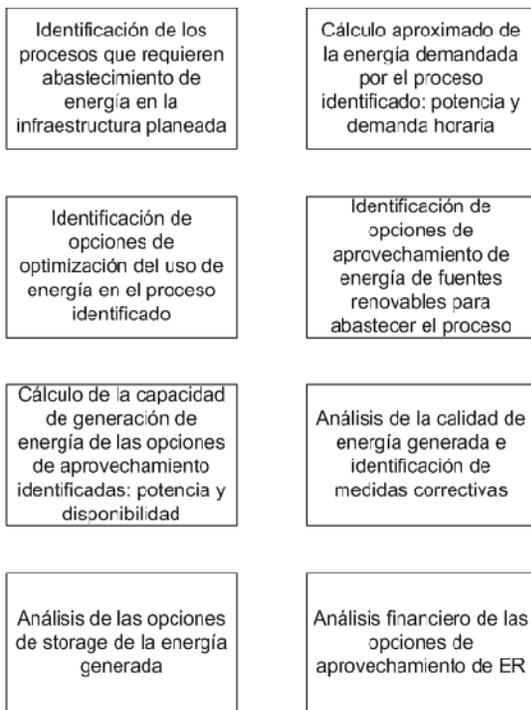


Fig. 1. Metodología de trabajo propuesta para la evaluación y selección de fuentes de energía renovable de potencial aplicación en el nuevo Campus de la UTPL. Elaborada por los autores.

Considerando como referencia aspectos técnicos y económicos de la infraestructura planeada o de la ya existente, se **calcula la demanda de energía** para cada uno de los procesos identificados.

El tercer paso, busca **optimizar la demanda de energía**, introduciendo referencias sobre mejoras tecnológicas u operativas que disminuyen el consumo de energía.

Conociendo los valores optimizados de demanda y las curvas de demanda horaria, para cada uno de los procesos, se realiza un inventario de **fuentes de energía renovables** potencialmente utilizables, de entre las cuales se selecciona un grupo en base al criterio del equipo de trabajo.

B. Procesos que requieren de abastecimiento de energía en las áreas exteriores del campus.

Como resultado de las reuniones del equipo del proyecto, se identificó 5 potenciales aplicaciones de las fuentes de energía no convencional, en las zonas exteriores del campus:

- Iluminación de vías de circulación.
- Iluminación de islas de descanso.
- Alimentación de tomas de fuerza en las islas.
- Alimentación de señalética y anuncios.
- Alimentación de obras de paisajismo.

En el rubro de **iluminación de vías de circulación**, se incluye la iluminación de las vías de circulación y de los pasos peatonales en el nuevo campus.

En la **iluminación de islas de descanso** se consideró la iluminación con niveles estándares de las zonas de descanso que se pretende implementar por todo el campus. En estas mismas zonas, se requiere **alimentar tomas de fuerza** para la conexión de dispositivos electrónicos o de otra naturaleza.

Se ha propuesto que para la orientación e información de los usuarios del nuevo campus, se implementen diferentes opciones de **señalética y anuncios**, que requieren ser alimentados.

Se pretende que el **paisajismo** sea un elemento primordial del diseño del nuevo campus, razón por la cual se requiere proporcionar alimentación a elementos como chorros de agua.

IV. APROXIMACIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA EN EL AMPLIACIÓN DEL CAMPUS SAN CAYETANO DE LA UTPL

La proyección de la demanda de energía requerida para cada uno de los procesos, incluye la referencia de aspectos técnicos y económicos de la infraestructura planeada, o, de la ya existente.

A. Aproximación de la demanda de energía para iluminación

Iluminación de las vías de circulación

Un factor importante a considerar es el nivel mínimo de iluminación. Para este proyecto, se consideró la normativa de la International Commission on Illumination CIE para zonas abiertas, con acceso al público, y, con alrededores oscuros [32]. Para vías de circulación de uso habitual, las normas establecen un nivel mínimo de iluminación de entre 7,5 a 20 luxes.

El cálculo del sistema de iluminación exterior para vías de circulación, considera la geometría y los parámetros mostrados en la Fig. 2 [32]. El método empleado fue el denominado método de factor de utilización, cuya finalidad es calcular la distancia de separación adecuada entre las luminarias tal que, garantice un nivel de iluminancia medio determinado [33].

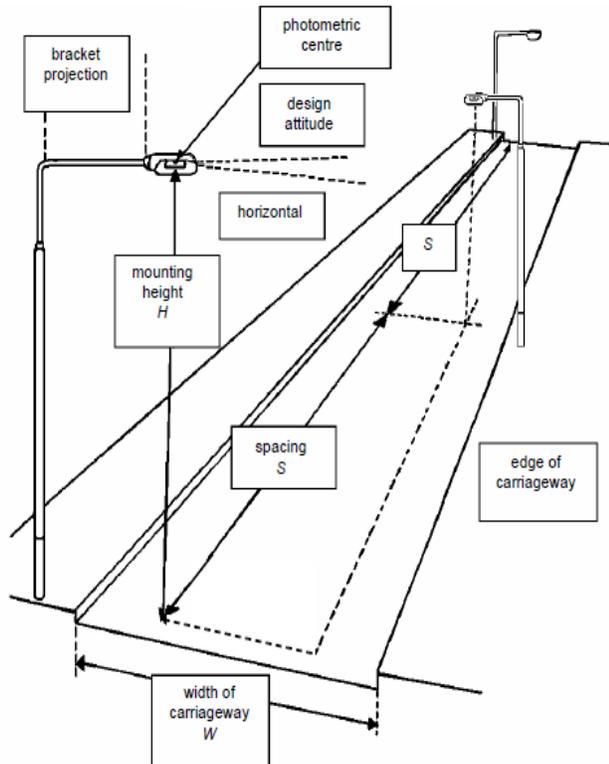


Fig. 2. Definición de términos usados en la iluminación de las carreteras. CIE. "ROAD TRANSPORT LIGHTING FOR DEVELOPING COUNTRIES", 2007

- Ancho de la vía (W).
- Altura de montaje (H). Cuanto mayor sea la altura del mástil, mayor potencia será necesaria para lograr la iluminación requerida, pero el resultado será más uniforme.
- Disposición de las luminarias. Los postes pueden estar colocados de un solo lado de la calle o de ambos, de forma escalonada o bilateral.
- Distancia entre luminarias (S). Cuanto más larga sea la distancia, menor será el nivel de iluminación, y, mayor la desigualdad en la misma.
- Tipo de lámpara. Estas pueden ser de tungsteno, tungsteno halógeno, o, de tipo LED.
- Tipo de luminaria.

Para efectos de cálculo, la vía se catalogó como tipo E [34] con clase de alumbrado P1 [35] (vías con tráfico mixto con presencia de vehículos y peatones). Para este tipo de vías, la iluminación media requerida es de 20 luxes, y, la luminancia media es de 1 cd/m².

Se seleccionó una disposición unilateral de las luminarias, con lámparas de flujo luminoso ϕ_l comprendido entre 3.000 y 10.000 lúmenes. La altura de montaje de las lámparas se fijó en 10 m de tal manera que, considerando un ancho de la vía estimado de 8,50 m, se cumpla la relación (1) [36]:

$$\frac{W}{H} < 1 \quad (1)$$

Se consideró un factor de mantenimiento medio f_m igual a 0,75 [37]. Al trabajar con luminarias LED, el coeficiente de depreciación se ubicó en 0,85 [38].

El flujo luminoso útil, se calculó a partir de la expresión (2):

$$\phi_u = E_m S \quad (2)$$

En dónde,

- ϕ_u , es el flujo luminoso útil, lm
- E_m , es la iluminancia media requerida, lux
- S, es la superficie a iluminar, m²

Para efectos de este proyecto, se determinó que el área a iluminar sea de 8,5 m x 30 m, es decir 255 m². Con esto, la expresión (2) adoptó el valor de:

$$\phi_u = 20 (8,50 * 30)$$

$$\phi_u = 5100 \text{ lm}$$

Obtenido del flujo luminoso útil, se calculó el flujo luminoso de la lámpara requerida, a través de la expresión (3), con un factor de mantenimiento de 0,85 [39]:

$$\phi_l = \frac{\phi_u}{f_m C_d} \quad (3)$$

En dónde,

ϕ_l , es el flujo luminoso de la lámpara, lm
 f_m , es el factor de mantenimiento
 C_d , es un coeficiente de depreciación

$$\phi_l = \frac{5100}{0,85 (0,75)}$$

$$\phi_l = 8000 \text{ lm}$$

Sobre la base del flujo luminoso requerido en la lámpara, se seleccionó el uso de lámparas LU4, ubicadas en postes de iluminación solar LED Street Light [40], cuyo flujo luminoso es de 9.707 lm. El factor de utilización de la lámpara se determinó a través de la expresión (4):

$$\eta = \frac{\phi_u}{\phi_{l0}} \quad (4)$$

En dónde,

η , es el factor de utilización
 ϕ_u , es el flujo luminoso útil, lm
 ϕ_{l0} , es el flujo luminoso inicial de la lámpara, lm

$$\eta = \frac{9.707}{10.000}$$

$$\eta = 0,97$$

La distancia de separación entre luminarias, se aproximó mediante la expresión (5):

$$d = \frac{\phi_l \eta f_m C_d}{E_m a} \quad (5)$$

En dónde,

η , es el factor de utilización
 ϕ_l , es el flujo luminoso de la lámpara, lm
 f_m , es el factor de mantenimiento
 C_d , es el coeficiente de depreciación
 E_m , es la iluminación media requerida, lux
 a , es el ancho de la calzada, m

$$d = \frac{9.707 \cdot 0,97 \cdot 0,85 (0,75)}{20 (8,5)}$$

$$d = 35 \text{ m}$$

Mediante la expresión (6), se obtuvo la iluminación media en la calzada en el momento de puesta en marcha de la instalación [41]:

$$E_m = \frac{\eta f_m \phi_l}{A \cdot d} \quad (6)$$

En dónde,

η , es el factor de utilización
 f_m , es el factor de mantenimiento
 ϕ_l , es el flujo luminoso de la lámpara, lm
 A , es el ancho de la calle a iluminar, m
 d , es la separación entre las luminarias, m

$$E_m = \frac{0,97 (0,85)(9.707)}{(8,5)(35)}$$

$$E_m = 26,9 \text{ lux}$$

La iluminancia media obtenida (26,9 lux) es mayor a lo establecido por la norma (20 lux), con lo que se garantiza la calidad de iluminación.

Utilizando el software Calculux Viario, se realizó una simulación del funcionamiento del sistema, y, se obtuvo información sobre la calidad del desempeño del mismo. La Fig. 3, muestra la disposición unilateral derecha de las luminarias a una distancia de 35m. La tabla 1, muestra los parámetros de calidad del sistema de iluminación. Los resultados muestran que en promedio la luminancia media es de mayor a 1 cd/m², que establece la norma.

