

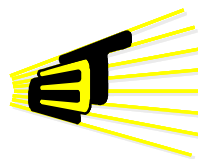
# **DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE BICICLETAS ESTÁTICAS**

**Autores:**

**Carlos Fabián Núñez Rodríguez  
Julián Oswaldo Flórez Reyes**



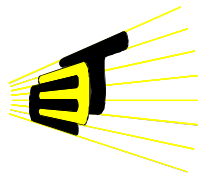
**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA  
Y DE TELECOMUNICACIONES**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
DE TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA**

**2011**

# **DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE BICICLETAS ESTÁTICAS**



**Carlos Fabián Núñez Rodríguez**  
**Julián Oswaldo Flórez Reyes**

**Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electricista e Ingeniero Electrónico respectivamente**

**Director:**

**MSc. GERMÁN ALFONSO OSMA PINTO**

**Codirector:**

**Dr. GABRIEL ORDÓÑEZ PLATA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y**  
**DE TELECOMUNICACIONES**

**BUCARAMANGA**

**2011**

## DEDICATORIA

A Dios por guiar cada uno de mis pasos, dándome la sabiduría y fortaleza para levantarme cada vez que desfallezco, por darme vida para compartir este logro personal, con todas las personas que quiero.

A mis padres y mi hermana por su inagotable esfuerzo y su incondicional apoyo, por sacarme adelante y no titubear en sus enseñanzas.

Finalmente, a mis verdaderos amigos por compartir esa voz de apoyo cuando más lo necesité y sobre todo por creer en mí.

Carlos Fabián Núñez Rodríguez

## DEDICATORIA

A Dios por llenar mi vida de felicidad, siendo mi roca y fortaleza; y sobre todo por darme la inteligencia y sabiduría para manejar mi vida de acuerdo a su palabra.

A mi familia por estar siempre junto a mí con su amor incondicional, y en especial a mi abuela quien cultivo en mí todas las bases morales y de fe, que hicieron de mí el hombre que soy.

Finalmente, a mis verdaderos amigos por enseñarme lo importante que es ser un amigo incondicional.

Julián Oswaldo Flórez Reyes

# AGRADECIMIENTOS

Queremos dar nuestros sinceros agradecimientos:

Al Ingeniero Germán Alfonso Osma Pinto, por vincularnos a este proyecto de investigación, por su dirección y empeño en el desarrollo de éste.

Al Dr. Gabriel Ordóñez por su asesoría y comentarios oportunos.

Al Centro de Acondicionamiento Físico Bodytech de la ciudad de Bucaramanga, por abrirnos sus puertas y permitirnos realizar las pruebas pertinentes para el sustento de este trabajo.

A las diferentes empresas tanto locales como extranjeras por brindarnos la información necesaria para la correcta ejecución del proyecto.

A la Universidad Industrial de Santander, especialmente a todos los profesores de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, por la formación y el aporte otorgado durante todos estos años y por permitirnos convertir en ingenieros con el sello UIS.

A todas las demás personas que de alguna manera u otra estuvieron vinculadas o se vieron implicadas en el desarrollo de nuestro proyecto.

## Tabla de contenido

1. NOMENCLATURA .....	17
2. DESCRIPCIÓN SISTEMA DE GENERACIÓN .....	17
2.1 Descripción general del sistema.....	17
2.2 Estructura del reporte.....	18
3. GENERALIDADES DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA A PARTIR DE BICICLETAS ESTÁTICAS.....	19
3.1 Mecánica del sistema de generación.....	19
3.2 Comportamiento tipo tripulante-generador.....	19
4. SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA.....	21
4.1 Selección del acople-generador .....	21
4.2 Selección de la bicicleta estática.....	22
4.3 Selección de las unidades de gestión de energía.....	23
5. DISEÑO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS.....	27
5.1 Instalaciones eléctricas del sistema de generación.....	27
5.2 Disposición física de los componentes.....	29
5.3 Sistema de iluminación del mini-gimnasio .....	29
5.4 Instalaciones eléctricas complementarias del mini gimnasio (recinto).....	30
6. DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO .....	30
6.1 Adquisición de datos .....	31
6.2 Interfaz hombre-máquina.....	32
6.3 Visualización de usuario .....	33
7. ANÁLISIS ENERGÉTICO DEL SISTEMA.....	34
8. CONSIDERACIONES FINANCIERAS .....	35
8.1 Análisis financiero de una configuración.....	36
9. RESULTADOS Y CONCLUSIONES .....	36
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	38
11. ANEXOS.....	39

## Lista de figuras

Figura 1. Esquema general del subsistema conectado a la red.....	18
Figura 2. Esquema general del subsistema aislado.....	18
Figura 3. Partes de una bicicleta estática.....	19
Figura 4. Esquema de fuerza en el pedal.....	19
Figura 5. Histograma de velocidad del volante de la bicicleta durante una sesión de spinning.....	20
Figura 6. Transmisión de velocidad.....	20
Figura 7. Potencia Vs velocidad (generador de acople directo y del tripulante).....	21
Figura 8. Curva V-rpm del generador a emplear - acople directo.....	22
Figura 9. AHP General para el proceso de selección de una bicicleta estática.....	22
Figura 10. Esquema general de subsistema conectado a la red a partir de un acople tipo directo.....	23
Figura 11. Esquema general del subsistema aislado.....	23
Figura 12. Esquema del subsistema aislado.....	24
Figura 13. Escenarios y casos de aplicación del subsistema aislado.....	24
Figura 14. Conmutación con la red eléctrica.....	25
Figura 15. Subsistema aislado Caso 1.....	25
Figura 16. Subsistema aislado Caso 2.....	25
Figura 17. Subsistema aislado Caso 3.....	25
Figura 18. Subsistema aislado Caso 4.....	25
Figura 19. Demanda de cargas aisladas.....	26
Figura 20. Potencia entrega por bicicletas y baterías.....	26
Figura 21. Comportamiento de la energía almacenada en la batería.....	26
Figura 22. Diagrama básico de los dos subsistemas.....	27
Figura 23. Cuarto tipo para el mini-gimnasio.....	27
Figura 24. Diagrama unifilar para acople directo y por rodillos.....	28
Figura 25. Diagrama unifilar acople tipo llanta.....	28
Figura 26. Diagrama unifilar acople directo con baterías.....	28
Figura 27. Diagrama básico de las configuraciones independientes.....	29
Figura 28. Configuración de cajas.....	29
Figura 29. Plano del sistema de generación.....	29
Figura 30. Diagrama 3D del mini gimnasio.....	30
Figura 31. Diagrama 2D del mini gimnasio.....	30
Figura 32. Iluminación y tomacorrientes del mini gimnasio.....	30
Figura 33. Esquema general de conexión del subsistema conectado a la red.....	31
Figura 34. Esquema de bloques de conexión del subsistema aislado.....	31

Figura 35. Esquema de adquisición y transmisión de datos.....	31
Figura 36. Diagrama de bloques para la adquisición de datos .....	32
Figura 37. Señal del sensor de velocidad [7].....	33
Figura 38. Diagrama de bloques calculo rpm.....	33
Figura 39. Panel frontal 1. ....	33
Figura 40. Panel frontal 2. ....	33
Figura 41. Panel frontal 3. ....	34
Figura 42. Pantalla LED 1. ....	34
Figura 43. Pantalla LED 2. ....	34
Figura 44. Participación porcentual de la inversión inicial. ....	35
Figura 45. Elementos del sistema según vida útil. ....	35
Figura 46. VPN para configuración conectada a la red .....	36
Figura 47. VPN para configuración aislada.....	36

## Lista de tablas

Tabla 1. Datos muestrales de la prueba realizada .....	20
Tabla 2. Acoples por subsistema.....	21
Tabla 3. Características técnicas de acoples.....	21
Tabla 4. Criterios de selección bicicleta estática.....	22
Tabla 5. Características bicicleta Spinning Inox.....	23
Tabla 6. Valores nominales del inversor tipo Grid Tie.....	23
Tabla 7. Simulación del subsistema aislado durante un día .....	25
Tabla 8. Pruebas de iluminación en DiaLux. ....	29
Tabla 9. Características de la luminaria seleccionada. ....	30
Tabla 10. Tipos de sensores.....	32
Tabla 11. Resultados del análisis energético.....	34
Tabla 12. Ahorro neto anual por escenarios. ....	35
Tabla 13. Inversión inicial por configuración. ....	36

# ANEXOS

ANEXO A. PRUEBAS DE VELOCIDAD DEL TRIPULANTE (BODYTECH) .....	39
ANEXO B. TABLA DE CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE CADA UNA DE LAS BICICLETAS.....	41
ANEXO C. MODELO JERÁRQUICO AHP .....	42
ANEXO D. DIMENSIONAMIENTO DE LAS BATERÍAS .....	43
ANEXO E. INSTALACIONES ELÉCTRICAS DEL SISTEMA DE GENERACIÓN .....	45
ANEXO F. INSTALACIONES ELÉCTRICAS COMPLEMENTARIAS DEL MINIGIMNASIO .....	48
ANEXO G. CÁLCULO DE REGULACIÓN PARA LUMINARIAS Y TOMACORRIENTES.....	51
ANEXO H. PLANOS DE INSTALACIONES.....	54
ANEXO I. ANÁLISIS DE ILUMINACIÓN DEL MINI GIMNASIO.....	58
ANEXO J. DIAGRAMA UNIFILAR Y PLANO DE CONEXIÓN DE DATOS .....	62
ANEXO K. ANÁLISIS ENERGÉTICO DEL SISTEMA .....	63
ANEXO L. CONSIDERACIONES FINANCIERAS .....	68

# RESUMEN

## TÍTULO

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA APARTIR DE BICICLETAS ESTÁTICAS.\***

## AUTORES

CARLOS FABIÁN NÚÑEZ RODRÍGUEZ

JULIÁN OSWALDO FLÓREZ REYES\*\*

## PALABRAS CLAVES

GENERACIÓN LIMPIA, BICICLETA *SPINNING*, MICRO RED, MONITORIZACIÓN DE VARIABLES.

## DESCRIPCIÓN

En vista de los problemas ambientales que presenta hoy la sociedad mundial, y más específicamente en Colombia, y en búsqueda de una solución a estas problemáticas se ha optado por producir energías más limpias y que sean más amigables con el medio ambiente, mediante la implementación de sistemas verdes, auto sostenibles y con cero emisiones.

Poniendo como contexto la nueva infraestructura de la escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander, un edificio que de manera considerable contara con sistemas sostenibles que buscan reducir el consumo de energía al mínimo, y el aprovechamiento del potencial energético que posee las instalaciones de un mini gimnasio. Nace entonces la necesidad de aprovechar la energía inherente al funcionamiento de una bicicleta de spinning. En este trabajo de investigación se plantean unas pautas en el diseño de este sistema de generación de energía, partiendo de un estudio de las generalidades de generación como comportamiento de la velocidad de un tripulante y característica velocidad-potencia de salida de un generador de imán permanente, seguido de la bicicleta a ser empleada, los elementos generación y acondicionamiento de energía para cada uno de las posibilidades de generación, el diseño de las instalaciones del recinto y de los subsistemas de generación, la disposición de todas las bicicletas de spinning, y finalmente el desarrollo de una interfaz gráfica, la cual permitirá el sensado y estudio de las variables del sistema en tiempo real.

El suministro principal de la energía eléctrica del mini-gimnasio será la generada por las bicicletas estáticas, mientras que el suministro secundario será la red pública.

---

\* Trabajo de Investigación

\*\* Facultad de Ingenierías Físico mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director: Msc. Germán Osma Pinto. Codirector: Dr. Gabriel Ordóñez Plata.

# ACSTRACT

## TITLE:

**DESIGN OF A POWER GENERATION SYSTEM, USING SPINNING BIKES.\***

## AUTHORS

CARLOS FABIÁN NÚÑEZ RODRÍGUEZ

JULIÁN OSWALDO FLÓREZ REYES\*\*

## KEY WORDS

CLEAN GENERATION, SPINNING BIKE, MICRO GRID, DATA MONITORING.

## DESCRIPTION

Taking as a wakeup call the environmental problems presented in the world society, especially in Colombia, we have decided to made up a likely answer, therefore, in order to find a possible solution to those issues, has been chosen a way to produce cleaner energy and eco-friendlier through the use of green systems, self-sustaining and with zero emissions. Putting the new infrastructure of Engineering Electric, Electronics and Telecommunications School from the Universidad Industrial de Santander as a context, we develop a building with sustainable systems, which objective is to reduce energy consumption to a minimum, and use the energy potential that has a mini-gym. Then the need for using the inherent energy in a spinning bike operation. In this research are proposed some guidelines of this power generation system, based on a general study of the generation and speed behavior of a crew member and the output speed- power characteristic of a permanent magnet generator followed by the bicycle to be used, the elements of power generation and conditioning (for each generation possibilities), place design and generation subsystems, the provision of all spinning bikes, and finally the development of a graphical interface, which allows the study of the system variables in real time. The main power supply to the mini-gym will be generated by the bikes, while the supply side will be the public network.

---

\* Research work

\*\* Faculty of Physical and Mechanical Engineering. School of Electrical Engineering, Electronics and Telecommunications. Director: Msc. German Osma Pinto. Co-Director: Dr. Gabriel Ordóñez Plata.

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE BICICLETAS ESTÁTICAS

C. F. Núñez\*, J.O. Flórez\*, G.A. Osma<sup>†</sup>, G. Ordóñez<sup>‡</sup>

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones  
Universidad Industrial de Santander.  
Bucaramanga, Colombia.

**Resumen**—En este trabajo de grado modalidad investigación, se presenta el diseño de un sistema de generación de energía eléctrica a partir del aprovechamiento del trabajo realizado por un tripulante en una bicicleta estática.

El escenario de implementación de este diseño será un mini gimnasio en el nuevo edificio de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, de la Universidad Industrial de Santander.

El sistema de generación se configuró a partir de dos subsistemas: de conexión e inyección de energía eléctrica en tiempo real a la red eléctrica y de conexión aislada para la alimentación de cargas específicas en corriente alterna con respaldo de la red eléctrica.

El primer subsistema contará con doce (12) unidades estáticas y el segundo tendrá seis (6) unidades.

**Palabras clave** — generación limpia, bicicleta *spinning*, micro red, monitorización de variables.

## 1. NOMENCLATURA

P: Potencia eléctrica [W]

T: Par [N·m]

$\omega$ : velocidad angular [rad/seg]

F: Fuerza [N]

D: Diámetro del volante de la bicicleta estática [mm]

d: Diámetro del eje del generador eléctrico [mm]

$n_1$ : Velocidad del volante de la bicicleta [rpm]

---

1 Carlos Fabián Núñez Rodríguez y Julián Oswaldo Flórez Reyes; estudiantes de Ingeniería Eléctrica e Ingeniería Electrónica, respectivamente, de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, de la Universidad Industrial de Santander (UIS); Bucaramanga, Colombia. e-mail: carlos.nunez@correo.uis.edu.co, julian.florez@correo.uis.edu.co.

2 Germán Alfonso Osma Pinto es Ingeniero Electricista, Ingeniero Industrial, Magíster en Ingeniería Eléctrica de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, de la Universidad Industrial de Santander (UIS); Bucaramanga, Colombia. e-mail: german.osma@gmail.com

3 Gabriel Ordóñez Plata, es Ingeniero Electricista, Doctor en Ingeniería y profesor Titular Laureado de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, de la Universidad Industrial de Santander (UIS); Bucaramanga, Colombia. e-mail: gaby@uis.edu.co

$n_2$ : Velocidad del eje del generador [rpm]

$d_{\text{tubería}}$ : Diámetro de la tubería [mm]

$d_{\text{cable}}$ : Diámetro del cable [mm]

## 2. DESCRIPCIÓN SISTEMA DE GENERACIÓN

La Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones (E3T) de la Universidad Industrial de Santander, con el ánimo de contribuir a la sensibilización de la comunidad universitaria por el cuidado del medio ambiente, y la correcta utilización de los recursos energéticos disponibles, ha optado por implementar en su infraestructura sistemas de generación de energía más limpia.

En el nuevo edificio de la E3T se ha contemplado el diseño de diferentes aplicaciones energéticas sostenibles<sup>4</sup>, con el propósito de reducir el consumo de energía eléctrica de la red pública, lo cual se logrará, principalmente, a partir de la generación de energía eléctrica en sitio y de un diseño arquitectónico bioclimático. Una de dichas aplicaciones, se basa en el uso de bicicletas estáticas.

En este documento se presenta el diseño de un sistema para el aprovechamiento de la energía cinética desarrollada por las piernas (parte del cuerpo humano que tiene mayor potencia muscular) de un tripulante sobre una bicicleta de *spinning*. Generalmente, esta energía es transformada y desperdiciada en forma de calor por la fricción que se da en el sistema de transmisión, el volante y el freno de estas unidades.

### 2.1 Descripción general del sistema

El aprovechamiento de energía se dará al convertir la energía cinética en energía eléctrica, a

---

4 Todo aquel sistema que permita satisfacer necesidades (confort visual, confort térmico, uso de equipo electrónico, etc.) al interior de una edificación sin consumir energía (arquitectura bioclimática) o generándola a partir de un medio ambiente circundante (fuentes de energía renovables FER) o utilizando sistemas de alta eficiencia energética [1].

partir de un generador de corriente continua, dado su amplio margen de velocidad de operación.

Se decidió diseñar con base en la velocidad, debido a que la oferta comercial de generadores para este tipo de aplicaciones sólo considera dicha opción. Adicionalmente, la intervención mecánica de una unidad estática para la instalación de algún dispositivo, elimina el beneficio de su garantía, y puede ocasionar limitaciones en su operación.

El generador de corriente continua se sujetará mecánicamente a una bicicleta de *spinning* por medio de una estructura de soporte, denominada acople.

Se consideraron para el diseño tres (3) tipos de acoples<sup>5</sup>: “directo”, “por rodillos” y “tipo llanta”.

El diseño del sistema de generación consistió en el dimensionamiento y determinación de las características técnicas de 18 configuraciones de generación, agrupadas en dos subsistemas: conectado a la red, con 12 configuraciones, y aislado, con 6. Los esquemas de cada tipo de subsistema se muestran en las figuras 1 y 2, respectivamente.

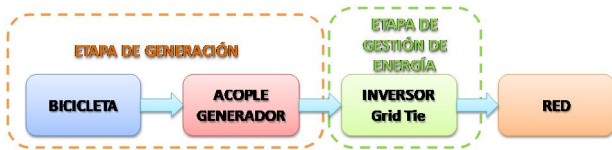


Figura 1. Esquema general del subsistema conectado a la red.

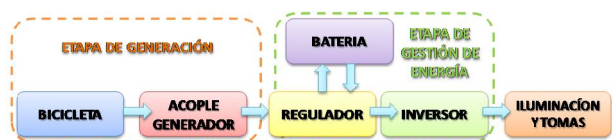


Figura 2. Esquema general del subsistema aislado.

El número total de las configuraciones se determinó con base en el área del recinto<sup>6</sup> donde este sistema será implementado (mini-gimnasio). La relación 2:1 de la cantidad de configuraciones para los dos subsistemas se determinó al considerar que el subsistema de conexión a la red es más eficiente.

La totalidad de las configuraciones funcionarán de forma independiente, dado que no es posible una conexión en paralelo de los generadores, debido a la variabilidad en la velocidad de pedaleo que tendrá

cada tripulante; y en consecuencia, en la tensión de bornes del generador.

Para el subsistema conectado a la red, se consideran los tres tipos de acople (directo, por rodillos y tipo llanta). Este subsistema cuenta con dos tramos de red eléctrica: Generador – inversor e inversor - red. La gestión de la energía será realizada por inversores tipo *Grid-tie*<sup>7</sup>.

El subsistema aislado, tendrá como objeto alimentar cargas específicas (iluminación y tomacorrientes del recinto) a partir de la energía generada en tiempo real por las bicicletas de *spinning* y/o la energía almacenada en baterías. En este subsistema la gestión de energía será realizada por un inversor tipo *Pure*<sup>8</sup> y cinco (5) *Grid Tie*, reguladores y baterías. El regulador se encarga de acondicionar la energía generada y gestionar el proceso de carga y descarga de la batería

Las cargas específicas a alimentar consistirán en ocho (8) luminarias de 55 W y ocho (8) tomacorrientes de 180 VA, para los cuales se consideró un factor de potencia de 0,9; por ello, se tendrá una demanda instalada de aproximadamente 1,8 kW. Estas cargas aisladas tendrán como suministro de respaldo de energía la red eléctrica de la edificación, cuya actuación se realizará por conmutación manual.

## 2.2 Estructura del reporte

Este documento se ha estructurado en ocho (8) secciones. Inicialmente, se describen generalidades sobre la generación de energía eléctrica a partir de bicicletas estáticas, estableciéndose la configuración y características generales del sistema a diseñarse.

A continuación se presenta la selección de componentes del sistema (bicicleta, acople-generador, inversor, regulador y batería); y también el diseño de las instalaciones eléctricas, tanto para el sistema de generación, como para el mini-gimnasio (iluminación y tomacorrientes).

Posteriormente se describe una interfaz hombre-máquina y la instrumentación electrónica pertinente, como estrategia para la monitorización de variables (tensión, corriente y velocidad), con el fin de conocer el funcionamiento del sistema de generación.

<sup>5</sup> Acople se toma como generador + sujeción mecánica.

<sup>6</sup> El área del recinto será de aproximadamente 54 m<sup>2</sup>, de acuerdo a disposiciones establecidas en el proceso de aprobación de los pre-diseños del Edificio de Ingeniería Eléctrica II.

<sup>7</sup> Transforma corriente continua en alterna, para ser inyectada directamente a la red, previa sincronización de frecuencia y tensión con la red eléctrica.

<sup>8</sup> Transforma corriente continua en alterna, generando una onda senoidal de 120V a 60 Hz.

Finalmente, se exponen las consideraciones energéticas y financieras del sistema diseñado, los resultados, las conclusiones y recomendaciones del trabajo de grado.

Adicionalmente, el trabajo cuenta con doce (12) anexos: (A) Pruebas para el análisis del comportamiento de la velocidad de pedaleo, (B) Características de las bicicletas estáticas consideradas, (C) Proceso de selección de la bicicleta estática basado en la metodológica AHP (*Analytic Hierarchy Process*), (D) Dimensionamiento de baterías, (E) Instalaciones eléctricas del sistema de generación, (F) Instalaciones eléctricas complementarias del mini gimnasio, (G) Cálculos de regulación para luminarias y tomacorrientes del mini gimnasio, (H) Planos eléctricos del sistema y del recinto, (I) Análisis de iluminación del recinto de conformidad a lo estipulado en la Norma ESSA, (J) Plano de conexión de datos, (K) Análisis energético del sistema, y (L) Consideraciones financieras.

### 3. GENERALIDADES DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA A PARTIR DE BICICLETAS ESTÁTICAS

El acondicionamiento físico a partir de bicicletas estáticas permite un mejoramiento en el metabolismo, en el sistema cardiovascular y respiratorio, una quema significativa de calorías y aumenta la tonicidad y la masa muscular de caderas, glúteos, piernas, pantorrillas y abdomen; además, de un beneficio emocional (reduce el estrés). La Figura 3 muestra las partes de una unidad tipo [2].



Figura 3. Partes de una bicicleta estática [2]

### 3.1 Mecánica del sistema de generación

El funcionamiento mecánico de la bicicleta requiere un simple impulso de un par de pedales con las piernas. Este esfuerzo puede regularse a partir de un sistema de fricción manual (Figura 3, regulador de resistencia). Para evitar la condición de pedaleo en vacío estas bicicletas tienen un freno.

Poseen una rueda de inercia o volante de varios kilogramos, para facilitar el pedaleo suave, y que para efectos del sistema a diseñarse, es la parte de contacto a partir de la cual se transmitirá la energía de la bicicleta al generador eléctrico.

Según [3], la potencia promedio generada por una persona en una bicicleta se encuentra entre 270 W a 400 W. La Figura 4 ilustra la dinámica de pedaleo de un tripulante.

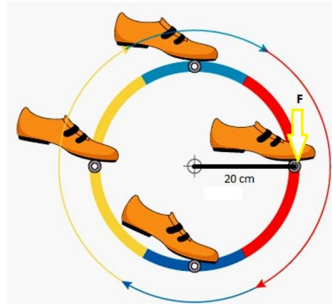


Figura 4. Esquema de fuerza en el pedal [4].

El par generado por la fuerza ejercida en el pedaleo está dado por:

$$T = F \times d \quad (1)$$

La fuerza promedio que pueden aplicar los adultos, sin distinción de sexo es, de 294,3 N [3]; por lo tanto, el par sería de 58,86 N·m.

De acuerdo con la ecuación (2), si se logra una velocidad angular de una rps o 6,2832 rad/seg, la potencia alcanzada sería 0,5 HP (370W).

$$P_m = T \times \omega \quad (2)$$

Al considerar un total de 18 unidades, esto representaría 6,6 kW de potencia mecánica, y para una eficiencia del sistema eléctrico aproximada de 70%, la potencia eléctrica generada ascendería a 4,6 kW.

### 3.2 Comportamiento tipo tripulante-generador

Para determinar el comportamiento de la variable potencia eléctrica generada en función de la

velocidad desarrollada por un tripulante, se deben conocer: (1) la curva de potencia - velocidad característica del generador y (2) la relación entre las velocidades del eje del generador y la velocidad del volante.

La curva potencia- velocidad se obtiene a partir de la ficha técnica del generador; mientras, la relación entre las velocidades exige el conocimiento de los diámetros de las partes involucradas; asimismo, el comportamiento de la velocidad de pedaleo del tripulante, razón por la cual, se realizó una prueba de campo para determinar su comportamiento.

### 3.2.1 Desempeño tipo de un tripulante

La prueba de campo fue realizada en el Centro de Acondicionamiento Físico *Bodytech* de la ciudad de Bucaramanga, durante una clase de *Indoor Cycling*<sup>9</sup>, de 50 minutos. Se contó con la participación de tres personas de condiciones físicas promedio. La información detallada de la prueba se presenta en el Anexo A.

La Figura 5 presenta el histograma<sup>10</sup> por intervalos y acumulado de la velocidad del volante de la bicicleta para las tres muestras obtenidas.

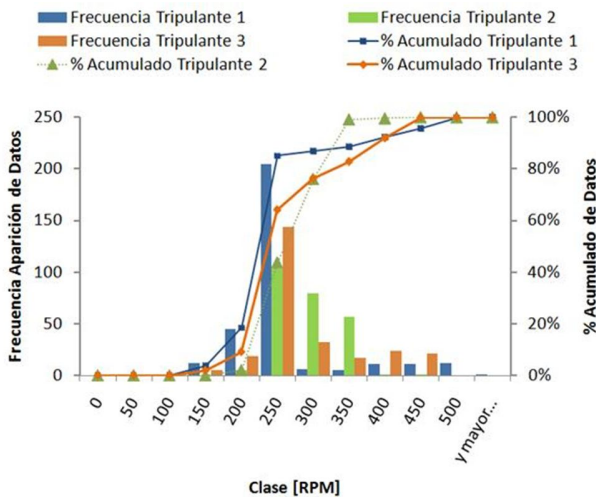


Figura 5. Histograma de velocidad del volante de la bicicleta durante una sesión de spinning.

La figura muestra que el rango de velocidades predominante para los tres casos es de 200 a 250

<sup>9</sup> Es una actividad física que se desarrolla sobre una bicicleta estática que va acompañada de música, mucha concentración y gracias a las diferentes posiciones y ejercicios, se pueden lograr múltiples opciones de entrenamiento [5].

<sup>10</sup> Representación gráfica de una variable en forma de barras, donde la superficie o altura de cada barra es proporcional a la frecuencia de los valores representados [6].

rpm. Los datos estadísticos experimentales se presentan en la Tabla 1.

*Tabla 1. Datos muestrales de la prueba realizada*

Muestra	Datos	Media	Desviación estándar $\sigma$
A	246	211,1 rpm 18,2 km/h	48,7 rpm 4,8 km/h
B	308	262,2 rpm 22,6 km/h	34,5 rpm 2,9 km/h
C	262	233,8 rpm 20,15 km/h	56 rpm 4,8 km/h

De esta prueba se establece que en una sesión de *spinning*, la velocidad promedio de un tripulante es cercana a 242 rpm. En la prueba, la velocidad de pedaleo se mantuvo por encima de 200 rpm el 80% del tiempo.

Otro aspecto a considerar es el desempeño del grupo acople-generator.

### 3.2.2 Características de desempeño del grupo acople-generator

Las velocidades del eje del generador y del volante de la bicicleta están relacionadas a partir de sus diámetros de la siguiente forma:

$$(3)$$

La Figura 6<sup>11</sup> muestra el proceso de transmisión de velocidad desde el pedal de la bicicleta hasta el eje del generador. La velocidad varía de acuerdo con los diámetros de cada uno de los componentes.

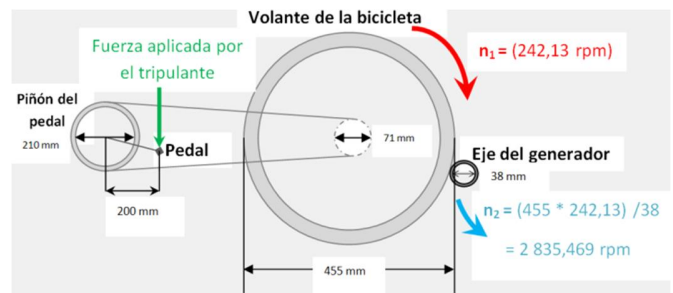


Figura 6. Transmisión de velocidad

La Figura 7 muestra que la potencia eléctrica generada a una velocidad de 2 840 rpm es cercana a 300 W. Para el caso del subsistema conectado a la red, con una eficiencia del inversor *Grid-tie* del 90%, la inyección de potencia a la red es alrededor de 270 W.

<sup>11</sup> Los valores de velocidad y diámetros implicados fueron tomados de la prueba de campo realizada en el *Bodytech*.

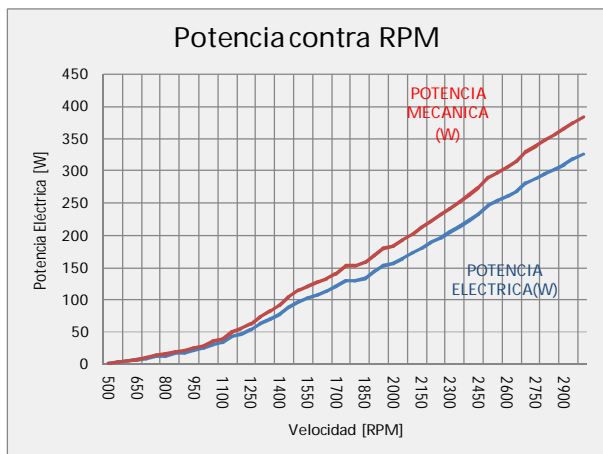


Figura 7. Potencia Vs velocidad (generador de acople directo y del tripulante<sup>12</sup>).

En definitiva para un total de 18 unidades, la potencia efectiva a generarse sería de  $(P = 270 * 18 = 4,86 \text{ kW})$  5 kW aproximadamente.

#### 4. SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA

Una vez descritas las generalidades del sistema de generación, se especifican los aspectos considerados para la selección de sus componentes: grupo acople-generador, bicicleta, inversores, reguladores y baterías.

##### 4.1 Selección del acople-generador

El acople es un dispositivo que está conformado por un generador eléctrico DC y una estructura mecánica de agarre a la bicicleta estática.

El comportamiento de la velocidad de pedaleo del tripulante, que se caracteriza por mantenerse un 80% del tiempo entre 200 rpm y 250 rpm, determina la velocidad nominal del generador.

Dado que la relación de diámetros entre el volante y el eje del generador es 1:12, se tiene que el generador deberá soportar velocidades entre 2 400 y 3 000 rpm la mayor parte del tiempo.

Adicionalmente, deberá tener una potencia nominal de 300 W, si se considera una potencia mecánica entre 270 y 400 W [3].

Se estableció que la tensión nominal del generador debe ser 15 V, para garantizar una

<sup>12</sup> Esta grafica, se basa en la curva de potencia característica de un motor DC de imanes permanentes, trabajando como generador a una corriente constante de 10 A [8].

interconexión con los dispositivos comerciales de gestión y acondicionamiento de energía.

Con base en lo anterior, se encontraron tres modelos de acoples viables tecnológicamente en el mercado: “directo”, “por rodillos” y “tipo llanta”. Con el fin de promover la apropiación tecnológica de estos dispositivos, son considerados los tres modelos en el sistema diseñado. Su cantidad y asignación por subsistema se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. Acoples por subsistema.

Subsistema	Directo	Por rodillos	Tipo llanta
Conectado a la red	10	1	1
Aislado	6	-	-




El acople “directo” permite la conexión entre el volante de cualquier bicicleta de *spinning* con el eje del generador [8] (es un motor DC de imanes permanentes utilizado como generador).

El acople “por rodillos” es usado cuando se dispone de una bicicleta común, la cual se instala sobre una base de rodillos conectados al eje del generador.

En cuanto al acople tipo llanta, se hace necesario instalarlo en reemplazo del eje posterior de una bicicleta común. Este último acople, tiende a tener mayor eficiencia debido a la menor cantidad de elementos de transmisión de energía.

La Tabla 3 presenta las características de los grupos acople - generador mencionados.

Tabla 3. Características técnicas de acoples.

FIGURA	TIPO	ESQUEMA	CARACTERÍSTICAS
	UNIDADES	SUBSISTEMA	EFICIENCIA
 [8]	ACOPLE DIRECTO*	Bicicleta spinning+generador	300W; 15V; 20A; 2 800rpm
	16	10 configuraciones conectadas a la red 6 configuraciones aisladas	85%
 [8]	POR RODILLOS	Bicicleta común +generador	300W; 15V; 20A; 2 800rpm
	1	Conectado a la red	80%
 [9]	LLANTA	Rueda(en eje de generador)	350W; 48V; 7,3A; 2 600rpm
	1	Conectado a la red	85%

\* En esta sección sólo se muestra el proceso de elección del acople directo, ya que este es el de mayor utilización en el sistema de generación.

La Figura 8 muestra la relación entre la velocidad del eje y la tensión en bornes del generador, y la influencia de la corriente, para tres escenarios de carga.

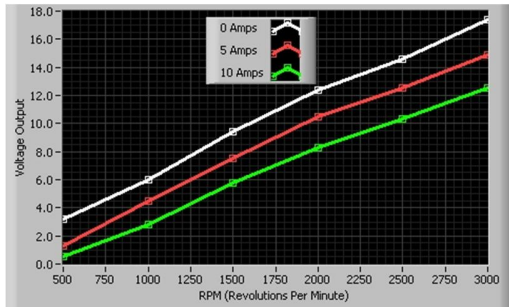


Figura 8. Curva V-rpm del generador a emplear - acople directo [8]

En definitiva, se tiene que para una velocidad determinada la potencia generada dependerá de la tensión y corriente impuestas por la unidad de gestión y acondicionamiento de energía, (inversor *Grid Tie* y regulador para el subsistema conectado a la red y el subsistema aislado, respectivamente).

Si estos dispositivos poseen tecnología MPPT (*Maximun Point Power Tracker*), se garantizará la obtención de máxima potencia posible en todo momento, a partir de un ajuste suave en la tensión en bornes.

En el caso de las configuraciones aisladas, si se tiene una condición de plena carga en las baterías y menor requerimiento de la carga en comparación a la capacidad de generación, se deshabilitará su opción MPPT.

#### 4.2 Selección de la bicicleta estática

Para el proceso de selección de la bicicleta estática se empleó el proceso analítico jerárquico AHP (*Analytic Hierarchy Process*), el cual a partir de la evaluación de importancia de los criterios de selección, permite clasificar diferentes alternativas según su nivel de elegibilidad [10].

La selección se basó en, el costo y las características técnicas del sistema. El costo agrupa tres factores: inversión, instalación y mantenimiento. Por su parte, las características técnicas agregan aquellos factores físico - mecánicos que pueden ser relevantes durante la implementación del sistema de

generación. La Tabla 4 presenta los factores establecidos.

Tabla 4. Criterios de selección bicicleta estática.

CRITERIO	FACTOR	DEFINICIÓN
COSTO	Mantenimiento	Busca evaluar qué tan costoso es el mantenimiento de cada bicicleta
	Bicicleta	Evalúa el costo de compra de la bicicleta
	Instalación	Evalúa el costo de la instalación de la bicicleta.
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Adaptabilidad	Este factor busca evaluar que tan adaptable es la bicicleta a los diferentes tipos de usuarios (talla).
	Sistema de arrastre	Evalúa qué tipo de conexión entre el eje de los pedales con el eje del volante hay para cada bicicleta.
	Peso del volante	Evalúa de la bicicleta el peso que tiene el volante. A mayor peso mayor inercia, luego mas revoluciones con un mismo impulso.
	Peso max usuario	Evalúa el peso máximo que un tripulante puede tener para operar la bicicleta, dándole mejor ponderación al mayor peso permitido.
	Acople	Evalúa la adaptabilidad entre la bicicleta y el acople directo.