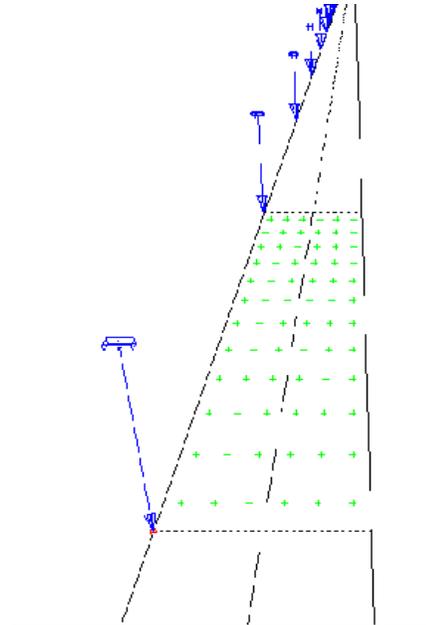


Fig. 3. Disposición de las luminarias en la calzada. Imagen obtenida mediante el software Calculux Viario.

Tabla 1.

Datos de eficiencia del sistema de iluminación

	Cálculo	Unidad	Media	Mín/Med	Mín/máx
1	Carretera de una cal(01)	Candela/m ²	2,02	0,52	0,29
2	Carretera de una cal(02)	Candela/m ²	2,04	0,53	0,30
3	Eh Calzada	lux	22,6	0,39	0,19

Como una solución óptima, para la iluminación de las vías de circulación, se optó por los postes de iluminación solar, modelo **LED Street Light**, que cumplen con los requerimientos necesarios.

Iluminación para paisajismo

Para efectos de este proyecto, se consideró la posibilidad de implementar una iluminación monumental básica y no deslumbrante, en la que bastan unas iluminancias reducidas para acentuar el entorno del monumento. Este tipo de iluminación es sutil y uniforme, orientada a mejorar la perceptibilidad de los monumentos en la oscuridad.

Un factor a considerar, es la dirección o ángulo de visión del monumento. La vista principal deberá ser iluminada de manera que, la luz forme un ángulo con respecto a la línea de visión. Este ángulo quedará definido por las características propias del edificio o monumento, así como por el grado de impresión que se quiera en la obra [42]. Para evitar la contaminación lumínica, es necesario el posicionamiento y orientación exacta de los proyectores. Para monumentos de gran altitud se puede utilizar proyectores de tecnología LED (120W de potencia aproximada), y, para enfatizar detalles concretos en los monumentos se puede emplear bañadores de pared (22 a 44W) [43].

Iluminación de islas de descanso

La isla será una zona de descanso y entretenimiento. El nivel mínimo de iluminación requerido en una zona de esas características es de 200 lux, para garantizar el confort visual [44].

Para calcular la iluminación, se aproximó el área ocupada por la isla a 12 m², y, se evaluó la demanda máxima simultánea de energía para dos luminarias y tres tomas de fuerza [45], alimentadas desde 2 circuitos independientes.

El **circuito 1** alimenta las luminarias. La altura de las luminarias se fijó en 2,7m, y, el plano de trabajo se fijó a 0,85 m sobre el nivel del suelo. Para el cálculo se empleó uno de los métodos más habituales para sistemas de iluminación interior. Mediante la expresión (7), se determinó el índice del local (k) [46], empleado para determinar la iluminancia promedio de la isla:

$$k = \frac{a \cdot b}{h(a+b)} \quad (7)$$

En dónde,

- a, es el largo de la isla, m
- b, es ancho de la isla, m
- h, es la distancia desde el plano de trabajo a las luminarias, m

$$k = \frac{4 \cdot (3)}{(1,85)(4 + 3)}$$

$$k = 0,926$$

Con el valor de k obtenido, se determinó el número mínimo de puntos de medición (Nmpm), en los que se verificará el cumplimiento de los niveles exigidos de iluminación, mediante la expresión (8):

$$Nmpm = (k + 2)^2 \quad (8)$$

$$Nmpm = (1 + 2)^2$$

$$Nmpm = 9$$

El flujo útil necesario para iluminar la isla, se determinó a través de la (2), para una iluminación media requerida de 200 luxes.

$$\phi_{\mu} = 200 \quad (12)$$

$$\phi_{\mu} = 2.400 \text{ lm}$$

Al seleccionar lámparas tipo BHT-T8 [47], de 1.700 lúmenes, fue necesario realizar una rectificación al proceso de cálculo recomendado en la bibliografía [48]. Se calculó el número de lámparas requeridas, dividiendo el flujo útil necesario entre el flujo luminoso de la lámpara seleccionada, obtenido un valor de 2. Con esta información, se verificó el cumplimiento de la iluminancia media a través de la expresión (9):

$$E_m = \frac{f_m \phi_l}{S} n \quad (9)$$

En dónde,

- f_m , es el factor de mantenimiento
- ϕ_l , es el flujo luminoso de la lámpara, lm
- S, es el área de la isla, m²
- n, es el número de lámparas

$$E_m = \frac{0,85 \cdot 1.700}{12} \quad (2)$$

$$E_m = 240 \text{ lux}$$

La iluminancia media obtenida (240 lux) es mayor a lo establecido por la norma (200 lux), con lo que se garantiza la calidad de iluminación.

La potencia eléctrica requerida para la iluminación de las islas, se calculó a partir de que la lámpara seleccionada fue la BHT-T8, lámpara LED tipo tubo, de 18 W. Se consideró una reserva de energía de un 66% para cubrir eventualidades. Con esto, la potencia requerida se determinó en 60 W.

El **circuito 2** alimenta las tomas de fuerza. El consumo energético previsto se aproximó considerando el uso de dispositivos electrónicos como computadoras personales, radios, entre otros.

Se tomó en cuenta 3 tomas dobles (6tomacorrientes), de 250 W cada una. Considerando la reserva del 66%, la potencia total requerida es del orden de los 2600 W.

Iluminación utilizada para señalética y anuncios

En el marco de este proyecto, se propuso el uso de pantallas LED como paneles informativos en el campus. La selección de este tipo de equipos se basa en la resolución requerida, y, en la distancia al observador.

El factor de resolución de la pantalla (píxel pitch), indica la relación de distancia entre los LED en milímetros. En la práctica, se recomienda resoluciones de 43.000 píxeles para aplicaciones de vídeo de calidad normal, y, de 60.000 píxeles para video de alta definición [49].

La distancia de visión al espectador, se puede calcular a través de la expresión (10), una adecuación del teorema de Pitágoras.

$$h^2 = l^2 + a^2 \quad (10)$$

En dónde,

- h, es la distancia de visión al espectador, m
- l, es la altura del centro de la pantalla respecto al suelo, m
- a, es la distancia a la que encuentra el usuario, respecto a la pantalla, m

Para efectos de este proyecto, l se determinó en 6 m, y, a en 10 m.

$$h^2 = (6)^2 + (10)^2$$

$$h = 12$$

Con estos datos, se seleccionó una pantalla LED para exteriores modelo DMX-PH10-RGB-E[50], de 10 mm de píxel pitch con 76,800 píxeles en total, cuya distancia de visión al espectador recomendada está entre 12 y 120m. Esta pantalla tiene dimensiones de 3,2m de ancho, y, 2,4m de alto, y, un consumo energético máximo de 2.000 W.

B. Aproximación de la demanda de energía para paisajismo

En el marco de este proyecto, en este rubro se propuso la implementación de sistemas automatizados de riego, iluminación de senderos, y, fuentes de agua con chorros sincronizados.

Sistema de riego

Se propuso la implementación de sistemas automatizados de riego por goteo, como los proporcionados por la empresa Gardena [51]. Como referencia, el producto Micro Drip consta de un programador 4040 modulable Comfort, con una conexión de 230 V; y, está diseñado para la conexión de cuatro electroválvulas de 24 V. Cada electroválvula se programa de acuerdo a los días y ciclos de riego. La duración del riego puede ajustarse entre 1 minuto, y, 4 horas 59 minutos.

Iluminación de senderos

El cálculo de la iluminación de los pasos peatonales, consideró una iluminancia media requerida de 7,5 lux, con un factor de mantenimiento de 0,85. Considerando que el sendero tendría un ancho de 4 m, la altura de montaje (H) se definió en 5m. La disposición de luminarias será unilateral, y, cada luminaria cubrirá un área de 4m x 10m.

Se determinó el flujo luminoso útil (300 lm), y, el flujo luminoso de la lámpara (470 lm), mediante las expresiones (2), y, (3).

Para la iluminación se seleccionó un poste piramidal (Ver Fig. 4), capaz de funcionar 8h. Este poste cuenta con un panel fotovoltaico de 30 W completamente autónomo de la red eléctrica [52], y, con una lámpara de 900 lúmenes de flujo luminoso. Con ayuda de la expresión (5), se calculó la distancia entre postes en 19 m.



Fig. 4. Postes solares, para iluminación de senderos y Jardines, <http://www.dinkysclub.com/2010/01/lamparas-solares-para-casas-negocios.html>

Fuentes de agua con chorros sincronizados.

Se sugirió la posibilidad de instalar en las lagunas de recolección de escorrentías y aguas lluvias, fuentes de agua con chorros sincronizados. Considerando las dimensiones de la laguna, se deberá diseñar el sistema hidráulico, y, seleccionar los equipos y sensores (ver Fig. 7) [53].

El sistema hidráulico incluye tuberías, válvulas, bobinas, switch de nivel, manómetro, boquillas, etc.

Los equipos requeridos incluyen una bomba (1 HP), un transmisor de presión, un variador de frecuencia (1 HP), un tablero de control de bomba, etc.

Para la “creación” de figuras con chorros de agua, hay que considerar la presión y el caudal [54]. Las toberas se utilizan comúnmente para conseguir los chorros de agua, y, mediante una rótula, se pueden obtener chorros verticales o parabólicos en dependencia de la presión del agua [55].



Fig. 5. Fuente con chorro de agua. http://www.taringa.net/posts/imagenes/3087804/Lima-Equot_La-Reina-de-las-CascadasEquot_.html

V. ENERGÍAS RENOVABLES PARA POTENCIACIÓN DE ISLAS DE DESCANSO EN EL NUEVO CAMPUS DE LA UTPL

A. Tecnologías de energía renovable consideradas para formar parte de los sistemas híbridos.

Paneles fotovoltaicos

Los paneles fotovoltaicos están compuestos de una estructura mecánica rígida y hermética que contiene celdas fotovoltaicas (Ver Fig. 6), construidas habitualmente sobre silicio. Un panel puede contener 36 celdas o más, conectadas eléctricamente en serie. La geometría de las células es cuadrada con esquinas redondeadas. El voltaje máximo de salida por cada celda es de 0.5V. Los módulos están diseñados para suministrar electricidad a un determinado voltaje, normalmente 12 ó 24 V. La corriente producida depende del nivel de insolación [56]. Los paneles tienen una potencia de salida entre 30Wp y 300Wp [57], según el tipo y la eficiencia de las celdas que lo componen. El rendimiento y la eficiencia

de los paneles fotovoltaicos, depende de la su estructura y de la composición de las celdas (Ver Tabla 2) [58].