El proceso de selección de las unidades estáticas se expone en el Anexo C. La valoración cuantitativa de los criterios y factores se presenta en la Figura 9.



Figura 9. AHP General para el proceso de selección de una bicicleta estática.

La valoración porcentual de los criterios se fundamenta en la mayor relevancia de las características técnicas, con respecto al costo, para el funcionamiento del sistema.

Como resultado del proceso de selección presentado en los anexos B y C, se tiene que la mejor opción es la bicicleta de **Spinning Inox**, su descripción es presentada en la Tabla 5.

Tabla 5. Características bicicleta Spinning Inox [11]

Bicicleta Spinning Inox	
	
Marca	Sport Fitness
Almacenes	Vera Lima, Athletic Sports, Athletic
Costo	\$ 1 226 000
Garantía	1 año
Adaptabilidad	4 sistemas multi posición
Sistema de Arrastre	Banda
Peso máximo usuario	140 kg
Peso del volante	22 kg
Acople	Directo

Las siguientes opciones son: Bicicleta Xplot y Bicicleta WT 9,2.

### 4.3 Selección de las unidades de gestión de energía

Después de seleccionar la bicicleta estática y considerar los acoples de generación existentes en el mercado, se procedió a establecer las unidades de gestión de energía del sistema, para cada subsistema.

#### 4.3.1 Subsistema conectado a la red

La unidad de gestión y acondicionamiento de energía para las configuraciones de este subsistema será un inversor tipo *Grid Tie*, tal como se mostró en la Figura 1.

La energía generada por cada unidad será inyectada a la red a partir de un inversor (*Grid Tie*) independiente, el cual se sincronizará en tensión y frecuencia. Estos inversores están diseñados para desconectarse de la red, si esta falla.

La conexión independiente se debe a la imposibilidad de conectar en paralelo los bornes de salida de los generadores de corriente continua, dado que las tensiones variarán en función de la velocidad de pedaleo de cada tripulante.

La identificación de componentes principales y la descripción cuantitativa del proceso de generación del subsistema conectado a la red se muestra en la Figura 10.

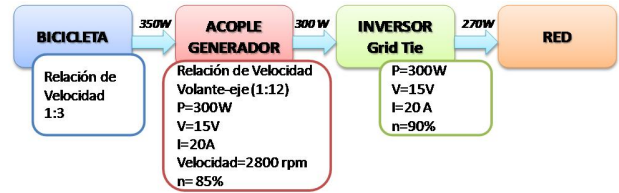


Figura 10. Esquema general de subsistema conectado a la red a partir de un acople tipo directo.<sup>13</sup>

Se estima que la potencia a inyectarse a la red por cada configuración será de aproximadamente 270 W, para una velocidad de pedaleo de 2 800 rpm y una eficiencia total de 77%.

Con base en el flujo de potencia del sistema mostrado en la Figura 10, se determinaron las características nominales del inversor, las cuales se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Valores nominales del inversor tipo *Grid Tie* [12]

PARÁMETRO	VALOR
Modelo	300 W
Marca	OEM
Potencia nominal	300 W
Tensión de entrada	10,5 a 28 VDC
Tensión de salida	90 a 140 VAC
Frecuencia	55 a 63 Hz

#### 4.3.2 Subsistema aislado

El objeto de este subsistema es el suministro de energía eléctrica a cargas específicas. Estas cargas están conformadas por 8 luminarias de 55 W y 8 tomacorrientes de 180 VA, para un total aproximado de 1,8 kW.

Cada unidad estática de este subsistema tendrá asociados un regulador, un inversor y una batería, para la gestión y el almacenamiento de energía.

La Figura 11 muestra los valores nominales de los componentes para cada configuración.

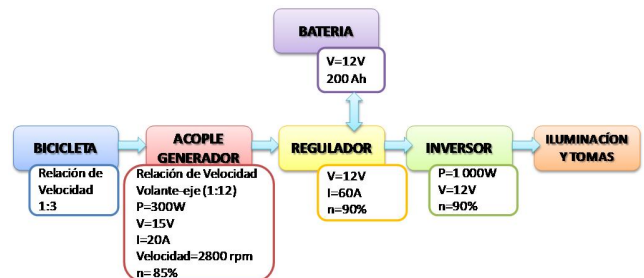


Figura 11. Esquema general del subsistema aislado.

<sup>13</sup> La potencia que entrega este subsistema también se ve afectada por el tipo de acople bicicleta-generator que se utilice, ya que estos tienen diferentes datos nominales. Este estudio se realizó para el acople de mayor uso (tipo directo).

Debido a que es necesario sincronizar las seis (6) configuraciones, en tensión y frecuencia, se estableció una configuración con un (1) inversor tipo *Pure* y cinco (5) *Grid tie*. El inversor *Pure* determinará como referencia una tensión de 120 V a una frecuencia de 60 Hz; los cinco (5) inversores restantes *Grid Tie*, se sincronizarán con la señal de referencia. Para el correcto funcionamiento de este subsistema, es necesario que la configuración con el inversor *Pure* sea la primera en operar y se mantenga durante el periodo que se preste el servicio.

Las baterías se dimensionaron con base en el mayor de dos criterios, capacidad según carga o capacidad según descarga. En la selección de éstas se consideró la autonomía de operación de las mismas. El Anexo D presenta el cálculo realizado.

Con estos criterios, se seleccionó la batería RPOWER GEL [13], 12 V 200 Ah, la cual tiene un ciclo de descarga profundo de hasta el 80%, y mitiga la emisión de gases tóxicos y el mantenimiento durante su vida útil.

El regulador fue seleccionado considerando dos criterios, tensión (12 V) y corriente (200 Ah) de operación de la batería. Debido a la no disponibilidad de reguladores de 12 V mayores de 60 A, el regulador escogido fue WS-MPPT60 de la marca WELLSEE [14], con especificaciones de 12 V / 60 A.

Posteriormente, se dimensionaron los inversores, considerando la tensión de operación (12 V) y la corriente máxima que puede entregar el regulador (60 A). Con estas especificaciones fueron seleccionados, un inversor *Pure* LM800W de la marca LEMORI (800 W; 12 Vdc/120 Vac) y los cinco (5) *Grid Tie* GTI1000W de la marca KD (1 000 W; 12 Vdc/120 Vac; 65 A) [12]. Para estos últimos la restricción fue la corriente, pues aun cuando existen inversores *Grid Tie* de 800 W, su valor nominal de corriente no alcanza los 60 A.

La Figura 12 muestra el esquema del subsistema aislado, se identifican los flujos de potencia a fin de determinar su comportamiento.

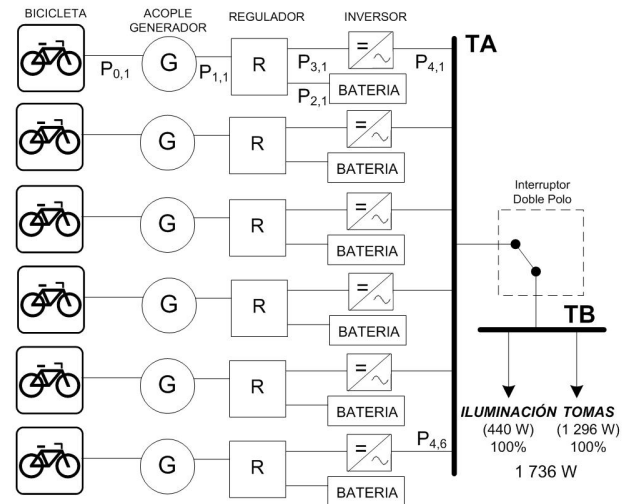


Figura 12. Esquema del subsistema aislado

Donde:

$$P_{i,j} = \text{Potencia del flujo } i, \text{ de la configuración } j \quad (4)$$

La gestión principal de energía de este subsistema está dada por el regulador, en dos escenarios y dos casos específicos, tal como se muestra en la Figura 13.

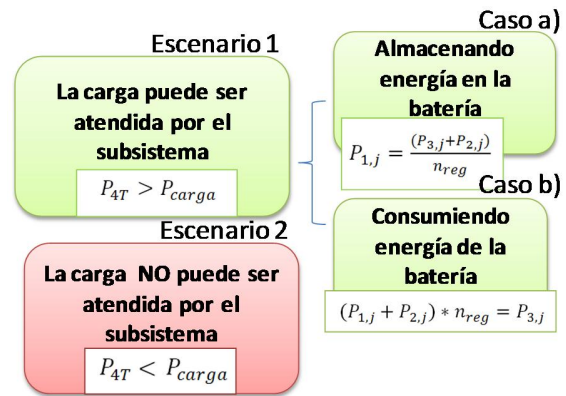


Figura 13. Escenarios y casos de aplicación del subsistema aislado.

En el primer escenario, los casos a y b se pueden presentar de manera múltiple en las 6 unidades.

Cuando ocurre el segundo escenario, es necesaria la conmutación con la red eléctrica, tal como se muestra en la Figura 14.

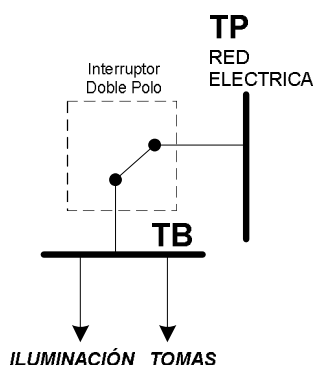


Figura 14. Conmutación con la red eléctrica.

Con el fin de ilustrar el funcionamiento del subsistema, se presentan a continuación los cuatro (4) casos de operación típicos, a partir de los flujos de potencia. A modo de ejemplo, es considerado que cada configuración suministrará la sexta parte de la demanda existente.

Casol: La demanda es nula y la bicicleta genera 350 W, en este caso, la potencia generada cargará las baterías como lo indica la Figura 15.

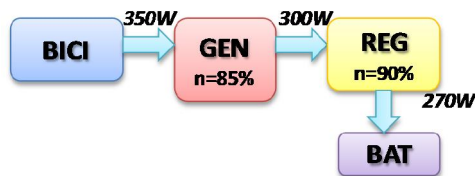


Figura 15. Subsistema aislado Caso 1.

Caso 2: La demanda total es de 600 W, y la potencia generada de 350 W por unidad es suficiente para almacenar y abastecer la carga simultáneamente. La Figura 16 muestra el flujo de potencia para este caso.

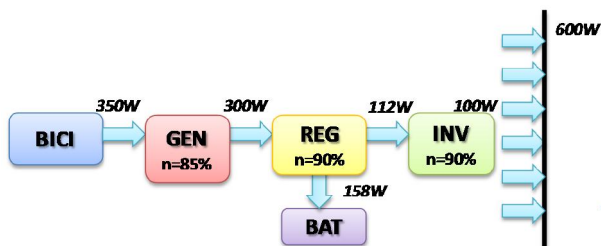


Figura 16. Subsistema aislado Caso 2.

Caso 3: Las baterías están completamente cargadas y la demanda asciende a 600W, tal como lo indica la Figura 17. Es decir, hay un exceso de potencia por parte del tripulante la bicicleta; lo cual, en este caso, hace que el exceso de potencia se pierda en fricción propia de la bicicleta.

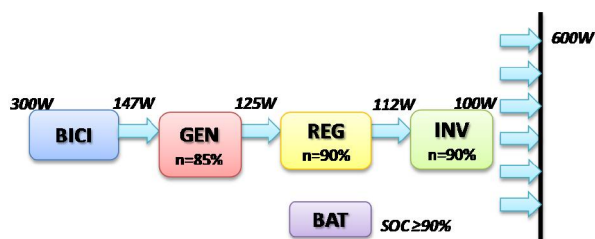


Figura 17. Subsistema aislado Caso 3.

En caso que las baterías estén cargadas completamente y no exista demanda por parte del mini-gimnasio, el regulador automáticamente se desconectará.

Caso 4. La demanda del recinto se encuentra al 100% (1,8 kW), la bicicleta genera sólo 240 W y las baterías tienen energía almacenada. En este caso, la carga será atendida con el 100% de la potencia generada por el tripulante, y el faltante provendrá de la batería, tal como lo indica la Figura 18.

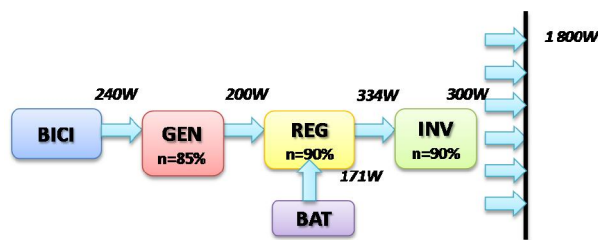


Figura 18. Subsistema aislado Caso 4.

En los casos uno (1), dos (2) y cuatro (4), es necesario mantener el generador a su máxima eficiencia; lo cual es posible a partir de la opción MPPT de los reguladores, que garantizan la entrega de la máxima potencia disponible en cada instante de tiempo.

A continuación se presenta un análisis energético del funcionamiento del subsistema para un día de operación, (ver Tabla 7). En la situación planteada son considerados los cuatro (4) casos previamente establecidos, asociados a los escenarios 1 y 2.

Tabla 7. Simulación del subsistema aislado durante un día

HORA	Demanda de carga [Wh]	Potencia generada en la Bicicleta [Wh]	Carga inicial de la batería [Wh]	Flujo en baterías [Wh]	Carga final de la batería [Wh]
6-7	1800	1500	12200	-722	11478
7-8	1800	1000	11478	-1 222	10 256
8-9	1 800	1 000	10 256	-1 222	9 033
9-10	1 800	900	9 033	-1 322	7 711

10-11	1 629	1 500	7 711	-511	7 200
11-12	900	800	7 200	720	7 920
12-13	1 000	900	7 920	-334	7 585
13-14	500	1 200	7 585	647	8 233
14-15	900	1 000	8 233	-111	8 122
15-16	400	200	8 122	-294	7 828
16-17	500	200	7 828	-417	7 411
17-18	600	1 400	7 411	732	8 143
18-19	1 200	1 500	8 143	20	8 164
19-20	1 300	1 500	8 164	-105	8 059
20-21	1 100	1 500	8 059	158	8 216
21-22	700	1 500	8 216	706	8 923

Como resultado del análisis energético, se observa la operación esperada del subsistema aislado. Un punto para resaltar son los resultados para el intervalo de 11-12, en el cual se conmuta el interruptor para conectar la red a las cargas específicas, debido a que el SOC (*State of Charge*)<sup>14</sup> de la batería en la hora anterior finalizó en su carga mínima<sup>15</sup> y el suministro por parte de las bicicletas es insuficiente.

La Figura 19 muestra la demanda de potencia por parte del mini gimnasio y la Figura 20 presenta la potencia que las bicicletas y las baterías entregan o almacenan, según sea el caso.

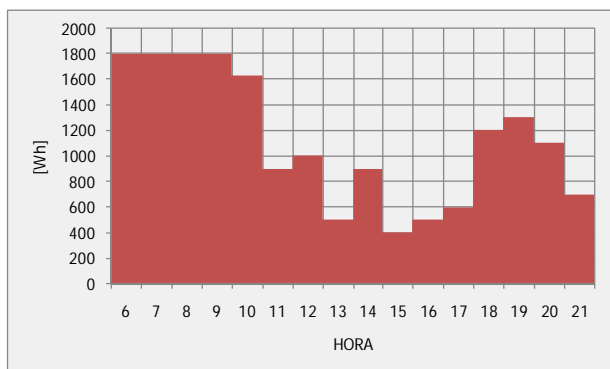


Figura 19. Demanda de cargas aisladas.

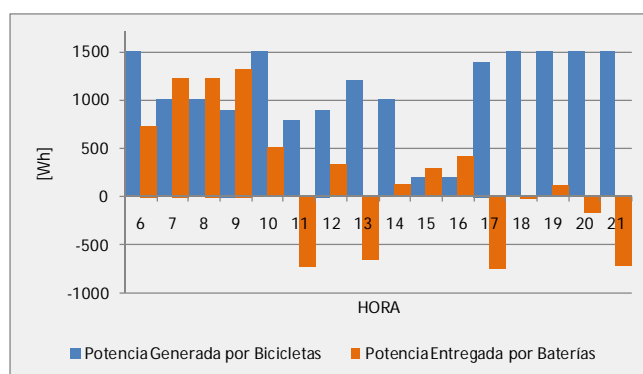


Figura 20. Potencia entrega por bicicletas y baterías.

La Figura 20 también muestra el proceso ocurrido de 11 a 12, en el cual la potencia generada por las bicicletas es completamente almacenada en las baterías.

El proceso de carga y descarga de la batería se muestra en la Figura 21, describiendo los límites del SOC, evidenciando un SOC mínimo a la hora 11.

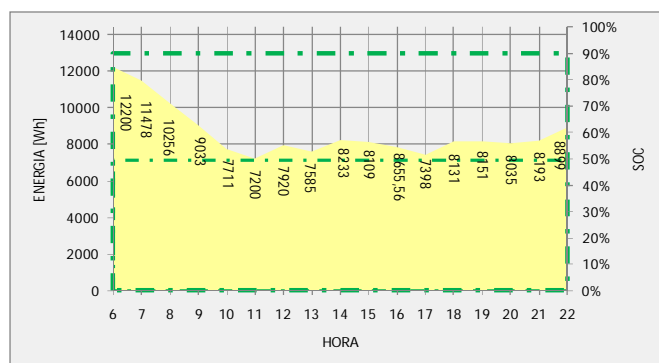


Figura 21. Comportamiento de la energía almacenada en la batería.

### 4.3.3 Sistema completo

El sistema completo es una agrupación de 18 unidades de generación independientes de dos tipos: conectado a la red y aislado, conformando dos subsistemas de doce (12) y seis (6) configuraciones respectivamente, tal como se muestra en la Figura 22.

<sup>14</sup> Estado de Carga de la batería.

<sup>15</sup> Por recomendación del fabricante se establece la carga mínima y máxima de la batería son el 50% y 90% (7 200 Wh y 12 900 Wh) de la carga total (14 400 Wh).

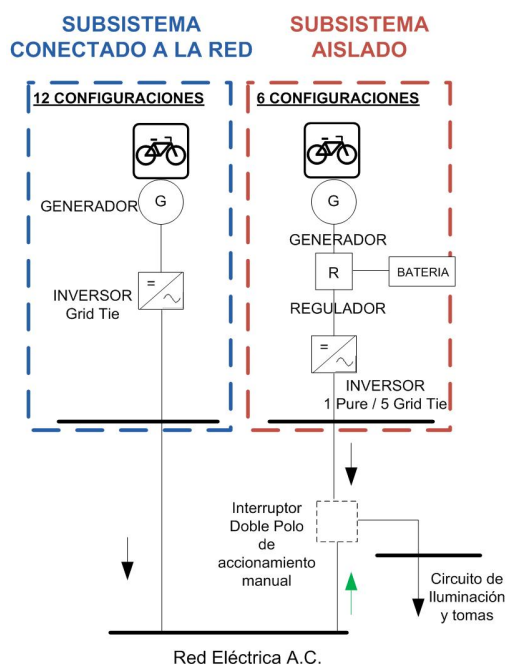


Figura 22. Diagrama básico de los dos subsistemas.