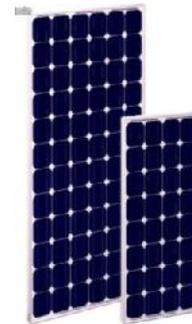


Fig.6. Vista general de un panel fotovoltaico. <http://www.solostocks.com/venta-productos/maquinaria/construccion/otros/panel-solar-fotovoltaica-185w-24v-1-9-euros-por-watio-4684816>

Tabla 2
Eficiencia de los paneles fotovoltaicos.

Material	Rendimiento máximo	Eficiencia
Silicio Puro monocristalino	24.7%	16%
Silicio puro policristalino	19.8%	14%
Silicio amorfo (TFS)	13%	8%
Teluro de cadmio	16%	8%
Arseniuro de Galio	25.7%	20%
Diseleniuro de cobre en indio	17%	9%

Láminas fotovoltaicas

En las láminas fotovoltaicas, los sustratos de silicio se han solidificado a través de un troquel de carbono, formando una cinta (Ver Fig. 7) [59], lo que mejora los indicadores de peso y rigidez de los paneles tradicionales. El proceso de deposición en vacío que se emplea, se realiza a una temperatura menor a la empleada en la producción de paneles tradicionales, lo que ahorra energía en la producción. Además, estas láminas de capa fina pueden ser hasta 300 veces más delgadas que las cristalinas, por lo que requieren menos material [60].



Fig.7. Lámina fotovoltaica. <http://www.globalsolar.com/products/flexible-modules/powerflex-300w>

La tabla 3, muestra la eficiencia de las láminas fotovoltaicas, de acuerdo a su composición.

Tabla 3
Eficiencia de las láminas fotovoltaicas.

Material	Eficiencia
Células Silicio amorfo (a-Si)	9.5%
Célula de Telururo de Cadmio (CdTe)	16.7%

Aerogeneradores

Un aerogenerador es un generador de electricidad activado por la acción del viento. La energía eólica mueve la hélice, y, a través de un sistema mecánico de engranajes, hace girar el rotor de un alternador, que convierte la energía mecánica rotacional en energía eléctrica [61].

Los aerogeneradores pueden operar a través de una amplia gama de velocidades de viento, a partir de 1 a 4 m/s hasta los 25 m/s (90 Km / h), equivalentes a la fuerza del vendaval 9 o 10 [62].

Los aerogeneradores se clasifican en base en la posición de su eje principal [63], en máquinas de eje horizontal, y, máquinas de eje vertical.

En los aerogeneradores de *eje horizontal*, el eje principal es paralelo al suelo. Este tipo de máquina necesita de un control de orientación al viento. Los elementos de conexión, el multiplicador, y, el generador, se encuentran a la altura del rotor en la góndola situada en lo alto de la torre. La disposición de las palas, puede ser a barlovento o a sotavento [64].

En las máquinas de *eje vertical*, los ejes principales están perpendiculares al suelo. Estos aerogeneradores captan el viento en cualquier dirección, por lo que no necesitan de un control de orientación. El enlace entre los multiplicadores y el generador, se realiza en el suelo, y, por lo tanto, tienen un coste menor y mayor sencillez en el montaje [65].

Generadores Piezoeléctricos

Piezolectricidad, es el fenómeno en el que se genera electricidad en ciertos materiales sometidos a un esfuerzo mecánico [12]. Los materiales piezoeléctricos más comunes son los cristales de cuarzo, la sal de Rochelle, la turmalina, etc. [66].

La **cerámica piezoeléctrica** es un material constituido por conglomerados de cristalitos ferroeléctricos sometidos a un tratamiento de polarización. En este tratamiento, se aplica al material un campo eléctrico constante de alta intensidad, en una dirección dada, a fin de lograr girar los ejes polares de los cristalitos hacia aquellas direcciones, permitidas por la simetría, próximas a la del campo eléctrico [67] (Ver Fig.8). Al deformarse el material, en la baldosa aparecerán cargas eléctricas que, debidamente canalizadas, conformarán una corriente eléctrica.

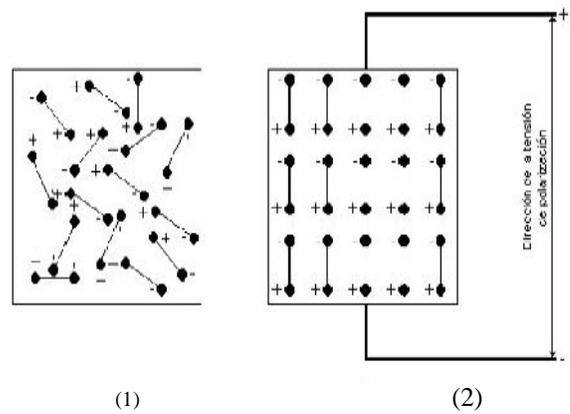


Fig 8. Dipolos en cerámicas piezoeléctricas, (1) antes de la polarización, (2) después de la polarización.

B. Análisis de la tecnología de energía fotovoltaica disponible en el mercado.

Como primer paso, con el objetivo de seleccionar la tecnología fotovoltaica de mejor desempeño, se realizó un análisis comparativo de las características técnicas, de los costos de implementación, y, de la capacidad de generación de energía de los paneles y las láminas solares, cuidando de que las condiciones de comparación sean similares.

Análisis de las características técnicas

En el marco de este proyecto, se comparó dos tecnologías de fácil acceso en el mercado local; un panel fotovoltaico monocristalino tipo PV-MJT245GB [68], de la empresa Mitsubishi, y, una lámina fotovoltaica Power FLEX BIPV 250/300 W [69], de la empresa Global Solar. La tabla 4, resume las características técnicas de cada tecnología.

Tabla 4.
Características técnicas de los paneles PV-MJT245GB y láminas fotovoltaicas PowerFLEX BIPV 250/300 W.

Parámetro	PV-MJT245GB	Power FLEX BIPV 250/300 W
Capacidad	245 Wp	300Wp
Dimensiones	1658 x 994 x 46 mm	5745 x 495 x 3 mm
Peso	20 kg	9.9 kg
Tiempo de vida estimado	aproximadamente de 25 a 30 años	aproximadamente de 20 a 25 años
Tipo de célula	60 células solares de silicio monocristalino, 156 x 156 mm, conectadas en serie	108 CIGS células (210 x 100 mm)
Eficiencia	14,56%	12.5%
Tensión nominal	37 V	53.9 V

El análisis de las características técnicas de estas tecnologías fotovoltaicas, muestra la similitud de condiciones de trabajo, con una gran diferencia en su peso: la lámina fotovoltaica es 49,5% más ligera que el panel fotovoltaico, lo que omite la necesidad de reforzar estructuras para su colocación.

Análisis de costos de implementación

Para comparar los costos de implementación de cualquiera de las dos tecnologías fotovoltaicas, se consideró los costos de mantenimiento, los costos de explotación, y, los costos de instalación.

Los *costos de mantenimiento* se relacionan con los costos de limpieza de impurezas y polvo, durante la vida útil de cada tecnología fotovoltaica [70], y, se resumen en la Tabla 5. El mantenimiento de la lámina fotovoltaica se limita a la limpieza de las impurezas, y, se estima que los costos por este rubro se reducen a la tercera parte de lo se invertiría en el mantenimiento de un panel fotovoltaico. La principal razón es que la lámina prescinde de una estructura rígida a examinar continuamente.

Tabla 5

Costos de mantenimiento de los paneles PV-MJT245GB y láminas fotovoltaicas PowerFLEX BIPV 250/300 W.

Parámetro	PV-MJT245GB	PowerFLEX BIPV 250/300 W
Mantenimiento	Limpieza de los paneles Verificación de los elementos de sujeción y conexión Verificación del estado de degradación de los elementos constructivos de los paneles	Limpieza del polvo y suciedad
Período de mantenimiento	Cada dos meses	Cada dos meses o tres meses
Costo anual (USD)	600	200

Los *costos de explotación* consideran aquellos gastos en los que se incurre una vez que el sistema ha quedado implementado y entra en funcionamiento. En este caso, el uso de las tecnologías fotovoltaicas implica la reposición frecuente de baterías. La Tabla 6, resume los costos de explotación para cada una de las tecnologías. Los resultados preliminares muestran que las láminas solares Power FLEX BIPV, requieren de un mayor número de baterías para el almacenamiento de energía, en comparación con los paneles solares PV-MJT245GB.

Tabla 6

Costos de explotación de los paneles PV-MJT245GB y láminas fotovoltaicas PowerFLEX BIPV 250/300 W.

Parámetro	PV-MJT245GB	Power FLEX BIPV 250/300 W
Baterías	Arreglo de tres baterías de gel modelo S8D-SLD	Arreglo de cinco baterías de gel modelo S8D-SLD
Período de reposición	Cada diez años	Cada diez años
Costo aprox. en 20 años (USD)	1.974	3.290

Los *costos de implementación* incluyen gastos en materiales, mano de obra, y, dirección técnica, y, se resumen en la Tabla 7.

Tabla 7

Costos de implementación de los paneles PV-MJT245GB y láminas fotovoltaicas PowerFLEX BIPV 250/300 W.

PV-MJT245GB		PowerFLEX BIPV 250/300 W.	
Instalación (USD)	5.127	Instalación (USD)	5.256
Mantenimiento (USD)	600	Mantenimiento (USD)	200
Reposición de baterías (USD)	1.974	Reposición de baterías (USD)	3.290
Inversión total (USD)	7.701	Inversión total (USD)	8.746

La inversión en la instalación de cualquiera de las tecnologías fotovoltaicas es aproximadamente la misma, pero resulta conveniente trabajar con láminas fotovoltaicas, debido al bajo costo de implementación y flexibilidad.

Análisis de costos de generación.

Capacidad de generación de energía de la lámina fotovoltaica PowerFLEX BIPV 250/300 W

La capacidad diaria de producción de energía en las láminas, se aproximó a través de la expresión (11), considerando la variación del nivel de insolación en tres períodos cada día. Un primer período, entre 6h00 y 10h00, con una insolación del 50% de la normal. Un segundo período, entre 10h00 y 14h00 con el 100%, y, el tercero (14h00 a 18h00) con un 50%.

$$E_p = e * P * t \quad (11)$$

En dónde,

- E_p , es la energía producida por la lámina, Wh/día
- e , es nivel de insolación respecto a la normal, %.
- P , es la potencia pico de la lámina fotovoltaica, Wp
- t , es el tiempo de insolación, h

$$E_p = 0,5*(300)*4 + 0,8*(300)*4 + 0,5*(300)*4$$

$$E_p = 2.160 \text{ Wh/día}$$

Mediante la expresión (12), se aproximó la producción mensual de energía.

$$E_{pm} = m * E_p \quad (12)$$

En dónde,

- E_{pm} , es la energía producida por la lámina fotovoltaica en un mes, Wh/mes
- m , son los días que tiene un mes

$$E_{pm} = 30 * 2.160$$

$$E_{pm} = 64.800 \text{ Wh/mes}$$

Mediante la expresión (13), se aproxima la producción de energía anual.

$$E_{pa} = r * E_{pm} * a \quad (13)$$

En dónde,

Epa, es la energía producida por la lámina fotovoltaica en un año, Wh /año
r, es el porcentaje de estimado de variación de las condiciones normales de insolación, %
a, son los días del año

$$Epa = 0,75 * 64.800 \text{ Wh} * 365$$

$$Epa = 17739 \text{ KWh /año}$$

Estimando el tiempo de vida útil de lámina fotovoltaica en 20 años, mediante la expresión (14) se obtuvo la energía producida por la lámina en ese tiempo.

$$Et = tu * Epa \quad (14)$$

En dónde,

Et, es la energía producida por la lámina fotovoltaica considerando su tiempo de vida útil, Kwh
tu, es el tiempo de vida útil de la lámina fotovoltaica, años

$$Et = 20 * 17739 \text{ KWh}$$

$$Et = 354780000 \text{ Wh}$$

Considerando los costos de implementación y mantenimiento a lo largo de la vida útil de la lámina, el costo por KWh generado es del orden de los USD 0,02.

Capacidad de generación de energía del panel fotovoltaico PV-MJT245GB

La capacidad diaria de producción de energía en los paneles, se aproximó a través de la expresión (15), considerando la variación del nivel de insolación en tres períodos cada día. Un primer período, entre 6h00 y 10h00, con una insolación del 50% de la normal. Un segundo período, entre 10h00 y 14h00 con el 100%, y, el tercero (14h00 a 18h00) con un 50%.

$$Epf = e * P * t \quad (15)$$

En dónde,

Epf, es la energía producida por el panel, Wh/día
e, es nivel de insolación respecto a la normal, %.
P, es la potencia pico de la lámina fotovoltaica, Wp
t, es el tiempo de insolación, h

$$Epf = 0,5 * (245) * 4 + 0,8 * (245) * 4 + 0,5 * (245) * 4$$

$$Epf = 1.764 \text{ Wh/día}$$

Mediante la expresión (6), se aproximó la producción mensual de energía.

$$Epm = m * Epf \quad (16)$$

En dónde,

Epfm, es la energía producida por el panel fotovoltaico en un mes, Wh/mes
m, son los días que tiene un mes

$$Epfm = 30 * 1.764$$

$$Epfm = 52.920 \text{ Wh/mes}$$

Mediante la expresión (7), se aproxima la producción de energía anual

$$Epfa = r * Epfm * a \quad (17)$$

En dónde,

Epfa, es la energía producida por el panel fotovoltaico en un año, Wh /año
r, es el porcentaje de estimado de variación de las condiciones normales de insolación, %
a, son los días del año

$$Epfa = 0,75 * 52.920 \text{ Wh} * 365$$

$$Epfa = 14487 \text{ KWh}$$

Estimando el tiempo de vida útil del panel fotovoltaico en 20 años, mediante la expresión (18) se obtuvo la energía producida por el panel en ese tiempo.

$$Etpf = tu * Epfa \quad (18)$$

En dónde,

Etpf, es la energía producida por el panel fotovoltaico considerando su tiempo de vida útil, Kwh
tu, es el tiempo de vida útil del panel fotovoltaico, años

$$Etpf = 20 * 14487 \text{ K Wh}$$

$$Etpf = 289740000 \text{ Wh}$$

Considerando los costos de implementación y mantenimiento a lo largo de la vida útil del panel fotovoltaico, el costo por KWh generado es del orden de los USD 0,03.

C. Análisis de las tecnologías de energía eólica disponible en el mercado

Análisis de las características técnicas

Para efectos de análisis, dada la disponibilidad en el mercado y las posibilidades de abastecer los distintos requerimientos de

energía en las islas, se consideró el aerogenerador vertical turbina TIMAR 600W [71], cuyas características técnicas se detallan en la Tabla 8.

Tabla 8

Características técnicas del aerogenerador vertical turbina TIMAR 600W.

Diámetro de la hélice	1,32 m
Potencia nominal	750W /1000Wmáx.
Velocidad de arranque	1 m/s
Velocidad de potencia nominal	2 m/s
Voltaje de salida	DCV12/24V
Altitud de la torre	9-12 m
Método de carga	Banco de baterías 100 Ah

Análisis de los costos de implementación

Los **costos de mantenimiento** del aerogenerador, detallados en la Tabla 9, incluyen la comprobación, la limpieza, y, la lubricación de todas las partes giratorias, durante la vida útil.

Tabla 9

Costos de mantenimiento del aerogenerador vertical turbina TIMAR 600W.

Mantenimiento	Limpieza y lubricación de las hélices	anual
	Limpieza de las partes fijas del aerogenerador	
	Lubricación del generador	
Período de mantenimiento	de	anual
Costo anual (USD)		200

Los **costos de implementación** incluyen gastos en materiales, mano de obra, y, dirección técnica, y, se resumen en la Tabla 10.

Tabla 10

Costos de implementación del aerogenerador vertical turbina TIMAR 600W.

Instalación	Aerogenerador (USD)	3.000
	Banco de baterías (USD)	658
	Modelo SB700USBD (USD)	1.540
	Obra civil (USD)	400
	Instalaciones eléctricas	300
	Costo aproximado de la instalación (USD)	5.898

La Tabla 11 detalla los **costos de explotación**, que incluyen la reposición de baterías para un periodo de 15 años, tiempo de vida útil de aerogenerador.

Tabla 11

Costos de explotación del aerogenerador TIMAR.

Baterías	Banco de baterías
Período de reposición	Cada diez años
Costo aprox. en 15 años (USD)	1316

La tabla 12, resume los **costos totales** al trabajar con aerogeneradores del tipo seleccionado.

Tabla 12

Costos de implementación del sistema.

Instalación (USD)	5.898
Mantenimiento (USD)	200
Reposición de baterías (USD)	1.316
Inversión total (USD)	7.414

Análisis de la capacidad de generación

En ausencia de un mapa eólico del Ecuador, la capacidad diaria de producción de energía en el aerogenerador, se aproximó a través de la expresión (19).

$$E_a = P * t \quad (19)$$

En dónde,

- E_a , es la energía producida el aerogenerador, Wh/día
- P , es la potencia nominal de aerogenerador, Wh
- t , es el tiempo de funcionamiento del aerogenerador, h

$$E_a = 750 * 8h$$

$$E_a = 6 \text{ KWh/día}$$

Mediante la expresión (20), se estimó la producción de energía mensual.

$$E_{am} = E_a * m \quad (20)$$

En dónde,

- E_{am} , es la energía producida en un año por el aerogenerador, KWh
- m , son los día que tiene un mes

$$E_{am} = 6.000 \text{ Wh} * 30$$

$$E_{am} = 18 \text{ KWh/mes}$$

Mediante la expresión (21), se estimó la producción de energía anual.

$$E_{anual} = r * E_{am} * a \quad (21)$$

En dónde,

- E_{anual} , es la producción anual estimada en un año de funcionamiento del sistema Wh /año
- r , es el porcentaje estimado de funcionamiento del sistema, %
- a , son los días del año.

$$E_{anual} = 0,50 * 18 \text{ KWh} * 365$$

$$E_{anual} = 3.285 \text{ K Wh /año}$$

Considerando los costos de implementación y mantenimiento a lo largo de la vida útil del aerogenerador, el costo por KWh generado es del orden de los USD 0,23.

D. Análisis de las tecnologías de energía piezoeléctrica disponible en el mercado

Análisis de las características técnicas y financieras

Dentro del marco del proyecto, se consideró la posibilidad de adquirir un sistema de baldosas piezoeléctricas PowerFloor [72], de la empresa Powerleap. La tabla 13 detalla las características técnicas de las baldosas.

Tabla 13
Características de las baldosas piezoeléctricas PowerFloor

Dimensiones	0,50m x 0,50m x 0,085m
Desplazamiento	10mm
Voltaje de salida	48VDC
Resistente al agua	IP68
Vida útil estimada	10 años

Los *costos de mantenimiento* de sistema de baldosas piezoeléctricas, detallados en la Tabla 14, incluyen la comprobación, y la limpieza de las baldosas, durante la vida útil del módulo piezoeléctrico.

Tabla 14
Costos de mantenimiento baldosas piezoeléctricas PowerFloor.

	Limpieza de impurezas y suciedad.
Período de mantenimiento	anual
Costo anual (USD)	200

Los *costos de implementación* incluyen gastos en materiales, mano de obra, y dirección técnica. La tabla 15, resumen los costos de implementación de un sistema de baldosas piezoeléctricas.

Tabla 15
Costos de implementación baldosas piezoeléctricas PowerFloor.

Instalación (USD)	37.316
Mantenimiento (USD)	200
Inversión total (USD)	37.516

Energía producida por el módulo piezoeléctrico

Se calculó la energía producida por la baldosa piezoeléctrica, en un día, mediante la expresión (22).

$$E_p = N * P_i * t \quad (22)$$

En dónde,

- E_p , es la energía piezoeléctrica producida por la baldosa.
- N , es el número de pisadas estimadas en un minuto.
- P_i , es la potencia generada por pisada
- t , es el tiempo estimado de uso de la cerámica al día, (120 minutos)

$$E_p = 70 * 5W * 120$$

$$E_p = 42.000 \text{ Wh}$$

Mediante la expresión (23), se determinó la energía producida un mes.

$$E_{pm} = E_p * dl \quad (23)$$

En dónde,

- E_{pm} , es la energía producida en una semana
- dl , son los días del mes considerados laborables

$$E_{pm} = 42.000 \text{ Wh} * 20$$

$$E_{pm} = 840 \text{ KWh/mes}$$

Mediante la expresión (24), se determinó la energía producida en un año. Como el sistema se va a integrar en el nuevo campus UTPL, se consideró un año académico de 195 días.

$$E_{pa} = E_p * dl \quad (24)$$

En dónde,

- E_{pa} , es la energía producida por la baldosa piezoeléctrica en un año
- dl , son los días laborables del año

$$E_{pa} = 840 \text{ KWh} * 195 \text{ días.}$$

$$E_{pa} = 164 \text{ MWh/año}$$

Mediante la expresión (25), se determinó la energía producida en el tiempo de vida útil de la baldosa piezoeléctrica.

$$E_{pt} = E_{pa} * v_u \quad (25)$$

En dónde,

- E_{pt} , es la producción de energía eléctrica, considerando el tiempo de vida útil del sistema.
- v_u , el tiempo de vida útil del sistema.

$$E_{pt} = 164 \text{ MWh} * 5 \text{ años}$$

$$E_{pt} = 820 \text{ MWh}$$

Considerando los costos de implementación y mantenimiento a lo largo de la vida útil del sistema de baldosas piezoeléctricas, el costo por KWh generado es del orden de los USD \$1,06.