Las unidades del primer subsistema inyectarán energía eléctrica en tiempo real a la red; mientras, las unidades del segundo, tendrán como objetivo la alimentación de las cargas en corriente alterna del mini-gimnasio.

La conmutación entre el subsistema aislado y la red eléctrica es realizada con un interruptor doble polo, doble tiro de accionamiento manual, el cual se seleccionó con base en el criterio de máxima corriente.

## 5. DISEÑO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Para dimensionar las instalaciones eléctricas del mini-gimnasio, se consideró un cuarto tipo de 54 m<sup>2</sup> (6 m x 9 m) y de 3 m de altura; dentro de este espacio habrá un cuarto técnico modular de 9 m<sup>2</sup> para la ubicación de tableros eléctricos y almacenamiento de componentes del sistema, tal como se muestra en la Figura 23.

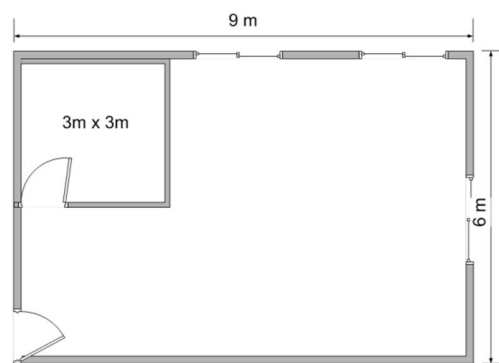


Figura 23. Cuarto tipo para el mini-gimnasio

Dada la configuración del sistema, son identificadas dos tipos de instalaciones eléctricas: de generación y de cargas específicas del recinto (iluminación y tomacorrientes).

Los conductores y protecciones se dimensionaron con el 125% de la corriente nominal, según la norma NTC 2050.

Para el cálculo de conductores, se tuvo en cuenta lo indicado en la Sección 310 de la NTC-2050, así como su apéndice B (Capacidad de corriente de conductores). Su selección fue realizada según la capacidad amperimétrica y nivel de regulación de tensión.

Para las protecciones se consideró lo expuesto en la Sección 240 de la NTC 2050.

Los conductores de tierra y de puesta a tierra se dimensionaron con base en lo indicado en la Tabla 250-95 de la NTC 2050.

El dimensionamiento de los ductos fue realizado a partir de la siguiente expresión:

$$\text{[mm]} \quad (5)$$

Los anexos E y F presentan las memorias de cálculo de dimensionamiento y selección de conductores, ductos y protecciones según los lineamientos del RETIE, NORMA ESSA y lo estipulado en la NTC 2050 [15, 16, 17].

### 5.1 Instalaciones eléctricas del sistema de generación

Las características técnicas de las instalaciones eléctricas de la etapa de generación son presentadas por subsistema y tipo de acople; y se ilustran a partir de los diagramas unifilares.

Su dimensionamiento fue realizado con base en los valores nominales de sus dispositivos y flujos de potencia característicos. El Anexo E presenta las memorias de cálculo de estas instalaciones.

### 5.1.1 Subsistema conectado a la red

Este subsistema consta de 12 configuraciones y tres diferentes acoples (tipo directo, por rodillos y tipo llanta), conectados directamente a la red.

La Figura 24 muestra el diagrama unifilar para los dos primeros acoples.

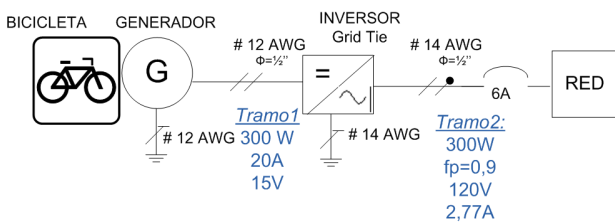


Figura 24. Diagrama unifilar para acople directo y por rodillos

De la misma manera, se muestra el diagrama unifilar para la unidad con acople tipo llanta, en la Figura 25.

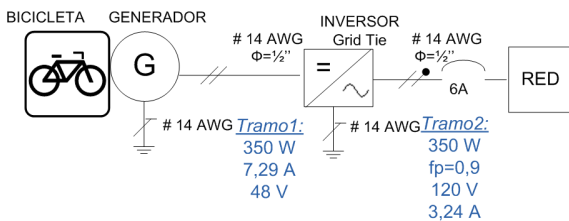


Figura 25. Diagrama unifilar acople tipo llanta

### 5.1.2 Subsistema Aislado:

Este subsistema alimentará dos (2) circuitos, uno de iluminación y otro de tomacorrientes. El circuito de iluminación estará compuesto por ocho (8) luminarias<sup>16</sup> de 55 W y el segundo circuito tendrá ocho (8) tomacorrientes<sup>17</sup> de 180 VA cada uno, para un total de 440 W y 1 440 VA, respectivamente. En definitiva, una demanda aproximada de 2 kVA.

En cada configuración se instalará un diodo de bloqueo entre el generador de corriente continua y el regulador, para garantizar el flujo unidireccional de la corriente, y así evitar corrientes parásitas o devoluciones de energía; y en consecuencia, la descarga de la batería. Esto puede ocurrir cuando el

generador esté inactivo y sea percibido como una carga.

Al igual que en el primer subsistema, cada configuración fue segmentada en tramos, con el fin de facilitar los cálculos. Los tramos identificados son: *tramo1*, generador-regulador; *tramo2*, regulador – batería; *tramo3*, regulador- inversor; *tramo4*, inversor – red. Los valores por tramo se presentan en el diagrama unifilar de la Figura 26.

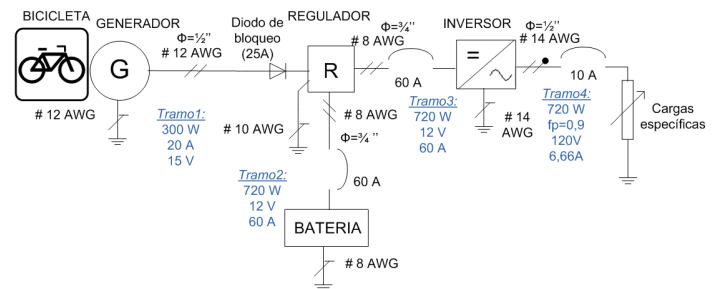


Figura 26. Diagrama unifilar acople directo con baterías.

### 5.1.3 Acometidas de los tableros

Los calibres y protecciones de la acometida se calcularon en el Anexo E.

Para el cálculo de la capacidad del tablero de control (TC) se considero una corriente máxima de 14,5 A, para un calibre #12 AWG, un conductor de puesta a tierra #12 AWG; y protección de 3 x 15 A.

El tablero de almacenamiento (TA), fue calculado con base en la carga total a alimentar, con una corriente máxima de 25 A, para un calibre #12AWG, un conductor de puesta a tierra #12AWG y una protección de 1x25 A.

La Figura 27 muestra un bosquejo del diagrama unifilar del sistema, donde las configuraciones independientes (C.I.) sombreados son los que corresponden al subsistema aislado.

<sup>16</sup> Estas luminarias se seleccionaron con base en un proceso de dimensionamiento, realizado a partir de simulaciones con Dialux.

<sup>17</sup> Según la NTC 2050 Art. 220-2.

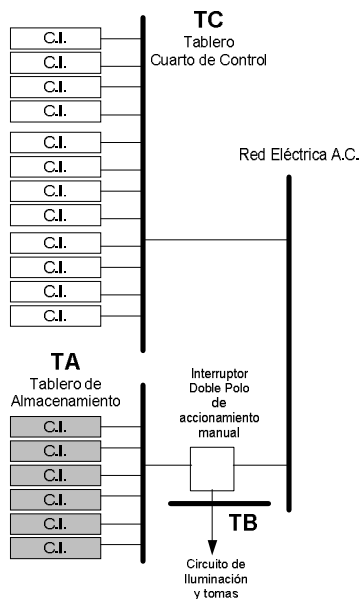


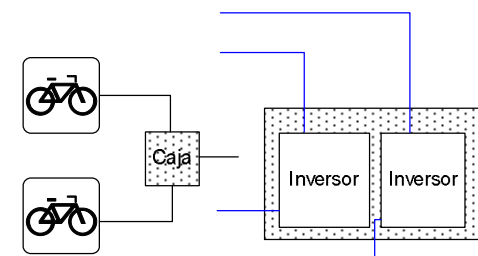
Figura 27. Diagrama básico de las configuraciones independientes.

El diagrama unifilar del sistema de generación se presenta en el Anexo H.

## 5.2 Disposición física de los componentes

Para evitar pérdidas por regulación de tensión, se dispondrá de una *caja* para la ubicación de los inversores de cada dos configuraciones. Estas cajas deben ubicarse cerca al generador y ser de un material resistente mecánicamente y aislante eléctricamente.

La Figura 28 muestra la disposición física al interior de la caja, cuyas dimensiones serán 30cm x 40cm x 30cm<sup>18</sup>, aproximadamente.



a) Diagrama físico de conexión. b) Disposición en caja  
Figura 28. Configuración de cajas.

En el caso del subsistema aislado, se dispondrá por configuración, de una caja adicional (caja de apoyo) como lo indica la Figura 29. Esta caja

18 Largo x Ancho x Alto

contendrá la batería y el regulador, y tendrá dimensiones de 35cm x 20cm x 25cm.

La disposición de las unidades estáticas en el recinto quedará según lo indicado en la Figura 29.

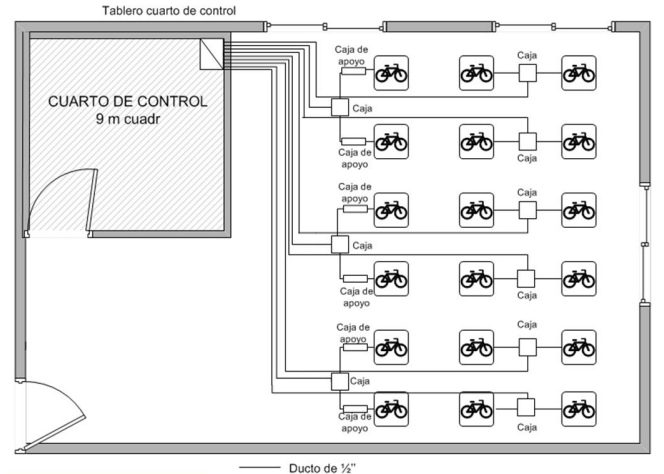


Figura 29. Plano del sistema de generación

## 5.3 Sistema de iluminación del mini-gimnasio

El sistema de iluminación fue diseñado a partir de simulaciones con el software *DiaLux*<sup>19</sup> y se realizó considerando lámparas fluorescentes debido a su uso potencial en la edificación<sup>20</sup>.

Luego de realizar simulaciones con diferentes alturas del montaje, y luminarias, fueron obtenidos los resultados mostrados en la Tabla 8. El análisis completo del sistema de iluminación se presenta en el Anexo I.

Tabla 8. Pruebas de iluminación en *DiaLux*.

Prueba	# de luminarias	Tipo de Luminarias	Em [lx]	E <sub>min</sub> [lx]	E <sub>min</sub> /E <sub>m</sub>
1	10	HAVELLSYLVANIA 0059026 Sylvania Octa BRIGHT Louvre 4x18W T8 (600x600)	743	288	0,387
2	10	HavellsSylvania 0058634 SYLREC 2 DOS 318 A2	651	203	0,311
3	7	HavellsSylvania 0058634 SYLREC 2 DOS 318 A2	375	177	0,47

La lámpara seleccionada fue la Havells Sylvania 0058634, debido a su mejor comportamiento lumínico para el recinto, dando cumplimiento a los

19 DIALUX, es un software para la planificación de iluminación de acceso gratuito.

20 La información, sobre el tipo de lámparas fue suministrada según los lineamientos para el diseño eléctrico que se tendrá en cuenta en el Edificio de Ingeniería Eléctrica II.

requisitos mínimos establecidos en la Norma ESSA<sup>21</sup>.

Aunque el nivel de iluminación mínimo para este escenario es de 150 luxes, se diseñó con un mayor rango para satisfacer las necesidades del puesto de cómputo. Las características de la luminaria seleccionada se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9. Características de la luminaria seleccionada.

Luminaria	Descripción
Referencia	Havells Sylvania 0058634
Color de Luz	Blanco Neutro
Consumo	55 W
Dimensiones	0,6 x 0,6 m

El sistema de iluminación constará de 8 luminarias (7 para el mini gimnasio y 1 para el cuarto de control) y se dispondrán como lo indican las figuras 30 y 31.



Figura 30. Diagrama 3D del mini gimnasio.

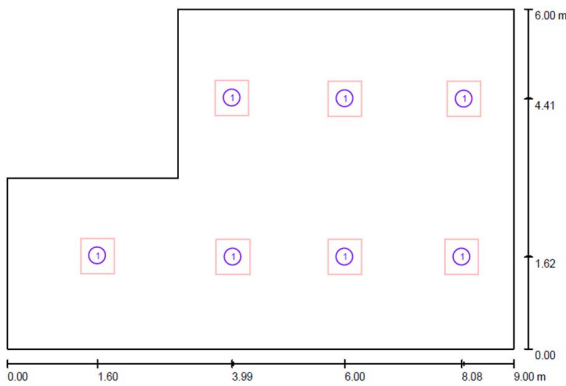


Figura 31. Diagrama 2D del mini gimnasio

#### 5.4 Instalaciones eléctricas complementarias del mini gimnasio (recinto)

<sup>21</sup> Tabla 3.2 Niveles de luminancia para escenarios deportivos, Capítulo 3.

En el Anexo F están especificados: la selección de las protecciones, el cableado, los ductos y las cajas necesarias según los lineamientos del RETIE (Capítulo II, Artículo 8 REQUERIMIENTOS GENERALES DE LAS INSTALACIONES ELECTRICAS), y lo estipulado en la NTC 2050.

Se dispondrá de un tablero para alimentar los circuitos de iluminación y tomacorrientes del mini-gimnasio (TB). Estos circuitos se acomodarán tal como lo indica la Figura 32.

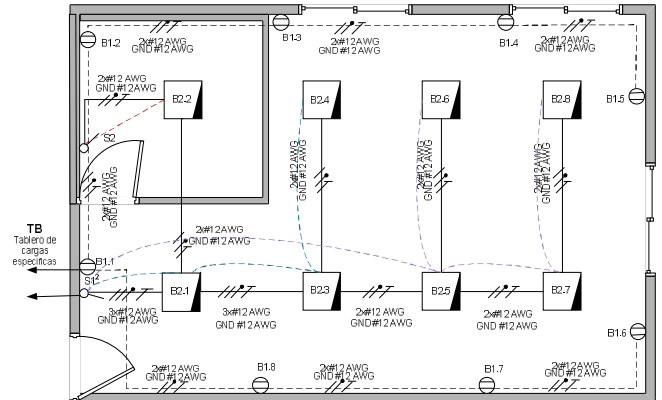


Figura 32. Iluminación y tomacorrientes del mini gimnasio

Con los parámetros obtenidos (calibres de los conductores, ductos y protecciones), se realiza el cálculo de la regulación de tensión, para corroborar el cumplimiento de los valores permisibles por la NTC 2050 y la Norma ESSA, tal como es descrito en el Anexo G.

### 6. DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO

Con el fin de conocer el comportamiento energético, es preciso monitorizar variables como tensión, corriente y velocidad de cada configuración independiente de generación.

Este objetivo se logra con la implementación de un sistema de monitorización, para sensar variables del sistema; adicionalmente, los datos adquiridos son transmitidos a un computador, por lo cual es necesaria una herramienta computacional que permita calcular y mostrar los resultados de forma gráfica.

El software de desarrollo de la aplicación computacional es *LabView*<sup>22</sup> de *National*

<sup>22</sup> LabVIEW es un entorno de programación gráfica usado para desarrollar sistemas de medida, pruebas y control usando íconos

*Instruments*, el cual tiene una interfaz que facilita el manejo de múltiples señales y permite el desarrollo de proyectos dirigidos a la instrumentación visual.

Adicionalmente, como el desarrollo del sistema de generación es un caso piloto, se requiere la monitorización intensiva de cada una de las etapas y configuraciones del sistema.

### 6.1 Adquisición de datos

Con base en lo antes expuesto, se dimensionó el sistema de adquisición de datos, que contará con sensores en la salida de cada etapa de las configuraciones independientes, y un dispositivo de adquisición de datos para la recolección de todas las señales de los sensores y alimentación de la herramienta computacional diseñada para su análisis.

Para el dimensionamiento de los sensores de tensión, corriente y velocidad se consideraron los rangos de operación de estas variables y de la unidad de adquisición de datos.

Posteriormente, se dimensionó el dispositivo de adquisición de datos, el cual debe contar con 114 entradas para las señales de los sensores, ya que como se observa en las figuras 33 y 34, son necesarios 5 sensores por cada configuración para un total de 6 configuraciones aisladas, y 9 sensores por configuración para 12 configuraciones conectadas a la red.

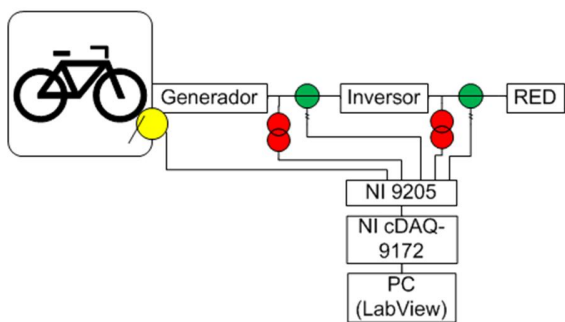


Figura 33. Esquema general de conexión del subsistema conectado a la red.

gráficos y cables que parecen un diagrama de flujo. Ofrece una integración de miles de dispositivos de hardware y brinda cientos de bibliotecas integradas para análisis avanzado y visualización de datos, todo para crear instrumentación virtual [18].

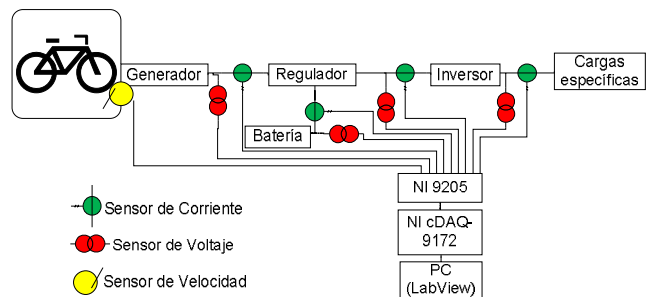


Figura 34. Esquema de bloques de conexión del subsistema aislado.