E. Sistema híbrido propuesta para la potenciación de las islas de descanso

Diseño Base

Para efectos de este proyecto, se consideró el diseño de una isla de descanso mostrado en la Fig. 9. En una isla, los profesionales en formación y el personal de la UTPL, puedan disfrutar del medio ambiente, en un área aproximada de 15 m².



Fig. 9. Diseño básico de una isla de descanso. <http://depuertoricopalmundo.blogspot.com/2011/03/ideas-para-parques-eco-amigables.html>

La potencia requerida por isla, se determinó en base al número de luminarias a instalar, al requerimiento de potencia en las tomas a instalar, y, a una reserva de energía del orden del 66% para cubrir eventualidades. El requerimiento total de energía para la isla, se determinó en 2.660 Wh/día.

Como resultado del análisis de las tecnologías de energía renovable disponibles en el mercado, se propuso tres sistemas híbridos para suplir la energía requerida en las islas: lámina fotovoltaica – aerogenerador, lámina fotovoltaica – piezogenerador, y, harvesting de energía humana (parque biosaludable).

Sistema híbrido láminas fotovoltaica – aerogenerador

La Fig. 10 muestra el esquema general de la instalación de un sistema híbrido energía solar - energía eólica. El sistema consta de dos componentes: fotovoltaico y eólico.

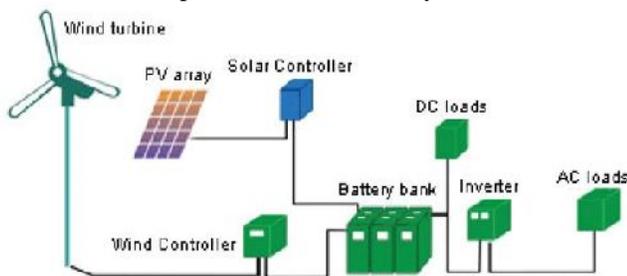


Fig. 10 Esquema general de un sistema híbrido solar – eólico. <http://www.addnew.com.hk/Small%20Wind%20Generators/Products/Wind%20Solar%20hybrid%20systems/hybrids-connect.jpg>

Debido a los altos niveles de irradiación en el Ecuador (aproximadamente una media diaria de 4,2 kWh/m²) el aprovechamiento del recurso solar [72] es una alternativa viable. De acuerdo a las características de la zona, es conveniente estimar el componente fotovoltaico para que provea un 80% de la energía total de la isla, y, al aerogenerador para que aporte el 20% restante. Se prevé la inclusión de un banco de baterías para almacenar la energía, asegurando la autonomía del sistema.

Componente fotovoltaico del sistema

Para el componente fotovoltaico del sistema, se seleccionó las láminas PowerFLEX BIPV, fabricadas por la empresa Global Solar. Las láminas seleccionadas utilizan 108 células de copper indium gallium selenide (CIGS), de alta eficiencia para transformar la energía de la radiación solar en energía eléctrica de corriente continua, y, proporcionan 300 Wp en condiciones estándares (1000 W/m² de irradiación, y, 25°C de temperatura en las células).

Para dimensionar el componente fotovoltaico del sistema, se consideró la cantidad de energía recibida del Sol (radiación solar), y, la demanda diaria de energía, aplicando la metodología de cálculo recomendada en el Atlas Solar del Ecuador, editado por el CONELEC [73].

Con ayuda de la expresión (26), se transformó la **carga total requerida** del formato CA a CD, multiplicando la carga total en CA (CT_{ca}) por un factor de 1,05 para cubrir un 5% de pérdidas en el proceso de conversión:

$$CT_{cd} = CT_{ca} * 1,05 \quad (26)$$

$$CT_{cd} = 2.660 \frac{Wh}{día} * 1,05$$

$$CT_{cd} = 2.793 \frac{Wh}{día}$$

La **intensidad de corriente diaria** I_{cc} , en formato CD, se calculó a través de la expresión como (27), conociendo la carga total diaria y la tensión de la lámina fotovoltaica:

$$I_{cc} = \frac{CT_{cd}}{v_{cd}} \quad (27)$$

$$I_{cc} = \frac{2.793}{53,9}$$

$$I_{cc} = 51,82 \text{ Ah}$$

El valor de la **corriente corregida** I_{cca} , se obtuvo al multiplicar el valor de I_{cc} por un factor de seguridad equivalente al 5%, empleando la expresión (28):

$$I_{cca} = I_{cc} * 1,05 \quad (28)$$

$$I_{cca} = 51,82 * 1,05$$

$$I_{cca} = 54,41Ah$$

La **corriente pico** I_p , se obtiene de la fórmula (29), considerando que de acuerdo a la radiación solar media I_{ccm} en Loja, es del orden de 4,84 KWh/m²/día:

$$I_p = \frac{I_{cca}}{I_{ccm}} \quad (29)$$

$$I_p = \frac{54,41}{4,84KWh/m^2/día}$$

$$I_p = 11,242 A$$

Conociendo la corriente pico I_p del módulo fotovoltaico, y, la corriente pico de cada lámina fotovoltaica I_{pm} (5,6A), se calculó el **número requerido de láminas** N_{mf} , de acuerdo a la expresión (30). Como resultado se obtuvo que para cubrir la demanda proyectada de energía en cada una de las islas, se requiere conectar en paralelo 2 láminas fotovoltaicas del tipo seleccionado. La Tabla 16, resume el proceso de dimensionamiento del componente fotovoltaico del sistema.

$$N_{mf} = \frac{I_p}{I_{pm}} \quad (30)$$

$$N_{mf} = \frac{11,242}{5,6}$$

$$N_{mf} = 2,007$$

Tabla 16

Dimensionamiento del componente fotovoltaico del sistema, para un voltaje de salida de la lámina fotovoltaica de 53.9 V

Carga total en alterna (Wh por día)	CTca (Wh)	2.660
Carga total en continua (Wh por día)	CTcc (Wh)	2.793
Tensión del sistema	Vcc (V)	53.9
Intensidad de corriente del sistema	Icc (A)	51,82
intensidad de Corriente corregida	Icca (Ah)	54,41
Radiación solar	KWh/m ² /día	4,84
corriente pico del sistema	I _p (A)	11,242
corriente de la lámina fotovoltaico	I _{pm} (A)	5,6
Número requerido de láminas	(u)	2

Se estima que la utilización de láminas solares en las islas, podría sostener una producción anual de 767 KWh de energía, con la consecuente no emisión de 2,84 toneladas métricas de dióxido de carbono, que se emiten por KWh de electricidad generada de la manera tradicional [74].

Dimensionamiento del banco de baterías

Para calcular el número de baterías necesarios para almacenar la energía [75], se empleando la expresión (31), el tiempo de autonomía en este caso se eligió 3 días por las características de la zona, la capacidad de almacenamiento es de 108 Ah equivalente a 1300 Wh, el valor de descarga viene dado por el fabricante y se ubicó en 0,5:

$$N_B = \frac{Em * Ta}{Alm * Cm} \quad (31)$$

En dónde,

N_B , es el número de baterías, Wh
 Em , carga energética máxima producida
 Ta , es el tiempo de autonomía del sistema en ausencia de radiación
 Alm , Capacidad de almacenamiento de la batería, Wh
 Cm , e s el valor de descarga.

$$N_B = \frac{3.100Wh * 3}{1300Wh * 0,5}$$

$$N_B = 14,30$$

$$N_B \approx 14$$

Componente eólico del sistema

Para el componente eólico del sistema, se consideró el aerogenerador vertical turbine TIMAR 1.000W. Cada aerogenerador puede incluir, un controlador de carga que dispone de indicadores de voltaje y corriente, y, un disipador de energía que se activará cuando la batería este totalmente cargada. Está probado que el uso de este tipo de aerogenerador, reduce las emisiones anuales de CO₂ entre 1550 y 3150 Kg, de acuerdo a la intensidad de uso.

Funcionamiento integrado del sistema híbrido

El sistema híbrido propuesto estaría constituido por dos láminas fotovoltaicas PowerFLEX BIPV 250/300 W, un aerogenerador 1KW, y, un banco de trece baterías de gel tipo SV6GC-SLD-G para storage de energía.

El sistema tendría la capacidad de generar un promedio de 3100 Wh/día, con una producción anual estimada de 1MWh, y, la no emisión de 4.2 toneladas métricas de dióxido de carbono.

Sistema híbrido lámina fotovoltaica- generador piezoeléctrico

El sistema consta de dos componentes: fotovoltaico y un sistema de 24 baldosas piezoeléctricas. Teniendo en consideración que los módulos piezoeléctricos son una nueva tecnología de baja capacidad de generación eléctrica, se dimensionó el componente fotovoltaico en tres láminas, que generarían aproximadamente 3.150 Wh/día, lo que abastecería la demanda energética en la isla, al componente piezoeléctrico se lo dejaría para reservas en el sistema.

Componente piezoeléctrico.

Para efectos del proyecto, se seleccionó baldosas piezoeléctricas de la empresa Powerleap, construidas en base a materiales reciclados. Cada baldosa tiene una geometría de 50cm x 50cm x 2cm, y, se mueve alrededor de 2 mm por debajo del pie al ser deformada. El kit básico ofertado,

contiene una barra integrada LED para visualizar la energía aportada en cada pisada.

Para efectos de este proyecto, se consideró que el área útil de la isla es del orden de 6 m². Por cuanto, cada baldosa cubre un área de 0,25 m², utilizando la expresión (32) [76] se determinó que se requerirá de 24 baldosas para capturar energía en toda el área útil.

$$N_b = \frac{S_c}{S_b} \quad (32)$$

En dónde,

N_b , es el número de baldosas
 S_c , es la superficie a cubrir, m²
 S_b , es la superficie de la baldosa, m²

$$N_b = \frac{6}{0,25}$$

$$N_b = 24$$

De acuerdo al fabricante, cada paso genera en promedio 5J de energía eléctrica. Si en un día normal, 200 personas pisan cada uno de las 24 baldosas, se generaría entonces 24000 J de energía, ó, 2433Wh por año [77].

Funcionamiento integrado del sistema híbrido

El sistema híbrido propuesto estaría conformado por tres láminas fotovoltaicas PowerFLEX BIPV 250/300 W, 24 baldosas powerfloor, mediante la expresión (21) se determinó el sistema de storage para la isla, que comprende 15 baterías, necesarias para soportar la carga máxima estimada en la isla.

El sistema tendría la capacidad de generar un promedio de 3160 Wh/día, con una producción anual estimada de 1MWh, y, la no emisión de 4.2 toneladas métricas de dióxido de carbono.