Asimismo, deben considerarse 6 señales adicionales provenientes del tablero de piso, para medir la potencia inyectada a la red, y dos señales asociadas a la alimentación de las cargas específicas; lo cual, suma en total 122 señales de entrada para el dispositivo de adquisición de datos.

Al tener en cuenta este conjunto de señales y el software (*LabView*), que será utilizado para su tratamiento, se seleccionó el dispositivo de adquisición de datos NI CompactDAQ-9178, junto con los módulos de adquisición E/S NI 9205, provenientes de la misma casa del fabricante del software *LabView* (*National Instruments*).

En el diseño del sistema la máxima distancia de separación entre los módulos E/S y los sensores es de 10m.

El chasis NI CompactDAQ controla la temporización, la sincronización y la transferencia de los datos adquiridos por los sensores, después de ser digitalizados por el modulo E/S NI 9205. Este esquema de transmisión se presenta en la Figura 35.

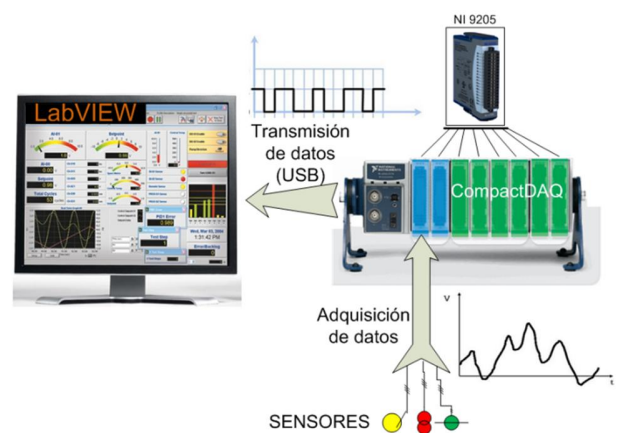


Figura 35. Esquema de adquisición y transmisión de datos.

Este módulo cuenta con 16 entradas analógicas diferenciales con un rango de entrada de  $\pm 200\text{mV}$  a  $\pm 10\text{ V}$  y una resolución de  $96\ \mu\text{V}$ ; esto significa

que, es necesario el uso de 8 módulos para atender la demanda de los sensores, copando así los 8 módulos E/S disponibles en el NI CompactDAQ.

Por otra parte, se tiene que los valores tipo del sistema son, en tensión de 0 a 48 Vdc y de 0 a  $\pm 140$  Vac, en corriente de 0 a 60 Adc y de 0 a  $\pm 25$  Aac y en velocidad 0 rpm a 9 000 rpm.

A partir de lo anterior, fueron seleccionados los sensores para la etapa de adquisición de datos especificados en la Tabla 10.

Tabla 10. Tipos de sensores.

VARIABLE	CANTIDAD	INPUT
TIPO DE SENSOR	REFERENCIA	OUTPUT
Corriente DC current sensor	30 913B-75 AAC	0 a 75 A DC 0 a 5 V AC
Corriente Solid-core AC current sensor	22 UCT-0400-030 MAGNELAB	0 A 30 A AC 0,333V AC a Full Scale
Tensión DC voltage sensor	30 CYVT01- 32S1-0.5-51 CHEN YANG	0 a 51 V DC 0 a 5 V AC
Tensión AC voltage transformer	22 SPT-0375-150 MAGNELAB	0 a 150 V AC 0,333V AC a Full Scale
velocidad Inductivo	18 86 MS HE09 HS	Hasta 10 kHz 0 a 5 V AC

## 6.2 Interfaz hombre-máquina

La interfaz hombre-máquina es la herramienta computacional desarrollada en *LabView*, encargada del procesamiento de las señales provenientes de los sensores, para dar como resultado, la visualización por parte del usuario de las potencias asociadas al sistema de generación.

El diseño de la interfaz tiene los siguientes objetivos:

- Capturar los datos provenientes de chasis CompactDAQ vía USB.
- Calcular la velocidad de pedaleo y potencia en cada etapa de cada configuración.
- Dar el aviso de conmutación al interruptor para conectar la red ó el subsistema aislado a las cargas específicas.
- Almacenar los datos provenientes de los sensores.
- Mostrar a los usuarios de las bicicletas la potencia total entregada por cada subsistema, la velocidad y potencia de cada configuración independiente.

Para lograr estos objetivos la interfaz se dividió en 5 pestañas, la primera muestra la potencia total que el sistema entrega a la red, la segunda y la tercera contienen las potencias asociadas a cada configuración del sistema, la cuarta pestaña muestra al usuario la velocidad y potencia generada para 9 configuraciones independientes, diseñado para ser visualizado en una de las dos pantallas LED del recinto, la quinta pestaña muestra las 9 configuraciones faltantes en la segunda pantalla LED.

Estas partes de la interfaz fueron diseñadas siguiendo un proceso de captura de datos, cálculo de potencia, cálculo de velocidad y aviso de conmutación que se muestra a continuación.

### 6.2.1 Captura de datos y cálculo de potencia

La captura de los datos provenientes del chasis CompactDAQ, se realiza por medio del bloque DAQ Assistant, el cual se configura para manejar las 122 señales.

Cada entrada al bloque POWER estará conformada por una señal de tensión y una de corriente. El bloque POWER, se encarga de detectar si son señales AC o DC y calcular su potencia instantánea, aparente, reactiva y el factor de potencia, según sea el caso.

Finalmente, estos cálculos de potencia son mostrados en un indicador, tal como se presenta en la Figura 36.

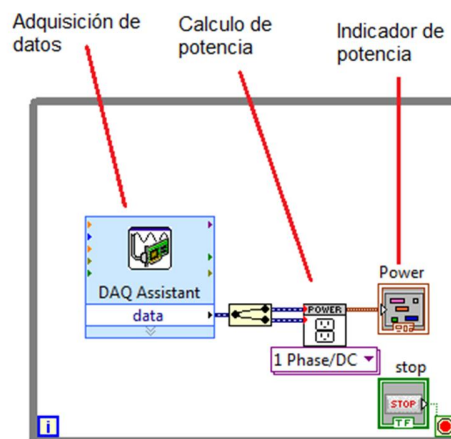


Figura 36. Diagrama de bloques para la adquisición de datos

### 6.2.2 Cálculo de velocidad

La señal del sensor de velocidad tiene una curva característica tal como lo muestra la Figura 37. Cada

pico positivo de la señal representa un giro del volante de la bicicleta, luego es necesario conocer el tiempo transcurrido entre A y B para determinar la velocidad de pedaleo equivalente.

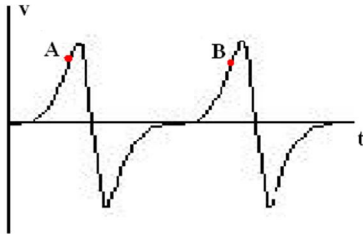


Figura 37. Señal del sensor de velocidad [7].

Para el cálculo del tiempo y su respectivo equivalente en revoluciones por minuto, se implementa el diagrama de bloques de la Figura 38. Este detecta las variaciones abruptas en la señal y el tiempo que transcurre hasta la próxima variación.

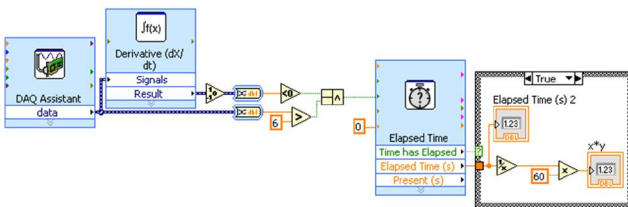


Figura 38. Diagrama de bloques calculo rpm.

### 6.2.3 Aviso de conmutación

El aviso de conmutación debe darse cuando la potencia generada por el subsistema aislado es insuficiente para atender la demanda de las cargas específicas; es decir, cuando la potencia de salida de los generadores más la potencia almacenada en baterías es inferior a la demanda de las cargas. Esto se detecta cuando la tensión o nivel de almacenamiento de la batería llega a su nivel mínimo de operación o de descarga.

### 6.3 Visualización de usuario

El usuario dispondrá de 5 pestañas de visualización; la primera mostrada en la Figura 39, permite ver la potencia total que el subsistema conectado a la red entrega.



Figura 39. Panel frontal 1.

La segunda pestaña presenta un panel diseñado para el administrador de la sala, el cual muestra las potencias de cada etapa del subsistema aislado, al igual que la alarma visual de conmutación (ver Figura 40).



Figura 40. Panel frontal 2.

La tercera pestaña, al igual que la segunda, muestra un panel diseñado para el administrador en el que se muestra la potencia generada por cada una de las bicicletas que pertenecen al subsistema conectado a la red, de acuerdo a la Figura 41.



Figura 41. Panel frontal 3.

Debido al número de configuraciones que conforman el sistema, se dispondrá de dos pantallas, cada una visualizará la información a los tripulantes de sólo 9 configuraciones. Cada grupo de configuraciones se muestra en la quinta y la sexta pestañas donde el usuario puede ver su velocidad y potencia generada; tal como se muestra en las figuras 42 y 43.

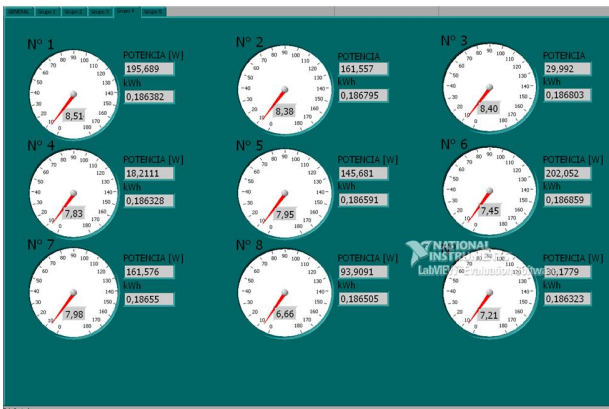


Figura 42. Pantalla LED 1.

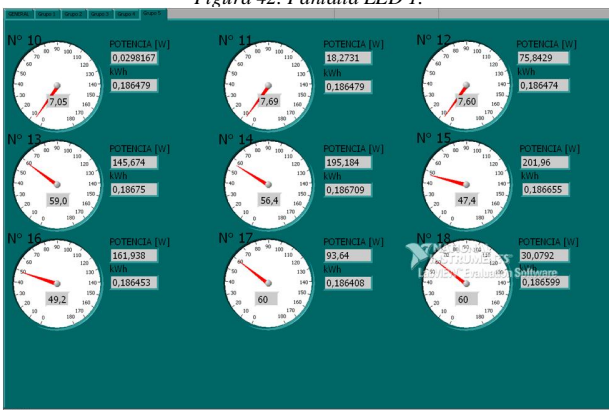


Figura 43. Pantalla LED 2.

La interfaz gráfica, requiere de un administrador que se encargará de activar la opción de grabar los datos de potencia, según lo requiera el tripulante; así como, dar aviso sobre la acción de conmutación que deba realizarse, conectar o desconectar las cargas específicas al subsistema aislado o a la red, asignar la ubicación de los tripulantes dentro del mini-gimnasio. Esto último, será determinado según el tiempo de operación de cada configuración, la energía generada, y la energía almacenada en la batería, si es el caso.

## 7. ANÁLISIS ENERGÉTICO DEL SISTEMA

El propósito del análisis energético es realizar un cálculo estimativo de la generación de energía del sistema, en un periodo determinado.

Este estudio consideró ocho (8) escenarios de tiempo de operación del sistema 2h, 4h, 6h, 8h, 10h, 12h, 14h y 16h; para los cuales, se simuló la generación del sistema. El análisis de duración anual, se basó en una operación durante 8 meses de 22 días.<sup>23</sup>

Con base en las pruebas de comportamiento de la velocidad del tripulante (Anexo A), se obtuvo la velocidad promedio (242,13 rpm) y la desviación estándar (47,56 rpm); con estos datos se simularon valores aleatorios de velocidad, los cuales fueron utilizados junto con la relación velocidad-potencia de salida del generador y las eficiencias de cada uno de los componentes del sistema, para obtener la potencia instantánea de análisis diario, mensual y anual entregada por el sistema. El Anexo K, describe los resultados por escenarios.

La Tabla 11 muestra un resumen de los resultados de la simulación.

*Tabla 11. Resultados del análisis energético*

Escenario de operación	Total día [kWh]	Total mes [kWh]	Total año [kWh]
2 horas	9,03	198,85	1 590,80
4 horas	17,80	391,81	3 134,49
6 horas	27,02	594,59	4 756,76
8 horas	35,93	790,51	6 324,08
10 horas	45,04	991,08	7 928,65
12 horas	53,05	1 167,21	9 337,72
14 horas	62,59	1 377,15	11 017,26
16 horas	71,25	1 567,52	12 540,20

<sup>23</sup>Debido a que el sistema operará durante dos periodos académicos al año y sólo funcionará entre semana.

Los resultados del estudio reflejan que el sistema de generación con un mínimo de funcionamiento de 2 horas podrá generar un poco más de 9 kWh por día, que serían inyectados a la red, al igual que con un tiempo promedio de generación de 10 horas se podrá generar mensualmente cerca de 1 000 kWh.

### 8. CONSIDERACIONES FINANCIERAS

Con el fin de establecer las implicaciones financieras del sistema diseñado, se determinó el monto de inversión requerido, los costos de operación y mantenimiento, el ahorro financiero producto de la energía eléctrica generada aprovechada, junto a los indicadores financieros, VPN (valor presente neto) y TIR (tasa interna de retorno).

Partiendo de una inversión inicial de \$77 200 660 (ver Anexo L), y del conocimiento del análisis energético para diversos escenarios, es realizado el cálculo del VPN y TIR del proyecto para horizontes de vida de 15 y 30 años, tal como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12. Ahorro neto anual por escenarios.

Escenarios [horas]	Generación anual [kWh]	Ahorro financiero por generación [\$]	Años	VPN (i=0%)	VPN (i=5%)	TIR
				[\$]	[\$]	
2	1 590,86	50 9075,2	30	-321 225 064	-179 193 829	NC
			15	-175 108 532	-136 068 542	NC
4	3 134,49	1 003 038,72	30	-245 224 404	-171 600 399	NC
			15	-167 699 079	-130 941 370	NC
6	4 756,76	1 522 163,2	30	-290 832 424	-163 620 183	NC
			15	-159 912 212	-125 553 035	NC
8	6 324,08	2 023 708,48	30	-275 786 066	-155 910 203	NC
			15	-152 389 033	-120 347 167	NC
10	7 928,65	2 537 168,0	30	-260 382 280	-148 017 071	NC
			15	-144 687 140	-115 017 632	NC
12	9 337,21	2 987 907,2	30	-246 860 104	-141 088 105	NC
			15	-137 926 052	-110 339 114	NC
14	11 065,76	3 541 025,92	30	-230 266 542	-132 585 315	NC
			15	-129 629 271	-104 597 930	NC
16	12 540,20	4 012 864,32	30	-216 111 390	-125 332 002	NC
			15	-122 551 695	-99 700 409	NC

Se observa que el VPN para cada escenario es negativo, lo cual implica que el sistema de generación tiene un costo de funcionamiento que

supera al ahorro que genera; en consecuencia la TIR no es calculable (NC).

De otra parte lo mostrado en la Anexo L, el ahorro financiero anual compensa los costos de operación y mantenimiento para escenarios mayores a 10 horas; es decir, que el ahorro en la factura de energía anual, puede ser invertido en costos de mantenimiento y operación del mini gimnasio.

Adicionalmente, es considerada la participación de las bicicletas estáticas, las instalaciones eléctricas y los equipos de gestión y mantenimiento en la inversión inicial de sistema del sistema de generación, y sus partes porcentuales tal como se muestran en la Figura 44, con el propósito de establecer la contribución en la inversión inicial.

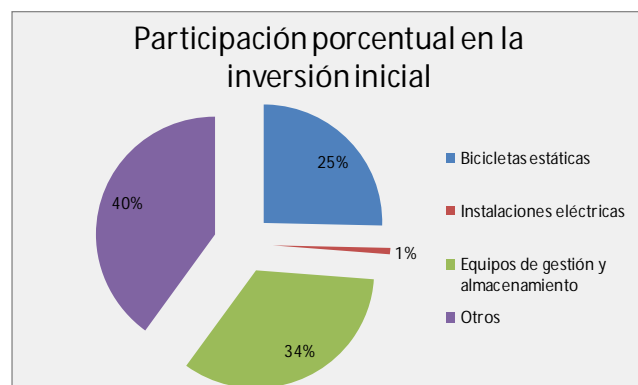


Figura 44. Participación porcentual de la inversión inicial.

Finalmente se consideraron los elementos del sistema según su vida útil expuestos en la Figura 45, mostrando mayor representatividad de los elementos con periodos de vida de 10 y 15 años; esto justifica el periodo de vida útil del proyecto.

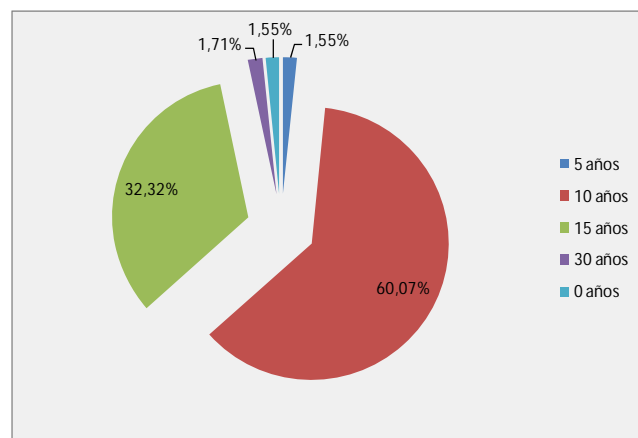


Figura 45. Elementos del sistema según vida útil.

## 8.1 Análisis financiero de una configuración

Con el fin de ilustrar el comportamiento financiero de una sola configuración tanto del subsistema conectado a la red como del subsistema aislado, se calculó la inversión inicial de cada configuración, resumida en la Tabla 13.

Tabla 13. Inversión inicial por configuración.

Subsistema	conectado a la red	aislado
Inversión inicial	\$ 1 282 500	\$ 3 853 500

Para este análisis no se consideraron los costos de instrumentación de las configuraciones.

Considerando los ocho escenarios de funcionamiento de 2h a 16 h, se simuló la generación de cada una de las configuraciones para un periodo anual.