Propuesta del Parque UTPL biosaludable

En la actualidad, los espacios al aire libre pueden incluir mobiliario que integra y estimula el ejercicio físico (Ver Fig.11). Los equipos instalados son de fácil manejo, gran versatilidad, y, escaso mantenimiento.

Estos equipos no sólo cubren una necesidad social, al favorecer el ejercitamiento y propiciar el cuidado de la salud, sino que también pueden ser modificados para capturar la energía humana y aprovecharla para una serie de aplicaciones como el bombeo de agua, la activación de sistemas de riego, o, la generación de energía eléctrica para iluminar determinadas zonas del nuevo campus UTPL [78]. El desarrollo de una investigación sobre el aprovechamiento propuesto de los espacios al aire libre, es tema de un futuro trabajo.



Fig. 11. Esquema de un parque biosaludable. <http://gruposalem.com/parquebio.htm>

VI. DISEÑO DE UNA ESTACIÓN EXPERIMENTAL PARA EL ESTUDIO DE LA OPERACIÓN Y DESEMPEÑO DE BALDOSAS PIEZOELÉCTRICAS

En el marco de ese trabajo, se evaluó la incorporación de fuentes renovables al abastecimiento de energía en la gestión y operación de las áreas externas del campus, partiendo de diseños existentes. Entre la tecnología evaluada, especial interés presenta la generación piezoeléctrica, que facilita el harvesting de energía en las más diversas actividades humanas.

Sobre la base de la información de la bibliografía, se logró determinar el principio de funcionamiento, y, la metodología de dimensionamiento de un sistema piezoeléctrico, pero no se han resuelto una serie de preguntas relacionadas a la operación y desempeño del sistema, razón por la cual se ha sugerido el diseño de una estación experimental que permita obtener respuestas a las interrogantes planteadas. Este trabajo, recoge los resultados obtenidos en el diseño de ese módulo experimental.

A. Requerimientos de Diseño

En el marco de este proyecto, se propone diseñar una estación experimental para el estudio de la operación y desempeño de un sistema de generación eléctrica basada en el uso de baldosas piezoeléctricas.

La estación experimental propuesta deberá poseer una infraestructura base y la instrumentación adecuada, para permitir al menos tres tipos de análisis: operación y desempeño de los esquemas posibles de interconexión de las baldosas, operación y desempeño de las opciones potenciales de storage de energía, y, la operación y desempeño del sistema ante distintos tipos de carga (Ver Fig.12).



Fig. 12. Diagrama funcional del módulo experimental a implementar.

B. Análisis de la operación y desempeño de los esquemas posibles de interconexión de las baldosas piezoeléctricas

El módulo de experimentación deberá permitir el análisis de tres tipos diferentes de interconexión de las baldosas piezoeléctricas: serie, paralelo, y mixto. Desde esta perspectiva, se requiere de al menos tres baldosas piezoeléctricas.

Como referencia preliminar, el diseño se basó en las características de las baldosas piezoeléctricas PowerFloor de la compañía PowerLeap (ver Fig. 13), cuyas características técnicas se muestran en la tabla 17.

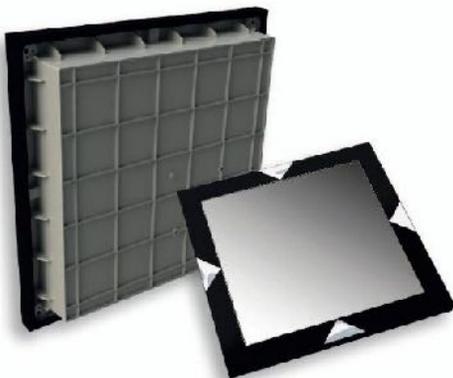


Fig. 13. Módulos PowerFloor.

Tabla 17

Características técnicas de las Baldosas Piezoeléctricas.

Dimensiones	500 mm x 500 mm x 85mm
Desplazamiento	2 - 10 mm
Potencia Máxima	5 W
Voltaje de Salida	48 VDC
Carga Máxima	100 KN
Funcionamiento	Inducción electromagnética
Vida útil	10 años o 30 millones de pasos
Eficiencia	12.6%
Tensión nominal	53,9 V

Considerando opciones de ampliaciones futuras, se planteó la elaboración de una plataforma, construida como una matriz de 9 módulos, distribuidos en un arreglo de 3 x 3. Tres de estos módulos serán ocupados por baldosas piezoeléctricas, y, los 6 restantes serán módulos falsos. Las figuras 14, 15, y, 16,

muestran los esquemas de conexión de las baldosas en la plataforma.

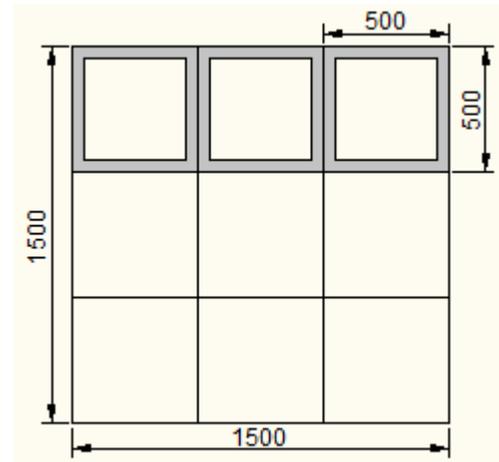


Fig. 14. Conexión en serie de las baldosas piezoeléctricas en la plataforma de la estación experimental.

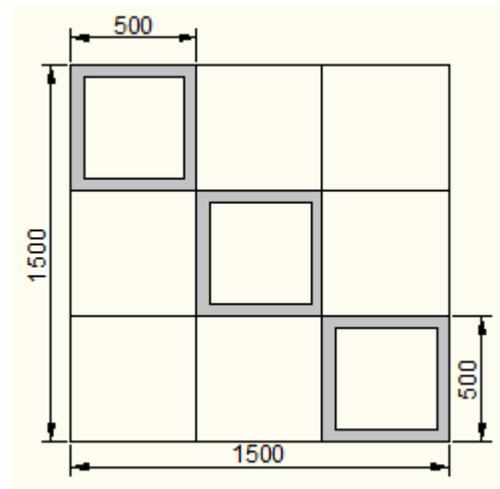


Fig. 15. Conexión en paralelo de las baldosas piezoeléctricas en la plataforma de la estación experimental.

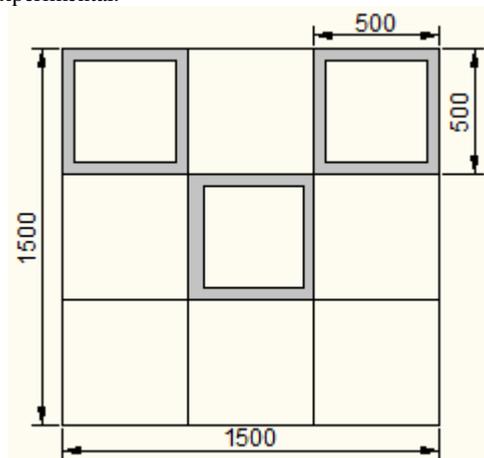


Fig. 16. Conexión mixta de las baldosas piezoeléctricas en la plataforma de la estación experimental.

C. Instrumentación requerida para la estación de experimentación

Analizar la operación y desempeño del sistema de generación piezoeléctrica, implica medir la capacidad de generación de energía del sistema, para lo cual se requiere de registros temporales de voltaje y amperaje.

En el marco de este proyecto, se sugiere el uso de un multímetro Fluke 8845A (ver Fig. 17), cuyas características técnicas se muestran en la tabla 18 [79].

Tabla 18

Características técnicas multímetro Fluke 8845A.

Resolución	6,5 dígitos
Rango VDC	100 mV – 1000 V (100 nV)
Rango VAC	100 mV – 750 V (100 nV)
Precisión	0,0035 + 0,0005 (% measurement + % of range)
Rango de corriente	100 μ A a 10 A
Corriente DC / AC	11 A/1000 V 440 mA/1000 V



Fig. 17. Multímetro Fluke modelo 8845A. Disponible en: <http://www.fluke.com/fluke/eces/Instrumentos-para-Bancos-de-Trabajo/Mult%C3%ADmetros-de-banco/8845A-8846A.htm?PID=55451>

Para registrar la potencia de generación, se puede utilizar un vatímetro tipo PCE – PA 6000 (Ver Fig. 18) cuyas características técnicas se indican en la tabla 19 [80].

Tabla 19

Características técnicas vatímetro PCE – PA 6000.

Características de medición	Medición de potencia efectiva y aparente, mantenimiento de valores, medición del factor de potencia.
Conexión a Pc	RS232
Alimentación	A través de la red eléctrica o baterías.
Rango	200 / 1000 DCA / ACA
Precisión	$\pm 1,5 / 2 \%$



Fig. 18. Vatímetro PCE – PA 6000. Disponible en: <http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/instrumento-de-electricidad/analizador-potencia-pce-pa6000.htm>

D. Análisis de la operación y desempeño de las distintas opciones de storage de energía

La utilización del sistema piezoeléctrico para potenciar aplicaciones que necesitan de alimentación constante, requiere del uso de un sistema de storage de energía.

Existen diversos esquemas para guardar energía, pero en el marco de este proyecto, se analizará la operación y desempeño de un sistema de storage basado en la utilización de baterías de descarga de ciclo profundo, como la batería modelo 12-CS-11PS (Ver Fig. 19), cuya información técnica se detalla en la tabla 20 [81].



Fig. 19. Batería 12-CS-11PS. Disponible en: <http://www.sunelec.com/surette-rolls-battery-12-volt-357-amp-hour-12cs11ps-p-565.html>

Tabla 20

Características técnicas Batería 12-CS-11PS

Voltaje	12 V
Corriente	17,9 A
Consumo interno	10 mA
Capacidad	357 Ah
Ciclos	3200

Para controlar el proceso de carga de la batería, se requiere de un regulador de carga, se seleccionó el modelo C0190 (ver Fig. 20), cuyas características se muestran en la tabla 21 [82].

Tabla 21

Características técnicas Regulador de carga C0190

Potencia Máxima	55 W (4 A)
Tipo de instalación	12V
Tensión de Carga	13,8 V
Consumo interno	3 mA
Temperatura de trabajo	-10 a 40 °C



Fig. 20. Regulador de Carga. Disponible en: <http://www.electroindustrial.com/solar/reguladores/c0190.htm#descripcion>

E. Análisis de la operación y desempeño del sistema con distintas cargas

Un sistema de generación piezoeléctrica proporciona energía en formato CD. Esta energía puede alimentar directamente una carga CD, o, a través de un inversor una carga AC.

Para efectos de este proyecto, el sistema alimentará dos salidas. La primera, permitirá monitorear en forma gráfica la cantidad de energía generada. La segunda estará disponible para utilizarla en diversas aplicaciones.

El monitoreo de la energía generada, se realizará a través de una pantalla Samsung SyncMaster 933 (Ver Fig. 21), en la que se mostrará una interface similar a la indicada en la figura 22.



Fig. 21. Pantalla Samsung SyncMaster 933. Disponible en: <http://reviews.cnet.com>



Fig. 22. Interface de usuario para monitoreo de la energía generada por el sistema.

F. Integración de la estación experimental

La estación experimental integrada, un esquema general de la estación de experimentación se bosqueja a través en la figura 23.

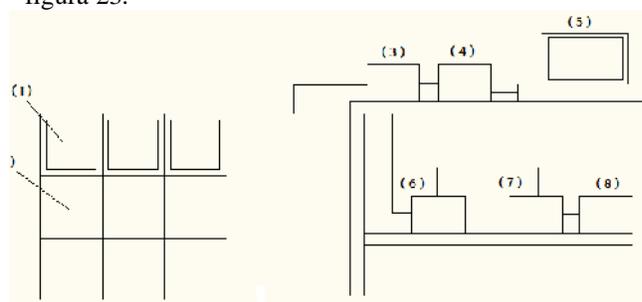


Fig. 23. Estación experimental para el estudio de la operación y desempeño de baldosas piezoeléctricas: 1, Módulos PowerFloor. 2, Baldosas Falsas. 3, Multímetro. 4, Vatímetro. 5, Computador. 6, Regulador de Carga. 7, Batería. 8, Inversor de Voltaje

G. Costos para la instalación del sistema

La tabla 22, resume el costo aproximado de la implementación de la estación experimental

Tabla 22
Costo de implementación del sistema

Descripción	Cantidad	Valor unitario (USD)	Total (USD)
Armazón para el sistema	1	120	120
Kit de 3 baldosas Piezoeléctricas PowerFloor 1 multímetro de medición •3 transmisores inalámbricos 1 software de medición 1 lámpara LED inalámbrica 1 paquete de software USB con instrucciones y materiales de presentación PowerLeap	1	9.600	9.600
Multímetro	1	250	250
Baldosas falsas	1	25	25
Vatímetro	1	350	350
Regulador de Carga	1	40	40
Pantalla Samsung Sync Master 933	1	190	190
Batería 12-CS-11PS	1	1.900	1.900
Subtotal			12.475
Imprevistos, 10%			1.248
Total (USD)			13723

VII. CONCLUSIONES

- En 1989, la Universidad de California en Los Ángeles, UCLA, marcó un precedente al introducir el concepto de “valoración del impacto ambiental” en la gestión y operación de su campus. Como resultado, se formuló una política institucional con visión ambiental.
- Este fue el punto de partida para lo que, en los años noventa, se denominó “ambientalización de la universidad”. Muchas universidades incluyeron prácticas medioambiente-amigables en su gestión, e, impulsaron un proceso de internacionalización del compromiso universitario con el medio ambiente y el desarrollo sustentable.
- Esta internacionalización dio lugar a la firma de declaraciones como la de Talloires y muchas otras, que se han convertido en referencias para el accionar de las universidades en la formación de profesionales, en la investigación, y, en la adopción de medidas para la gestión sustentable de sus campus.
- La experiencia latinoamericana en la gestión sustentable del campus universitaria es reciente y diversa. Existen experiencias enmarcadas en esfuerzos propios de cada institución, y, algunos de cooperación internacional.

- En el Ecuador, el marco jurídico existente respalda y obliga a las universidades en la ejecución de programas formativos, de investigación, y, de demostración, que permitan cambiar el paradigma social en relación a la energía.
- En este marco, algunas universidades han propuesto iniciativas relacionadas a las energías renovables (no convencionales), sin llegar a incluirlas en la gestión del campus universitario. Existen propuestas de investigación que abordan el tema de desarrollo sustentable del campus, pero hace falta el desarrollo y demostración, que comprometa a la comunidad universitaria a dimensionar, asumir, y, minimizar el impacto ambiental de las instalaciones de la institución.
- Para proyectar la demanda de energía en los exteriores el nuevo Campus UTPL, se ha definido cinco grupos de procesos que requieren ser abastecidos: iluminación de vías de circulación, iluminación de islas de descanso, alimentación de tomas de fuerza en las islas, alimentación de señalética y anuncios, y, alimentación de obras de paisajismo.
- La selección de fuentes de energía renovable potencialmente utilizables para abastecer de energía a los exteriores del nuevo Campus San Cayetano de la UTP, se basó en tres condiciones: aplicabilidad, disponibilidad, y, requerimientos de instalación y explotación.
- Como opción para abastecer de energía a las vías de circulación, se identificó a la energía solar.
- Las opciones seleccionadas para la iluminación en las vías de circulación y senderos son completamente autónomas del sistema eléctrico tradicional.
- La demanda proyectada de energía en las islas, ubicadas a lo largo del nuevo Campus, incluye la iluminación de la isla, y, la potenciación de las tomas de fuerza, y, alcanza el valor de 2.660 W.
- Una oportunidad de optimización del consumo de energía en iluminación interior de la isla es el uso de luminarias tipo LED.
- El sistema de riego seleccionado, por goteo ahorra en un 70% el consumo de agua, en comparación a los sistemas tradicionales.
- Analizando las características técnicas de las tecnologías fotovoltaicas, muestra similitudes de condiciones de trabajo, con una gran diferencia en su peso: la lámina fotovoltaica es 49,5% más ligera que el panel fotovoltaico, lo que omite la necesidad de reforzar estructuras para su colocación.
- El mantenimiento de la lámina fotovoltaica se limita a la limpieza de las impurezas, y, se estima que los costos por este rubro se reducen a la tercera parte de lo se invertiría en el mantenimiento de un panel fotovoltaico.
- La inversión en la instalación de cualquiera de las tecnologías fotovoltaicas es aproximadamente la misma, pero resulta conveniente trabajar con láminas

fotovoltaicas, debido al bajo costo de implementación y flexibilidad.

- Considerando los costos de implementación y mantenimiento a lo largo de la vida útil de la lámina, el costo por KWh generado es del orden de los USD 0,02.
- Considerando los costos de implementación y mantenimiento a lo largo de la vida útil del panel fotovoltaico, el costo por KWh generado es del orden de los USD 0,03.
- Considerando los costos de implementación y mantenimiento a lo largo de la vida útil del aerogenerador, el costo por KWh generado es del orden de los USD 0,23
- Considerando los costos de implementación y mantenimiento a lo largo de la vida útil del sistema de baldosas piezoeléctricas, el costo por KWh generado es del orden de los USD \$1,06, siendo el KWh más costoso de las tres energías renovables analizadas.
- La potencia requerida por isla, se determinó en base al número de luminarias a instalar, al requerimiento de potencia en las tomas a instalar, y, a una reserva de energía del orden del 66% para cubrir eventualidades
- De acuerdo a las características de la zona, es conveniente estimar el componente fotovoltaico para que provea un 80% de la energía total de la isla, y, al aerogenerador para que aporte el 20% restante
- Para el componente fotovoltaico del sistema, se seleccionó las láminas PowerFLEX BIPV, fabricadas por la empresa Global Solar. Las láminas seleccionadas utilizan 108 células de copperindiumgalliumselenide (CIGS), de alta eficiencia para transformar la energía de la radiación solar en energía eléctrica de corriente continua.
- Se estima que la utilización de láminas solares en las islas, podría sostener una producción anual de 767 KWh de energía, con la consecuente no emisión de 2,84 toneladas métricas de dióxido de carbono.
- Teniendo en consideración que los módulos piezoeléctricos son una nueva tecnología de baja capacidad de generación eléctrica, se dimensionó el componente fotovoltaico en tres láminas, que generarían aproximadamente 3.150 Wh/día.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- [1] No se reconoce autor. "Manual del uso de la energía solar". Disponible en línea: <http://www.cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/73bib_arch.pdf> [Consulta 18 de enero de 2012].
- [2] R. Conde, O. González, and E. Mendieta, "Hacia una Gestión Sustentable del Campus Universitario", México, 2008
- [3] J. Pierce, E. Paulos. "MaterialingEnergy". USA.
- [4] No se menciona Autor. "RenewableEnergy". Disponible en línea:<<http://www.eere.energy.gov/basics/glossary.html#R>>[Consulta enero del 2012].
- [5] EIA. "EnergyBasics". Disponible en línea:<<http://www.eia.gov/totalenergy/data/annual/showtext.cfm?t=ptb1002a>> [Consulta enero del 2012].
- [6] J. Fernández, F. Santos, M. Herrero, A. Crespo. "Energías renovables para el Desarrollo". México, 2007.
- [7] Gilman, Larry, (2010, Nov 15) "Energy Efficiency", Gale, Cengage Learning. Disponible en:<http://find.galegroup.com/gnr/infomark.do?&contentSet=E BKS&idigest=2af874b2262f5e4fad12e3860a960171&type=retrieve&tabID=T001&prodId=GRNR&docId=CX3079000097&eisbn=978-1-4144-37088&source=gale&userGroupName=utpl_cons&version=1.0> [Consulta de abril de 2011].
- [8] No se menciona Autor. "Declaración de Talloires". Disponible en:<http://portal.unesco.org/education/en/ev.php-URL_ID=37590&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html> [Consulta enero del 2012].
- [9] ULSF. "Declaración de Halifax". Disponible en:<http://www.ulsf.org/pub_declaration_curvol61.htm> [Consulta enero del 2012].
- [10] M. Keating. "THE RIO DECLARATION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (1992)". Disponible en :<http://www.unesco.org/education/information/nfsunesco/pdf/RIO_E.PDF> [Consulta enero del 2012].
- [11] Association of Commonwealth Universities. "Declaración de Swansea". Disponible en línea:<<http://www.iisd.org/educate/declarat/swansea.htm>> [Consulta enero del 2012].
- [12] No se menciona Autor."Declaración de Kioto". Disponible en:<http://www.uncrd.or.jp/env/est/docs/kyoto/kyoto_dec_34.pdf> [Consulta enero del 2012].
- [13] G. Curiel. "Declaración de Barbados". Disponible en:<<http://www.novosite.nl/editor/assets/unapublications/aanzetWEB-10.pdf>> [Consulta enero del 2012].
- [14] UNESCO. "DECLARATION OF THESSALONIKI". Disponible en:<<http://unesdoc.unesco.org/images/0011/001177/117772eo.pdf>> [Consulta enero del 2012].
- [15] No se menciona Autor. "UBUNTU DECLARATION On Education and Science and Technology for Sustainable Development". Disponible en:<<http://www.environment.gov.za/sustdev/documents/pdf/UbuntuDeclaration.pdf>> [Consulta enero del 2012].
- [16] No se menciona Autor. "Campus sustentable". Disponible en:<http://www.unlp.edu.ar/articulo/2008/6/25/plan_estrategico_de_desarrollo_sustentable> [Consulta enero del 2012].
- [17] No se menciona Autor. "Plan de desarrollo sustentable". Disponible en: <<http://www.bogota.unal.edu.co/>> [Consulta enero del 2012].
- [18] B. Gutiérrez, M. Martínez. "EL PLAN DE ACCIÓN PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE EN LAS INSTITUCIONES DE EDUCACIÓN SUPERIOR. ESCENARIOS POSIBLES". Disponible