Posteriormente se estimó el VPN, para un periodo de vida de 10 años para cada uno de los escenarios y los resultados se encuentran en las figuras 46 y 47.

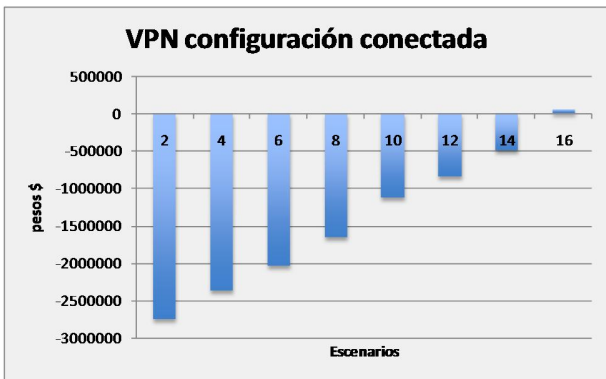


Figura 46. VPN para configuración conectada a la red

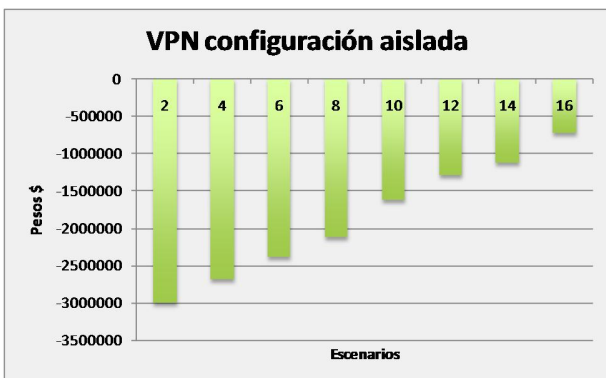


Figura 47. VPN para configuración aislada.

## 9. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En esta sección son expuestos los resultados y conclusiones obtenidas a partir de este trabajo de investigación.

## Del sistema de generación

Se concibió una propuesta para generación de energía en sitio a partir del uso de bicicletas estáticas en el Edificio de Ingeniería Eléctrica II. Esta iniciativa favorecerá la calidad de vida de los integrantes de la E3T.

La búsqueda de generación de energía en sitio y de forma no convencional, ha permitido visualizar el aprovechamiento de energía comúnmente desperdiciada, como es el caso de la actividad física realizada por el ser humano; esfuerzo que puede suplir parte de las necesidades energéticas de su entorno.

Con base en una prueba realizada a tres personas en el Centro Médico Deportivo *BODYTECH*, de la ciudad de Bucaramanga, durante una sesión de *Indoor Cycling*, fue estimado que una persona desarrollará una velocidad promedio de pedaleo cercana a 242 [rpm], con lo cual se tendría un potencial energético cercano a 300 [W] a la salida de un generador.

Se diseñó un sistema de generación de energía eléctrica de 5 [kW] de capacidad instalada, conformado por 18 configuraciones de generación independientes, los cuales estarán agrupados en dos subsistemas, uno aislado de la red con seis (6) configuraciones y otro de inyección de energía en tiempo real a la red con doce (12) configuraciones.

La variabilidad en la ocupación de las unidades del sistema, la velocidad de pedaleo desarrollada por cada tripulante, y la dependencia de las señales eléctricas del generador con respecto a la velocidad de pedaleo, hacen que las variables del sistema no sean compatibles para su conexión en paralelo; es por esto que, deben diseñarse configuraciones de forma independiente.

Las instalaciones eléctricas del mini-gimnasio, fueron diseñadas para las 18 configuraciones independientes de generación, y el sistema eléctrico de servicios complementarios de aproximadamente 2 kVA de carga instalada, conformado por 8 luminarias y 8 tomacorrientes.

Las configuraciones independientes de generación conectadas a la red inyectan la energía generada en tiempo real a la red eléctrica del edificio. Lo que ofrece una mayor eficiencia del sistema, y menores costos de inversión inicial, operación y mantenimiento, en comparación a las configuraciones de tipo aislado.

Las configuraciones de conexión directa a la red tienen una mayor eficiencia que los aislados, debido a: (1) tienen menos pérdidas por dispositivos, y (2) es posible que la energía en el subsistema aislado se pierda durante la generación, si las baterías están cargadas y la demanda es menor en comparación a la potencia generada.

El diodo de bloqueo en el sistema aislado es de carácter obligatorio, para evitar descargas de las baterías cuando el generador se encuentre inactivo.

### **De la selección de componentes**

Mediante la aplicación de la metodología AHP, se seleccionó la bicicleta de *spinning* modelo *Inox* de la casa *Sport Fitness*, considerando el costo y las características técnicas, como criterios de selección.

Se estableció que el principal aspecto a considerar en la selección de la bicicleta, es la adaptabilidad del acople-generador con su volante.

Se evidenció la creciente tendencia de adaptar, inventar y diseñar dispositivos para hacer posible la generación en sitio. Dentro de esta tendencia, se encontraron en el mercado tres tipos de acople (directo, rodillo y llanta) para obtener energía eléctrica de bicicletas estáticas.

Los dispositivos acople-generador comerciales para el aprovechamiento de la energía en una bicicleta de *spinning* funcionan con base en la velocidad de pedaleo del tripulante, y no en el esfuerzo desarrollado por éste.

En el mercado nacional no es aun apreciable la comercialización de acoples-generadores, a pesar de la existencia de soluciones y dispositivos que permiten la generación de energía en sitio.

Los dispositivos con tecnología MPPT conectados en bornes del generador, lograrán ajustar la tensión de salida con el objeto de obtener del generador la máxima potencia posible.

Las baterías de ciclo profundo, son una opción tecnológicamente viable y de alta elegibilidad, debido a que mantienen su tensión de funcionamiento estable y tienen una mayor vida útil.

### **De la interfaz Hombre - máquina**

Se diseñó un sistema de monitorización para analizar el comportamiento del sistema de generación. Está conformado por 4 etapas: sensado,

adquisición, procesamiento y visualización. Para cada configuración se dispusieron tres (3) tipos de sensores (corriente, tensión y velocidad). En cuanto a la adquisición de datos, el procesamiento y la visualización de resultados, se estableció una interfaz hombre-máquina. El sensado es realizado para cada configuración independiente.

La visualización de resultados del sistema de monitorización podrá realizarse en tiempo real tanto por personal técnico, como por los tripulantes de las unidades estáticas, a partir de pantallas. La información a visualizar ha sido clasificada en función del rol (personal técnico o tripulante).

La interfaz fue realizada sobre la plataforma *LabView*; además, permitirá el almacenamiento de datos para análisis posteriores.

Los sensores fueron seleccionados de acuerdo con el rango de valores de las variables del sistema. Para la medición de tensión (0 - 48Vdc y de 0 a  $\pm$  140 Vac), corriente (0 -60 Adc y 0 a  $\pm$  25 Aac), y de la velocidad del eje del generador (0 - 9 000 rpm), seleccionando un sensor tipo inductivo.

La interfaz hombre-máquina fue elaborada sobre la plataforma *LabView*, ya que esta es una buena opción tecnológica para la adquisición de información en tiempo real, debido a que permite adquirir y procesar señales de distinto tipo, facilitando la sincronización, modulación y temporización de hasta 256 señales.

### **Del análisis energético-financiero**

Se realizó una estimación del comportamiento energético del sistema para ocho (8) escenarios de varias horas diarias, durante 22 días al mes y 8 meses al año.

La inversión inicial del sistema de generación, para el edificio ascenderá a \$ 77 200 660.

Para el subsistema conectado a la red se estableció una eficiencia de 76,5% y para el subsistema aislado a la red operando sin almacenamiento en baterías de 68,8%.

El potencial ahorro financiero anual, considerando 10 horas diarias de operación del sistema asciende a \$2 540 000 por concepto de la reducción del consumo de energía eléctrica de la red principal.

### **Aportes personales**

Se pudo reafirmar y complementar fundamentos teóricos adquiridos durante los estudios, impulsando la capacidad de resolución de problemas propios de la ingeniería.

Se incursionó en el área de la generación en sitio, temática tecnológica de auge en la actualidad, la cual abre nuevas expectativas a nivel de formación práctica, intelectual y laboral.

Los resultados de este estudio serán un insumo, para la futura implementación del sistema de generación en el mini gimnasio del nuevo edificio de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander [1].

### Recomendaciones

Para futuros estudios en este campo, se sugieren las siguientes recomendaciones:

Es necesario continuar con la investigación en este campo, a fin de lograr una optimización energético-financiera, para lo cual se podría dar como primer paso, el diseño de una herramienta computacional, que permita el análisis energético del sistema de forma robusta, a partir de un trabajo de investigación de maestría.

Se debe realizar un análisis detallado de otros posibles acoples-generadores, con el fin de establecer las mejores prestaciones para la posible implementación del sistema.

Como ejercicio académico se deja a consideración, la implementación de dos configuraciones: una conectada a la red y una aislada; con el fin de validar los datos presentados en este trabajo.

## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Osma Pinto, Germán Alfonso. “*Uso racional de la energía en el edificio de Eléctrica II a partir del diseño de aplicaciones energéticas sostenibles*”. Trabajo de investigación de Maestría. Universidad Industrial de Santander. Director: Dr. Gabriel Ordoñez. 2011
- [2] ¿Cómo es una bicicleta de *spinning*? Artículo extraído de [www.foroindoor.com](http://www.foroindoor.com). Disponible el 9 de noviembre de 2010.

- [3] Osorio, Arturo, “Generador eléctrico accionado por fuerza humana: una nueva alternativa de generación de energía”, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, 2007.
- [4] “Como pedalear correctamente”. Artículo extraído de [www.nosinbici.com](http://www.nosinbici.com). Disponible el 10 de noviembre de 2010.
- [5] Centro de Acondicionamiento físico *BODYTECH*, Página oficial [www.bodytech.com.co](http://www.bodytech.com.co). Disponible 17 Julio de 2011.
- [6] Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española. Página oficial [www.rae.es](http://www.rae.es). Disponible 20 Enero de 2011.
- [7] [www.real2electronics.com](http://www.real2electronics.com). Disponible 1 octubre de 2011
- [8] [www.pedalpowergenerator.com](http://www.pedalpowergenerator.com), Página oficial Sistema Pedal vision, disponible, Enero 2011.
- [9] [www.goldenmotor.com](http://www.goldenmotor.com), Página Oficial Sistema MagicPie Wheels. Disponible Enero 2011.
- [10] Thomas L. Saaty, “*The Analytical Hierarchical Process*”, J. Wiley. New York. 1980.
- [11] Catalogo HA Bicicletas, Disponible en [www.habicicletas.com](http://www.habicicletas.com), Enero 2011.
- [12] [www.phoebus-solar.com](http://www.phoebus-solar.com) . Página donde se encuentran los inversores requeridos. Febrero 2011
- [13] [www.battcompany.com](http://www.battcompany.com) . Catalogo de baterías en línea. Disponible Noviembre 2010.
- [14] [www.blueligth.com](http://www.blueligth.com). Catalogo de Reguladores. Disponible Diciembre de 2010.
- [15] NTC 2050 Primera actualización, “Código Eléctrico Colombiano”. Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). 2002.
- [16] RETIE. REGLAMENTO TECNICO COLOMBIANO DE INSTALACIONES ELECTRICAS. Anexo General. Agosto de 2008.
- [17] NORMA ESSA PARA EL CÁLCULO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE DISTRIBUCION. Anexo general.2005.
- [18] *National Instruments*, Página oficial [www.ni.co](http://www.ni.co). Disponible 28 Enero 2011.
- [19] R. Strzelecki, M. Jarnut, G. Benysek, “Exercise bike powered electric generator for fitness club appliances”, University of Zielona Góra, 2010.
- [20] Agustín Arango Gómez, “EKO-SPINNING”, Instituto Politécnico Jesús Obrero, 2007.

## 11. ANEXOS

### ANEXO A. PRUEBAS DE VELOCIDAD DEL TRIPULANTE (BODYTECH)

En este anexo se presentan las pruebas realizadas con el objeto de determinar la velocidad de pedaleo promedio, en revoluciones por minuto de una persona que vaya a tripular una bicicleta de *spinning*.

Para la prueba se tomaron tres (3) personas al azar, durante una clase de *Indoor Cycling*. Para cada persona se presenta primero, una información personal y los resultados, seguido de una tabla de frecuencia de aparición de datos; y finalmente, se presenta un histograma asociado.

#### TEST A.1

Nombre:	Sandra Suarez	Clase:	Travesía	Av:	22,7 km/h
Edad:	27 años	Duración:	00:41:10	Max:	34,9 km/h
Sexo:	Femenino	Distancia:	15,3 km	Calorías:	232,7
Peso:	58 kg				

Clase [rpm]	Frecuencia (aparición de datos)	% acumulado de datos
0-100	0	0,00%
100-150	0	0,00%
150-200	5	2,02%
200-250	103	43,72%
250-300	80	76,11%
300-350	57	99,19%
350-400	1	99,60%
400-450	1	100,00%
450-500	0	100,00%
y mayor...	0	100,00%

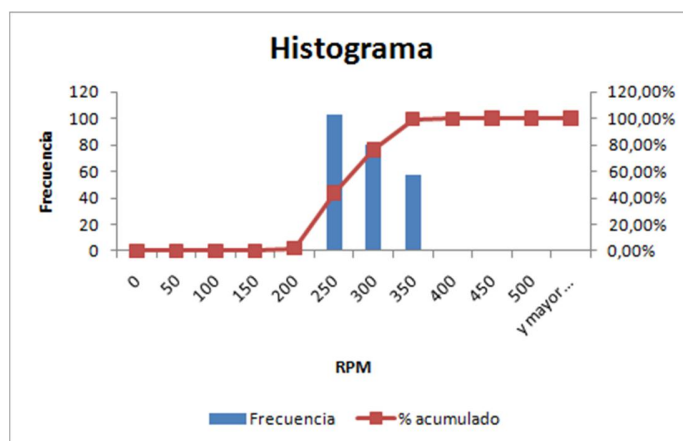


Figura A.1 Histograma prueba realizada a Sandra Suarez.

#### TEST A.2

Nombre:	Julián Flórez	Clase:	Intervalos	Av:	19,1 km/h
Edad:	24 años	Duración:	00:51:10	Max:	44.4 km/h
Sexo:	Masculino	Distancia:	14,57 km	Calorías:	196
Peso:	75 kg				

Clase [rpm]	Frecuencia (aparición de datos)	% acumulado de datos
0-100	0	0,00%
100-150	12	3,90%
150-200	45	18,51%
200-250	205	85,06%
250-300	6	87,01%
300-350	5	88,64%
350-400	11	92,21%
400-450	11	95,78%
450-500	12	99,68%
500-550	1	100,00%
y mayor...	0	100,00%

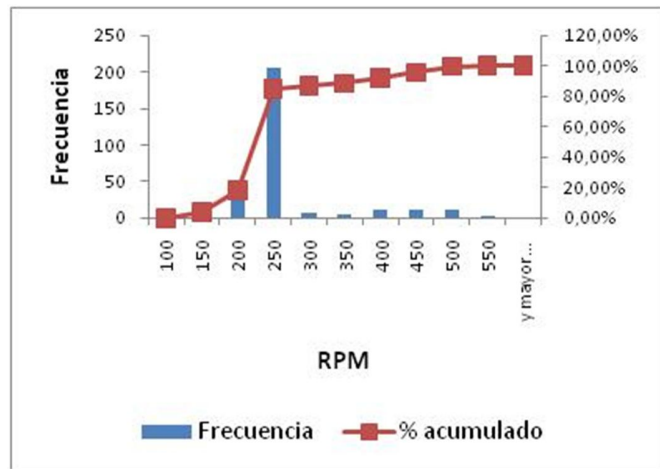


Figura A.2 Histograma prueba realizada a Julián Flórez.

### TEST A.3

Nombre:	Eliana Guerrero	Clase:	Travesía	Av:	20,8 km/h
Edad:	33 años	Duración:	00:43:40	Max:	38,6 km/h
Sexo:	Femenino	Distancia:	12,8 km	Calorías:	183,3
Peso:	52 kg				

Clase [rpm]	Frecuencia (aparición de datos)	% acumulado de datos
0-100	0	0,00%
100-150	5	1,91%
150-200	19	9,16%
200-250	144	64,12%
250-300	32	76,34%
300-350	17	82,82%
350-400	24	91,98%
400-450	21	100,00%
450-500	0	100,00%
y mayor...	0	100,00%

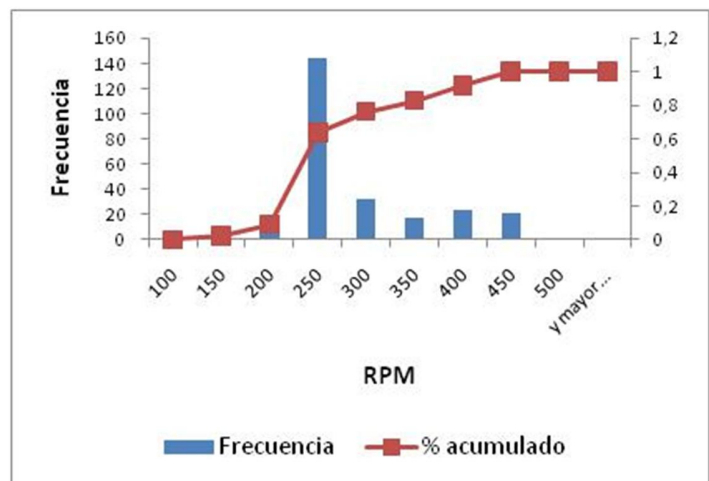


Figura A.3 Histograma prueba realizada a Eliana Guerrero.

## **ANEXO B. TABLA DE CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE CADA UNA DE LAS BICICLETAS**

En este anexo se presentan las opciones de bicicletas estáticas consideradas para la selección, la Tabla B.1 describe las características de cada bicicleta analizada.

*Tabla B.1 Características de las Bicicletas a analizar.*

BICICLETAS	PESO VOLANTE	PESO MÁXIMO DE USUARIO	SISTEMA MULTIPOSICIÓN*	MARCA	SISTEMA DE ARRASTE DE VOLANTE	GARANTÍA	PRECIO	ALMACÉN
Bicicleta Spinning Xplot	18 kg	130 kg	3	sport fitness	Banda	1 año	\$ 1 407 000	Vera Lima-Athletic- Athletics Sports
Bicicleta Spinning Inox	22 kg	140 kg	4	sport fitness	Banda	1 año	\$ 1 226 000	Vera Lima-Athletic- Athletics Sports
Bicicleta Spinning PS 300	22 kg	150 kg	3	sport fitness	Cadena	1 año	\$ 1 956 000	Vera Lima-Athletic- Athletics Sports
Bicicleta Spinning WT 9.2	18 kg	130 kg	3	sport fitness	Cadena	1 año	\$ 710 000	Vera Lima-Athletic- Athletics Sports
Bicicleta Spinning Grand 745	18 kg	140 kg	3	GRAND	Cadena	1 año	\$ 987 000	Vera Lima-Athletic- Athletics Sports
Bicicleta Spinning Grand Evolution	18 kg	140 kg	3	GRAND	Cadena	1 año	\$1 058 000	Vera Lima-Athletic- Athletics Sports
Bicicleta Spinning Grand Evolution	18 kg	140 kg	3	GRAND	Banda	1 año	\$ 1 150 000	Vera Lima-Athletic- Athletics Sports
Bicicleta Spinning Sportop	18 kg	137 kg	3	Sport Top	Banda	1 año	\$ 998 000	Athletic

\*Sistema Multiposición: permite graduar la posición de las diferentes partes de la bicicleta de *spinning* como lo son, el timón, el sillín, etc.

## ANEXO C. MODELO JERÁRQUICO AHP

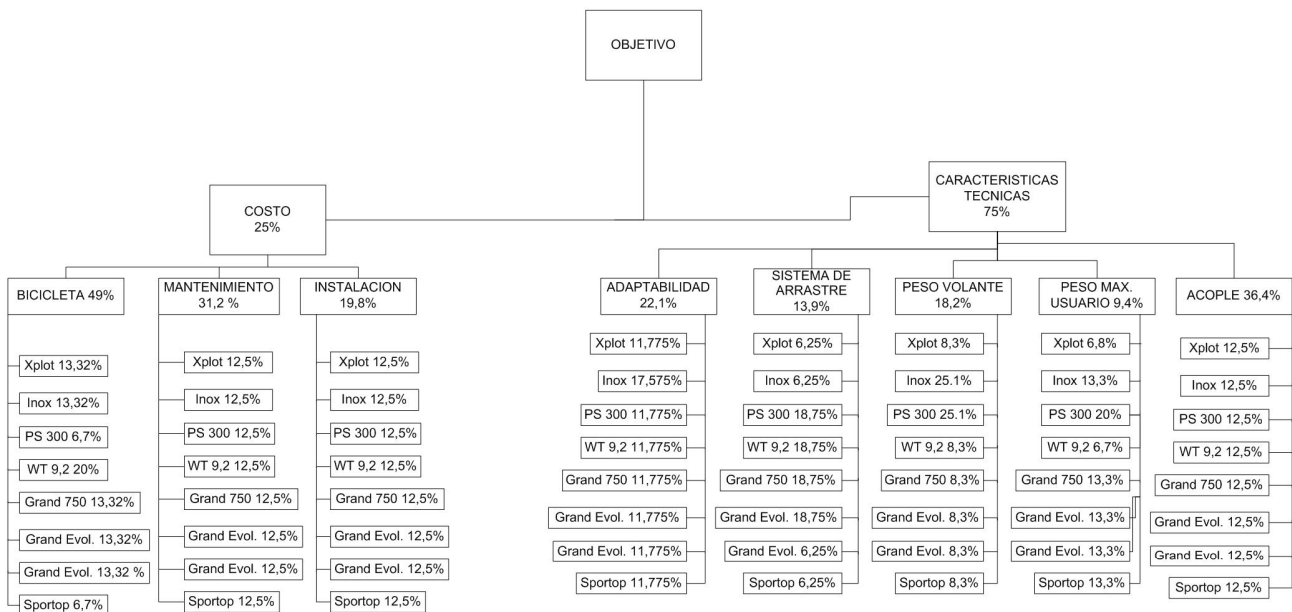
En este anexo se muestra la selección de la bicicleta estática, el cual es un proceso de análisis jerárquico y está diseñado para resolver problemas de criterios múltiples. Este proceso requiere, en primera medida, de una evaluación subjetiva de la importancia relativa de cada uno de los criterios, seguida de la especificación de preferencia con relación a cada una de las alternativas de decisión. Este proceso da como resultado una jerarquización de las diferentes alternativas de acuerdo con las preferencias globales [Thomas L. Saaty, "The Analytical Hierarchical Process", J. Wiley, New York, 1980].

En este caso el objetivo global, para el cual es utilizado el análisis AHP, es seleccionar la mejor bicicleta para el sistema de generación eléctrica. Partiendo de esto, se escogen los criterios más importantes para esta selección, en este caso puntual, el costo y las características técnicas de la bicicleta; seguidamente, es ponderada la importancia relativa que tienen estos dos criterios (25% y 75%, respectivamente).

Partiendo de estos criterios, se buscan las alternativas de selección más importantes de cada uno y se procede a jerarquizar estas alternativas; para posteriormente, ponderar cada opción (cada una las bicicletas) de uno a tres, siendo 1 una mala ponderación y 3 una muy buena ponderación, con respecto a cada una de las alternativas de selección.

Por último, el proceso de análisis pondera cada bicicleta, dando la mejor ponderación a aquella opción que sea la más adecuada para ser seleccionada.

En la Figura C.1, se muestra el árbol de jerarquía de cada una de las alternativas de selección, con sus respectivas ponderaciones en porcentaje. Ya que las alternativas son comparadas una a una entre sí para ser clasificada, esta clasificación se traduce en el porcentaje de relevancia en cada criterio para su mejor entendimiento.



Bicicleta	TOTAL	Puesto
Xplot	0,197	2
Inox	0,226	1
PS 300	0,089	7
WT 9,2	0,113	3
Grand 745	0,099	4
Grand Evol.	0,099	4
Grand Evol.	0,096	6
Sportop	0,082	8

Figura C.1 Memorias decisión AHP.

## ANEXO D. DIMENSIONAMIENTO DE LAS BATERÍAS

Este anexo muestra el dimensionamiento de las baterías, en el cual se debe tener en cuenta la tensión de las baterías, la capacidad de carga y la capacidad de descarga [Osma Pinto, Germán Alfonso. “*Uso racional de la energía en el edificio de Eléctrica II a partir del diseño de aplicaciones energéticas sostenibles*”. Trabajo de investigación de Maestría. Universidad Industrial de Santander. Director: Dr. Gabriel Ordoñez. 2011]

En este caso la potencia a alimentar es la demanda de luminarias y tomacorrientes del mini gimnasio, esta potencia se encuentra alrededor de 1,8 kW.

### Capacidad de carga:

$$\frac{\text{Energía entrante por hora}}{0,2 V_{\text{sistema}}} = \frac{270 \text{ Wh}}{0,2 * 12V} = 112,5 \text{ [Ah]}$$

### Capacidad de descarga:

$$\frac{\text{Energía requerida promedio de la carga}}{V_{\text{sistema}} * \text{Profundidad} * n_{\text{equipos}} * \text{Factor de corrección}} = \frac{1800/6}{12 * 0,5 * 0,9 * 0,9 * 0,8} = 77,16 \text{ [Ah]}$$

La profundidad para las baterías según los fabricantes es de 0,5, y el factor de corrección de 0,8; la eficiencia de los equipos (regulador e inversor) son 90% y 90% respectivamente.

También se consideró la autonomía de operación de las baterías, para el caso más desfavorable, en el que la carga este demandando 1,8 kW durante 2,5 horas en ausencia de iluminación natural.

$$\text{Capacidad de autonomía} = \text{Capacidad de descarga} * 2,5 \text{ horas} = 192,9 \text{ [Ah]}$$

Dado que el mayor de estos resultados es 192,9 Ah, con base en este valor se realizó el dimensionamiento de la batería, por tanto, se selecciona con una capacidad de 200 Ah.

Entre las opciones del mercado, se encontró la batería RPOWER GEL 12V 200Ah, libre de mantenimiento, medioambientalmente limpia y cumplen con los requerimientos técnicos. La ficha técnica de esta batería es presentada en la Tabla D.1.

*Tabla D.1 Especificaciones técnicas de la batería seleccionada*

Modelo de la batería	SN12200DC (12V 200AH)	
Dimensión	Longitud	522mm
	Anchura	250mm
	Altura del envase	208mm
	Altura total (con el terminal)	208mm
Peso aproximado	Aproximadamente 58 kilogramos	
Capacidad clasificada	200 AH	(10hr, 1.80V/cell, 25°C/77°F)
	174 AH	(5hr, 1.75V/cell, 25°C/77°F)
	155 AH	(3hr, 1.75V/cell, 25°C/77°F)

---

	136 AH (1hr, 1.60V/cell, 25°C/77°F)
Corriente derivada máxima	2 400A (5s)
Resistencia interna	3.66mΩ aproximadamente
	Descarga: -15~50°C (5 ~122°F)
Rango de funcionamiento	Carga: 0~40°C (32 ~104°F)
	Almacenaje: -15~40°C (5~104°F)
Temperatura nominal de funcionamiento	25±3°C (77±5°F)
Uso del ciclo	Corriente de carga inicial menos que 25%. Voltaje 14.1V-14.7V en el Temp de 25° C (77° F). Coeficiente -30mV/°C
Uso espera	Corriente de carga inicial menos que 25%. 13.5V~13.8V Temp de 25° C (77° F). Coeficiente -20mV/°C
Capacidad afectada cerca Temperatura	40°c (104°F) 103% 25°C (77°F) 100% 0°C (32°F) el 86%
Auto descarga	capacidad restante de 3 meses: el 91% capacidad restante de 6 meses: el 82% capacidad restante 12 meses: el 65%
	Las baterías se pueden almacenar por hasta 6 meses a 25° C (77°F). Para temperaturas más altas el intervalo de tiempo será más corto.

---

## ANEXO E. INSTALACIONES ELÉCTRICAS DEL SISTEMA DE GENERACIÓN

Este anexo muestra el dimensionamiento de las instalaciones eléctricas del sistema de generación, para cada subsistema (conectado a la red y aislado).

Para dimensionar estos componentes se utiliza el criterio de corriente dado de la siguiente expresión:

$$I = 1,25 * I_{nominal}$$

Para el cálculo de conductores, se tuvo en cuenta lo indicado en la Sección 310 de la NTC-2050; así como, su apéndice B (Capacidad de corriente de conductores). Para las protecciones fue considerado lo expuesto en la sección 240-6 de la NTC 2050. Los conductores y protecciones son dimensionados con el 125% de la corriente nominal, según la norma NTC 2050. Los conductores de puesta a tierra se dimensionan con base en lo indicado en la Tabla 250-95 de la NTC 2050. El dimensionamiento de los ductos es realizado a partir de la siguiente expresión y el Capítulo 9 de la NTC 2050:

$$d_{tuberia} \geq 1,58 \sqrt{\sum (d_{cable j})^2} [mm]$$

### SUBSISTEMA CONECTADO A LA RED:

Acople directo - Acople por rodillos – Acople tipo llanta:

Para el cálculo de los conductores y protecciones del sistema de generación, se fraccionó cada configuración en dos tramos: (1) generador-inversor, y (2) inversor –fase de la red.

La Tabla E.1 muestra los resultados de los cálculos.

*Tabla E.1 Calibres ductos y corriente máxima de las unidades estáticas sin batería*

SUBSISTEMA CONECTADO A LA RED									
ACOPLES	UNIDADES (#)	GENERADOR - INVERSOR (1)	INVERSOR-FASE (2)	CALIBRE CONDUCTOR (AWG)		CORRIENTE (A) 1,25*Inominal		DUCTOS	
				Tramo 1	Tramo 2	tramo1	tramo2	tramo1	tramo2
DIRECTO	10 (1-10)	P : 300W I: 20A	P : 300W V: 120V fp: 0,9	3 X # 12	3 X # 14	25	3,47	½"	½"
RODILLOS	1 (11)			3 X # 12	3 X # 14	25	3,47	½"	½"
LLANTA	1(12)	P: 350W V: 48V	P: 350W V: 120V fp: 0,9	3 X # 12	3 X # 14	9,1	4,05	½"	½"

### SUBSISTEMA AISLADO DE LA RED:

Todas las configuraciones de este subsistema son de acople directo; para su análisis se fraccionó en 4 tramos: (*tramo1*, generador-regulador; *tramo2*, Regulador – batería; *tramo3*, regulador- inversor; *tramo4*, Inversor – red).

Los datos nominales de estos tramos son mostrados en la Tabla E.2.

DATOS POR TRAMOS				
Valor Nominal	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4
P [W]	300	720	720	720
I [A]	20	60*	60*	6,6
V[V]	15	12	12	120
fp	1	1	1	0,9

Tabla E.2 Datos por tramos

\*corriente máxima del regulador

La Tabla E.3 muestra los resultados de los cálculos.

Tabla E.3 Calibres, ductos y corrientes máximas de las unidades estáticas con baterías.

SUSBSISTEMA AISLADO														
TRAMOS	CALIBRE CONDUCTOR (AWG)				DUCTOS				CORRIENTE (A)				PROTECCION (A)	
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	2	3
Unidad 13	2 X # 12	2 X # 8	2 X # 8	2 X # 14	½"	¾"	¾"	½"	25	60	60	8,25	60	60
TIERRA	1 x # 12	1 x # 8	1 x # 8	1 x # 14										
Unidad 14	2 X # 12	2 X # 8	2 X # 8	2 X # 14	½"	¾"	¾"	½"	25	60	60	8,25	60	60
TIERRA	1 x # 12	1 x # 8	1 x # 8	1 x # 14										
Unidad 15	2 X # 12	2 X # 8	2 X # 8	2 X # 14	½"	¾"	¾"	½"	25	60	60	8,25	60	60
TIERRA	1 x # 12	1 x # 8	1 x # 8	1 x # 14										
Unidad 16	2 X # 12	2 X # 8	2 X # 8	2 X # 14	½"	¾"	¾"	½"	25	60	60	8,25	60	60
TIERRA	1 x # 12	1 x # 8	1 x # 8	1 x # 14										
Unidad 17	2 X # 12	2 X # 8	2 X # 8	2 X # 14	½"	¾"	¾"	½"	25	60	60	8,25	60	60
TIERRA	1 x # 12	1 x # 8	1 x # 8	1 x # 14										
Unidad 18	2 X # 12	2 X # 8	2 X # 8	2 X # 14	½"	¾"	¾"	½"	25	60	60	8,25	60	60
TIERRA	1 x # 12	1 x # 8	1 x # 8	1 x # 14										

La protección se hace estrictamente necesaria para los tramos 2 y 3, debido a que la corriente de la batería puede crecer en determinado caso, que la carga lo requiera, hasta 200 A, pero se debe proteger el regulador cuya corriente máxima 60 A.

### Calibre acometida TC (Tablero de control)

Debido a que este tablero es trifásico - tetrafilar, y llegan 12 configuraciones, los cuales se dividieron en 4 para cada fase, se calculó la corriente máxima de estas fases, para después hallar su respectiva protección. De este modo para las que llegan 4 unidades estáticas bicicleta-acople se tendrá:

$$I_{\text{nominal}} = \frac{333,3 \text{ VA} * 4}{120\text{V}} = \frac{1\ 333,3\text{VA}}{120\text{V}} = 11,1\text{A}$$

$$I = 1,25 * I_{\text{nominal}} = 13,9\text{A}$$

Según la Tabla 310-16 (NTC 2050), se seleccionó #14 AWG, ya que soporta 15 A.

Para las que llegan tres (3) unidades estáticas bicicleta-acople directo y la unidad "tipo llanta":

$$I_{\text{nominal}} = \frac{(333,3 * 3) + 388,9}{120} = \frac{1388,9}{120} = 11,57\text{A}$$

$$I = 1,25 * I_{\text{nominal}} = 14,47\text{A}$$

Tabla 310-16 (NTC 2050), sirve el conductor #14 AWG ya que soporta 15 A.

Para ambas configuraciones es seleccionado el mismo conductor; sin embargo, para efectos mecánicos se utilizará #12 AWG, entonces se realizará la protección de la acometida.

#### **Protección acometida:**

Con la corriente hallada para dimensionar el conductor se busca en la Sección 240-6(a) (NTC 2050) servirá protección de 3x15 A.

#### **Calibre acometida TA (Tablero de almacenamiento)**

Este tablero se dimensionó con la carga (iluminación y tomacorrientes) máxima, que pudiera demandar el mini gimnasio.

$$I_{\text{nominal}} = \frac{2\,000\text{ VA}}{120\text{V}} = 16,67\text{ [A]}$$

$$I = 1,25 * I_{\text{nominal}} = 20,84\text{ [A]}$$

Según la Tabla 310-16 (NTC 2050), es seleccionado un conductor calibre #12 AWG, ya que soporta 25 A, entonces se realizará la protección de la acometida.

#### **Protección acometida:**

Con la corriente hallada para dimensionar el conductor se busca en la Sección 240-6 (a) (NTC 2050) servirá protección de 1x25 A.

## ANEXO F. INSTALACIONES ELÉCTRICAS COMPLEMENTARIAS DEL MINIGIMNASIO

En este anexo se presenta el dimensionamiento de las instalaciones eléctricas del mini gimnasio, a partir de la selección de protecciones, cableado, ductos y cajas necesarias según, los lineamientos del RETIE (Capítulo II, Artículo 8 REQUERIMIENTOS GENERALES DE LAS INSTALACIONES ELECTRICAS<sup>1</sup>), y lo estipulado en la NTC 2050.

Para realizar el dimensionamiento de las instalaciones eléctricas del mini-gimnasio, fue considerado un cuarto tipo (6m x 9m x 3m). Dentro de éste, se dispondrá de un cuarto de control (9m<sup>2</sup>), tipo modular.

*Tabla F.1 Dimensiones del recinto*

Dimensiones	Mini Gym	Cuarto de control
Ancho	6 m	3 m
Largo	9 m	3 m
Alto	3 m	3 m

Las luminarias seleccionadas son Havells Sylvania 0058634 SYLREC, las cuales contienen tres (3) tubos de 18 W y un balastro de 1 W, para un total de 55W cada una (0,6m x 0,6m)

*Tabla F.2 Potencias de cargas específicas*

Luminarias y tomacorrientes			
	Cantidad	Potencia	Total
luminarias	8	55 W	440 W
Tomacorrientes	8	180VA	1440 VA

### **Circuito de iluminación:**

Este circuito cuenta con 8 luminarias de 55W cada una y manejan un factor de potencia aproximado de 0,9.

$$S = \frac{P}{fp} = \frac{55 * 8}{0,9} = 488,88 [VA]$$

$$I_{nominal} = \frac{S}{V} = \frac{488,88}{120} = 4,07 [A]$$

Para dimensionar el calibre y las protecciones se toma la corriente al 125%

$$I = 1,25 * I_{nominal} = 5,09 [A]$$

Los circuitos de iluminación se deben cablear como mínimo en calibre #14 AWG (Tabla 210-24, NTC 2050), para efectos mecánicos se utilizará #12 AWG y la protección de este circuito será de 15 A. (Artículo 210-23, NTC 2050)

### **Circuito de tomacorrientes:**

Según el artículo 220-3 de la NTC 2050, se deben considerar cada salida no menor a 180VA, y estos tomacorrientes deben estar instalados de modo que ningún punto a lo largo de la pared exceda los 1,8 m (Artículo 210-52), el cuarto de control no es considerado como pared debido a que este va ser modular.