- en:<<http://scielo.unam.mx/pdf/resu/v39n154/v39n154a6.pdf>> [Consulta enero del 2012].
- [19] UNAM. “*la ciudad universitaria y la energía*”. Disponible en: <<http://vesta.fi-b.unam.mx/index.html>> [Consulta enero del 2012].
- [20] No se menciona Autor. “Campus Sur y su contribución al desarrollo sustentable de Chile”. Disponible en:<http://www.agronomia.uchile.cl/?_nfpb=true&_pageLabel=notAgronomia&url=78182> [Consulta enero del 2012].
- [21] UBA. “Desarrollo sustentable”. Disponible en: <<http://www.uba.ar/>> [Consulta enero del 2012].
- [22] CZER.Zamorano.edu. [Online]. Disponible en: <<http://czer.zamorano.edu/acerca.html>>. [Consulta 20 enero de 2012].
- [23] No se reconoce autor. “Centro demostrativo de tecnologías d energía renovable”. Disponible en: <<http://lpz.ucb.edu.bo/Forms/Noticias/2011/Cartilla%20UACS.pdf>>. [Consulta 20 de enero de 2012]
- [24] Asambleanacional.gob.ec. [Online]. Disponible en: <<http://www.asambleanacional.gov.ec/documentos/Constitucion-2008.pdf>>. [Consulta 17 enero de 2012].
- [25] Asambleanacional.gob.ec. [Online]. Disponible en: <<http://documentacion.asambleanacional.gov.ec/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/eb888489-645d-43f1-b85d-2baa1f5d6afe/Ley%20Org%C3%A1nica%20Educaci%C3%B3n%20Superior>>. [Consulta 17 de enero de 2012]
- [26] meer.gov.ec. [Online]. Disponible en: <http://www.meer.gov.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=50&Itemid=74>. [Consulta 18 enero de 2012]
- [27] ESPOL. “Centro de desarrollo sustentable”. [Online] Disponible en:<<http://www.cdts.espol.edu.ec/>> [Consulta enero de 2012]
- [28] No se menciona Autor. “Desarrollo sustentable”. Disponible en:<<http://www.puce.edu.ec/>> [Consulta enero de 2012]
- [29] No se Menciona Autor. “Plan de desarrollo sustentable”. Disponible en: <http://www.epn.edu.ec/udc/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=201&Itemid=76> [Consulta enero de 2012]
- [30] unl.edu.ec. [Online]. Disponible en: <<http://aeirnnr.unl.edu.ec/energia/index.php/investigacion.html>> [Consulta 19 enero de 2012]
- [31] No se menciona Autor. “La ciudad del conocimiento, La ciudad del conocimiento, Yachay”. Disponible en:<http://www.municipiourcuqui.gob.ec/index.php?option=com_seyret&task=videodirectlink&Itemid=8&id=5> [Consulta enero de 2012]
- [32] R. Conde, O. González, and E. Mendieta, “Hacia una Gestión Sustentable del Campus Universitario”, México, 2008
- [33] CIE. “ROAD TRANSPORT LIGHTING FOR DEVELOPING COUNTRIES”, Estados Unidos de Norte América, 2007
- [34] AUTORIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE PUERTO RICO. “Manual de normas de alumbrado público”, Puerto Rico, 2001
- [35] J. Sandoval. “Iluminación de espacios exteriores y privados”, Argentina, 2008
- [36] Universidad Politécnica de Catalunya, “Bloque 4 Alumbrado Público y urbano”, disponible en: <<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/4429/3/ane xo%2021.pdf>> [Consulta de febrero de 2012].
- [37] L. Bañón, “Iluminación de vías”, España
- [38] J. García. “Alumbrado público”, disponible en:<http://edison.upc.es/curs/llum/externior/vias_p.html#SR> [Consulta de febrero de 2012].
- [39] Anfalum, “Luminarias LED”, España, 2010
- [40] ETAP, “Dossier LED”, España, 2011
- [41] “Postes Led”, disponible en <<http://www.bbeled.com/led-street-lights/lu4/>>, [Consulta de febrero de 2012].
- [42] ETAP, “Dossier LED”, España, 2011
- [43] J. García, “Vías públicas. Ejercicios”, disponible en: <<http://edison.upc.es/curs/llum/externior/ejvias.html>> [Consulta de febrero de 2012].
- [44] No se menciona autor, “Iluminación monumental”. Disponible en: <http://hometech.com.mx/articulos.php?id_art=251&id_sec=22> [Consulta de febrero de 2012].
- [45] No se menciona autor, “Luz en espacios exteriores”, disponible en: <http://www.erco.com/download/data/30_media/69_lightinthe outdoorarea/es_erco_lightintheoutdoorarea.pdf> [Consulta de febrero de 2012].
- [46] E. Tiravanti, “Iluminación”. Disponible en:<<http://www.stilar.net/Archivos%20Web/Iluminacion%20Industrial.pdf>> [Consulta de febrero de 2012].
- [47] Pirelli, “Manual de instalaciones eléctricas sica”, Argentina, 1998
- [48] A. Leon, “Lighting”, Hawai, 2007
- [49] M. Raitelli, “Diseño de iluminación de interiores”, Argentina, 2011
- [50] No se menciona autor, “luminarias LED”, disponible en: <<http://bhtavanza.com/catalogoled/catalogo.html>> [Consulta de febrero de 2012].
- [51] No se menciona autor, “Luminarias Led”. Disponible en: <<http://www.bhtshop.com/tubo-led-t8-18w-120cm-p-289.html>> [Consulta de febrero de 2012].
- [52] No se menciona autor, “Pantallas gigantes”. Disponible en: <http://www.pantallasled.com.mx/promociones/docs/0709_pantalla_electronica_led_publicitaria_p7.625.pdf> [Consulta de febrero de 2012].
- [53] No se menciona Autor, “Sistemas de riego”. Disponible en:<<http://www.gardena.com/es/water-management/micro-drip-irrigation-system/>> [Consulta de febrero de 2012].
- [54] No se menciona autor, “Postes solares”. Disponible en:<http://www.ienergia.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=116&Itemid=134> [Consulta de febrero de 2012].
- [55] SAFE-RAIN, “Fabricación de productos para fuentes de agua y jardín”. Disponible en: <<http://www.saferain.com/es.html?gclid=CLePyLLUpa4CFdOA7QodPTM4PQ>> [Consulta de febrero de 2012].

- [56] No se menciona autor, "Proceso para la construcción del sistema de fuente de chorros de agua sincronizados". Disponible en: <<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/767/6/CAPITULO%20IV.pdf>> [Consulta de febrero de 2012].
- [57] Aquatica, "Spray Jets". Disponible en: <<http://www.aquatica.com.mx/CF.pdf>> [Consulta de febrero de 2012].
- [58] R. Dufo. J. Bernal. "Dimensionado y control óptimo de sistemas híbridos aplicando algoritmos evolutivos". España, 2007
- [59] H. Gasquet. "Manual de Sistemas Fotovoltaicos". Austin. 2008
- [60] F. Gonzales. "Sistemas de generación distribuida". 2008
- [61] A. González, "Instalación de paneles solares en la empresa". 2007
- [62] No se menciona autor "SET TE: Energía solar fotovoltaica". Disponible en: <http://www.energiaycambioclimatico.com/colab/export/sites/foro/resources/pdf/programa_investigacion/investigacion/101126_SET_TE_PV.pdf> [Consulta marzo del 2012].
- [63] Revista de urbanismo N°12, "Sistemas fotovoltaicos en Arquitectura y Urbanismo", 2005
- [64] J. Salinas, S. Tornil. "Control de un aerogenerador", Disponible en: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/11274/2/PFC_1.pdf> [Consulta Marzo 2012]
- [65] S. M. Muyeen. "Wind Power", United Arab Emirates, 2010
- [66] R. Iannini, J. González, S. Mastrángelo. Energía Eólica, "Teoría y Características de Instalaciones"
- [67] N. Sogari. "Diseño de un sistema híbrido solar-eólico para proveer de energía a una comunidad". Argentina, 2003.
- [68] Departamento de Energía de los Estados Unidos. "Sistemas Eólicos Pequeños para Generación de Electricidad", EE. UU.
- [69] M. Cúpich. F. Elizondo "Actuadores piezoeléctricos" 2000
- [70] B. Ruano. M. Sánchz. "PIEZOELECTRICIDAD Y ELECTROSTRICCIÓN"
- [71] A. Pereira. "Cerámicas piezoeléctricas: funcionamiento y propiedades". Brasil. 2010
- [72] MITSUBISHI ELECTRIC. "Panel fotovoltaico PV-MJT245GB". Disponible en: <http://www.mitsubishielectric.com/bu/solar/pv_modules/pdf/mjt.pdf> [Consulta Marzo 2012]
- [73] Global Solar. "Lámina fotovoltaica". Disponible en: <http://www.globalsolar.com/downloads/PowerFLEX_6m.pdf> [Consulta Marzo 2012]
- [74] Sherwin Electric Company. "Renewable Energy". EE.UU, 2009.
- [75] No se menciona autor. "Wind turbine". Disponible en: <http://www.wind-sun-4all.de/product_info.php?language=en&info=p109_windgenerator-timar-600w.html&> [Consulta Marzo 2012]
- [76] PowerLeap. "Powerfloor". Disponible en: <http://powerleap.net/?page_id=32> [Consulta Marzo 2012]
- [77] No se menciona autor. "LA RADIACIÓN SOLAR", Disponible en: <<http://www.enalmex.com/docpdf/libro/ch01.pdf.pdf>> [Consulta marzo 2012]
- [78] Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica, CONELEC Disponible en <<http://www.conelec.gob.ec/>> [Consulta Marzo 2012]
- [79] M. Haji. K. Lau. A. Agogino "HUMAN POWER GENERATION IN FITNESS FACILITIES" USA, 2010
- [80] No se menciona autor. "ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES". Disponible en. <http://www.electricidad-gratuita.com/Proyecto_Diseño_SistemaFotovoltaico.pdf> [Consulta marzo 2012]
- [81] No se reconoce autor. "Fluke 8845A/8846ª. Digital Multimeters Extended Specifications". Disponible en: <<http://www.fluke.com/fluke/eces/Instrumentos-para-Bancos-de-Trabajo/Mult%C3%ADmetros-de-banco/8845A-8846A.htm?PID=55451>> [Consulta marzo de 2012].
- [82] No se reconoce autor. "Vatímetro". Disponible en: <<http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/instrumento-de-electricidad/analizador-potencia-pce-pa6000.htm>> [Consulta marzo de 2012].