Este circuito cuenta entonces con 8 tomacorrientes de 180VA cada uno.

$$S = 8 * 180 = 1\ 440 \text{ [VA]}$$

$$I_{nominal} = \frac{S}{V} = \frac{1\ 440}{120} = 12 \text{ [A]}$$

Para dimensionar el calibre y las protecciones se toma la corriente al 125%

$$I = 1,25 * I_{nominal} = 15 \text{ [A]}$$

Los circuitos de tomacorrientes se deben cablear como mínimo en calibre #14 AWG (Tabla 210-24, NTC 2050), para efectos mecánicos se utilizará #12 AWG y la protección de este circuito será de 15 A. (Artículo 210-23, NTC 2050)

## DUCTOS

Los ductos se calcularon a partir de la siguiente expresión:

$$d_{tuberia} \geq 1,58 \sqrt{\sum (d_{cable\ j})^2} \text{ [mm]}$$

La Tabla F.3 muestra el cálculo por tramos:

Tabla F.3 Ductos por tramos

TRAMO	CONDUCTORES	CÁLCULO	d <sub>tubería</sub>	TUBO CONDUIT*
S1-B2.1; B2.1-B2.3	4 # 12 AWG	$1,58\sqrt{4*[(4,6)]^2}$	14,536mm	1/2"
B2.1-B2.2; B2.3-B2.4; B2.3-B2.5; B2.5-B2.6; B2.5-B2.7; B2.7-B2.8. B1.1-B1.2; B1.2-B1.3; B1.3-B1.4; B1.4-B1.5; B1.1-B1.8; B1.8-B1.7; B1.7-B1.6.	3 # 12 AWG	$1,58\sqrt{3*[(4,6)]^2}$	12,588mm	1/2"

\*Según la Tabla 4 (NTC 2050), se selecciona (Tubo Conduit PVC rígido Tipo A) de 1/2".

**Cajas de empalme:**

$$L = 6 dt_{max}$$

$$L = 96 \text{ mm}$$

Según la Tabla 370-16 (NTC 2050), y teniendo en cuenta que para las luminarias, se recomiendan cajas octogonales y para los tomacorrientes cajas rectangulares, las cajas serán de las siguientes dimensiones:

*Luminarias: 100 x 100 x 47 mm*

*Tomacorrientes 103 x 60 x 45 mm*

En la Tabla F.4 se resume todo el cableado, conductores de puesta a tierra y protecciones obtenidas con los cálculos anteriores

*Tabla F.4 Características del cableado y protecciones del mini gimnasio*

CTO	TRAMO	CONDUCTOR	TIERRA	DUCTO	CORRIENTE	PROT
1	S1 – B2.1	3 x # 12 AWG	1 x # 12 AWG	½"	5,09 A	15A
	B2.1 – B2.2	2 x # 12 AWG	1 x # 12 AWG	½"		
	B2.1 – B2.3	3 x # 12 AWG	1 x # 12 AWG	½"		
	B2.3 – B2.4	2 x # 12 AWG	1 x # 12 AWG	½"		
	B2.3 – B2.5	2 x # 12 AWG	1 x # 12 AWG	½"		
	B2.5 – B2.6	2 x # 12 AWG	1 x # 12 AWG	½"		
	B2.5 – B2.7	2 x # 12 AWG	1 x # 12 AWG	½"		
	B2.7 – B2.87	2 x # 12 AWG	1 x # 12 AWG	½"		
2	B1.1 – B1.2	2 x # 12 AWG	1 x # 12 AWG	½"	15 A	15 A
	B1.2 – B1.3	2 x # 12 AWG	1 x # 12 AWG	½"		
	B1.3 – B1.4	2 x # 12 AWG	1 x # 12 AWG	½"		
	B1.4 – B1.5	2 x # 12 AWG	1 x # 12 AWG	½"		
	B1.1 – B1.8	2 x # 12 AWG	1 x # 12 AWG	½"		
	B1.8 – B1.7	2 x # 12 AWG	1 x # 12 AWG	½"		
	B1.7 – B1.6	2 x # 12 AWG	1 x # 12 AWG	½"		

## ANEXO G. CÁLCULO DE REGULACIÓN PARA LUMINARIAS Y TOMACORRIENTES

Este anexo presenta el análisis con respecto al cumplimiento de la regulación exigida por la Norma ESSA, y se basa en la siguiente expresión:

$$\delta_{\%} = \frac{f_c * K_g * M_S}{V_l^2}$$

Donde:

$\delta_{\%}$ : Regulación en por ciento.

$f_c$ : Factor de corrección.

$K_g$ : Constante de regulación.

$V_l$ : Voltaje de línea.

$M_S$ : Momento eléctrico.

$$M_S = \sum S * l \text{ [kVA * m]}$$

S: Potencia Aparente

l: Longitud [m]

### LUMINARIAS

Tabla G.1 Alturas involucradas en el cálculo de regulación para luminarias.

Alturas [m]	
Piso-tablero	1,8
Piso-techo	2,8
Tablero-techo	1

Para una subestación trifásica y una red monofásica la Norma de la ESSA (Tabla 3.26) recomienda un  $f_c=6$  y para el calibre #12 un  $K_g=532,18$ . El factor de potencia del circuito de las luminarias se tomara de 0,9.

$$P = 55W \quad S = P/\text{fp} = 61,11 \text{ VA} = 0,0611 \text{ kVA.}$$

El punto más desfavorable es el más lejano del tablero para este caso será B 2.8, tal como lo muestra la Figura G.1.

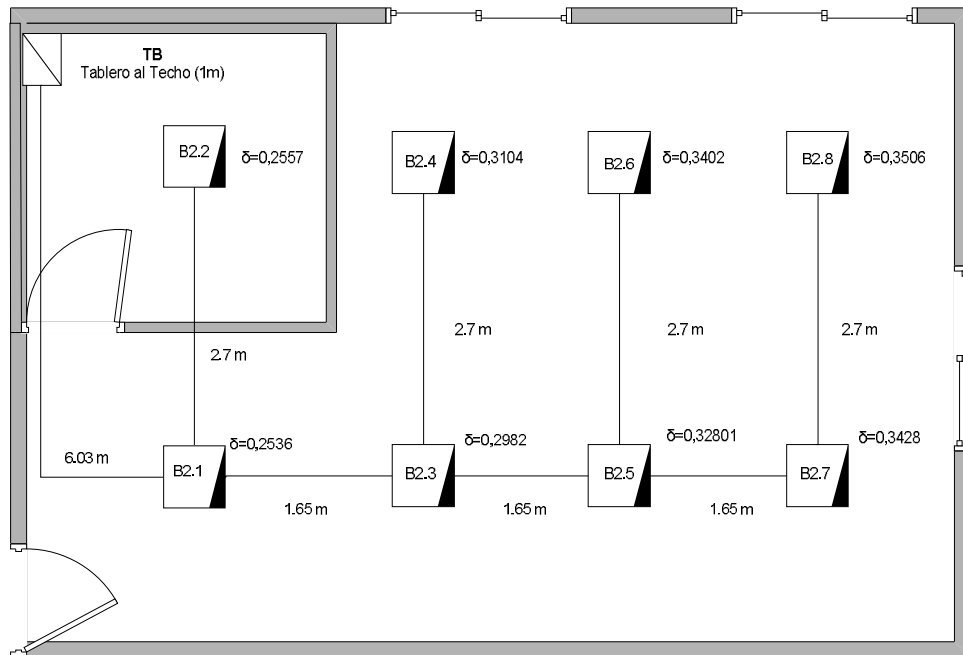


Figura. G.1 Regulación para luminarias.

$$\delta_{\%B2.8} = \frac{6 * 532,18}{208^2} * [(1 + 6,03)(2 * 0,0611) + (8,68)(0,1222) + (10,33)(0,1222) + (11,98)(0,0611) + (14,68)(0,0611)]$$

$$\delta_{\%L8} = 0,0738045(4,81101) = 0,3506\%$$

La Tabla G.2 muestra los cálculos de regulación para todas las luminarias:

Tabla G.2 Cálculo de regulación para todas las luminarias.

LUMINARIA	$\delta\%$	
B 2.1	$0,0738045 * [(7,03)(8 * 0,0611)]$	0,2536%
B 2.2	$0,0738045 * [(7,03)(7 * 0,0611) + (9,73)(0,0611)]$	0,2657%
B 2.3	$0,0738045 * [(7,03)(2 * 0,0611) + (8,68)(6 * 0,0611)]$	0,2982%
B 2.4	$0,0738045 * [(7,03)(2 * 0,0611) + (8,68)(5 * 0,0611) + (11,38)(0,0611)]$	0,3104%
B 2.5	$0,0738045 * [(7,03)(2 * 0,0611) + (8,68)(2 * 0,0611) + (10,33)(4 * 0,0611)]$	0,32801%
B 2.6	$0,0738045 * [(7,03)(2 * 0,0611) + (8,68)(2 * 0,0611) + (10,33)(3 * 0,0611) + (13,03)(0,0611)]$	0,3402%
B 2.7	$0,0738045 * [(7,03)(2 * 0,0611) + (8,68)(2 * 0,0611) + (10,33)(2 * 0,0611) + (11,98)(2 * 0,0611)]$	0,3428%
B 2.8	$0,0738045 * [(1 + 6,03)(2 * 0,0611) + (8,68)(0,1222) + (10,33)(0,1222) + (11,98)(0,0611) + (14,68)(0,0611)]$	0,3506%

## TOMACORRIENTES

Tabla G.3 Alturas involucradas en el cálculo de regulación para tomacorrientes.

Alturas [m]	
Piso-tablero	1,8
Piso-tomacorriente	2,8
Tablero-tomacorriente	1

La potencia aparente de cada tomacorriente es de:

$$S = 180 \text{ VA} = 0,18 \text{ kVA.}$$

El punto más desfavorable es el más lejano del tablero para este caso será B1.6 tal como lo indica la Figura G.2.

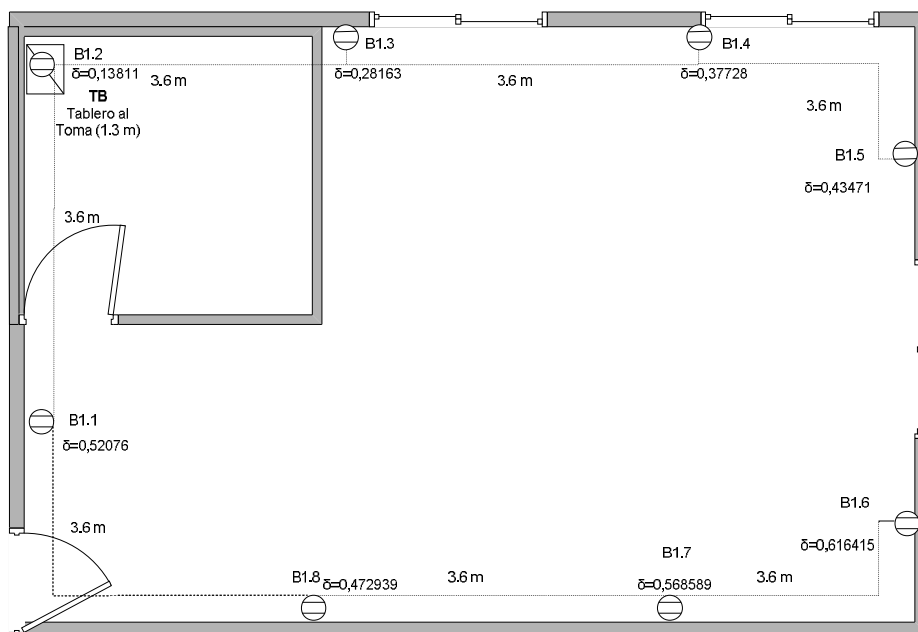


Figura. G.2 Regulación de tomacorrientes

$$\delta_{\%B1.6} = \frac{6 * 532,18}{208^2} * [(1,3)(4 * 0,18) + (4,9)(0,18) + (8,5)(0,18) + (12,1)(0,18) + (15,7)(0,18)]$$

$$\delta_{\%T8} = 0,0738045(8,352) = 0,616415\%$$

La Tabla G.4 muestra los cálculos de regulación para todos los tomacorrientes:

Tabla G.4 Cálculo de regulación para todos los tomacorrientes.

TOMACORRIENTE	$\delta\%$	
B 1.1	$0,0738045 * [(4,9)(8*0,18)]$	0,52076%
B 1.2	$0,0738045 * [(1,3)(8*0,18)]$	0,13811 %
B 1.3	$0,0738045 * [(1,3)(5*0,18)+(4,9)(3*0,18)]$	0,28163%
B 1.4	$0,0738045 * [(1,3)(5*0,18)+(4,9)(0,18)+(8,5)(2*0,18)]$	0,37728%
B 1.5	$0,0738045 * [(1,3)(5*0,18)+(4,9)(0,18)+(8,5)(0,18)+(12,1)(0,18)]$	0,43471%
B 1.6	$0,0738045 * [(1,3)(4*0,18)+(4,9)(0,18)+(8,5)(0,18)+(12,1)(0,18)+(15,7)(0,18)]$	0,616415%
B 1.7	$0,0738045 * [(1,3)(4*0,18)+(4,9)(0,18)+(8,5)(0,18)+(12,1)(2*0,18)]$	0,568589%
B 1.8	$0,0738045 * [(1,3)(4*0,18)+(4,9)(0,18)+(8,5)(3*0,18)]$	0,472939%

La regulación para un circuito ramal no puede exceder el 2% (Tabla 2.3 ESSA); por consiguiente, ambos circuitos ramales cumplen con la disposición. La Figura G.3 muestra los porcentajes permisibles según la Norma ESSA y los porcentajes hallados en los cálculos:

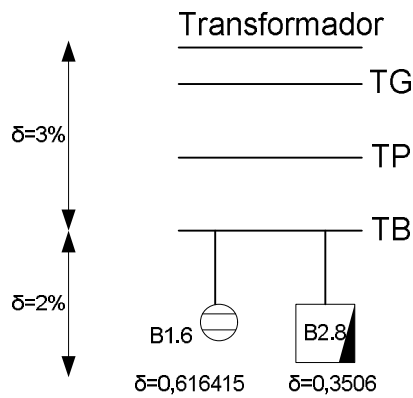


Figura G.3 Porcentajes de regulación admitidos y característicos del sistema diseñado.

## ANEXO H. PLANOS DE INSTALACIONES

En este anexo se presentan los planos del sistema eléctrico teniendo en cuenta los cálculos de los anexos anteriores.

### PLANO DE INSTALACIONES DEL MINIGIMNASIO

En la Figura H.1 se presentan las instalaciones de las cargas específicas (iluminación y tomas) del mini gimnasio.

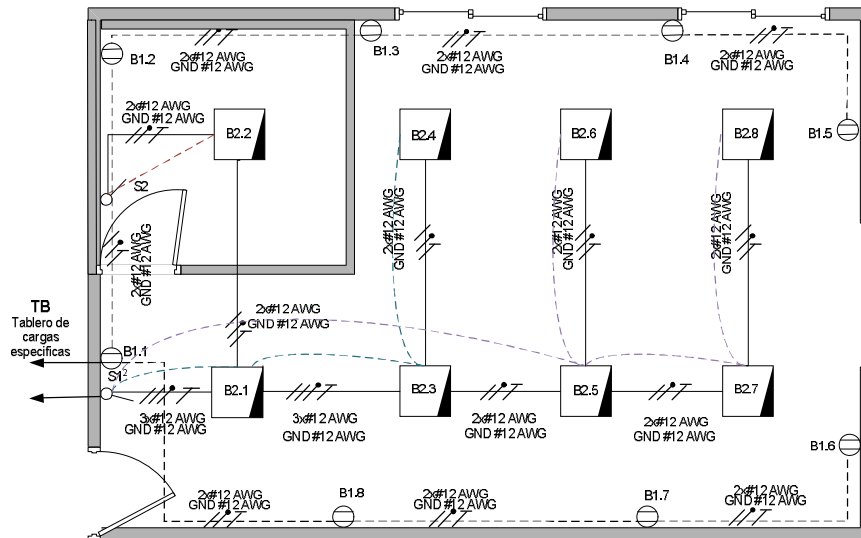


Figura H.1 Plano eléctrico del recinto.

### PLANO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN

En la Figura H.2 se presenta un bosquejo del sistema de generación y su disposición de cajas.

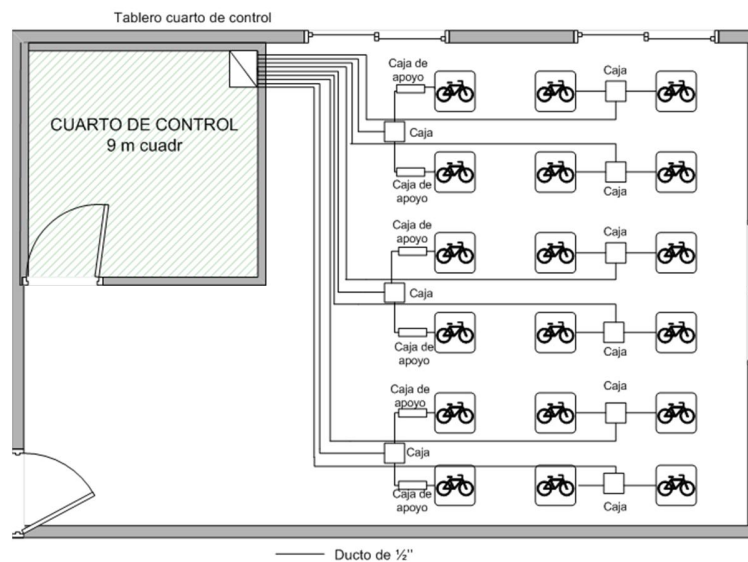


Figura. H.2 Disposición física del sistema de generación.

(La información eléctrica detallada se encuentra en el plano general)

### DIAGRAMA UNIFILAR GENERAL:

El conductor de puesta a tierra de los generadores, inversores, reguladores y baterías va conectada al barraje de tierra del tablero de cuarto de control. Donde no se especifican los ductos son de ½". En las figuras H.3 y H.4 se muestra el diagrama unifilar del sistema.

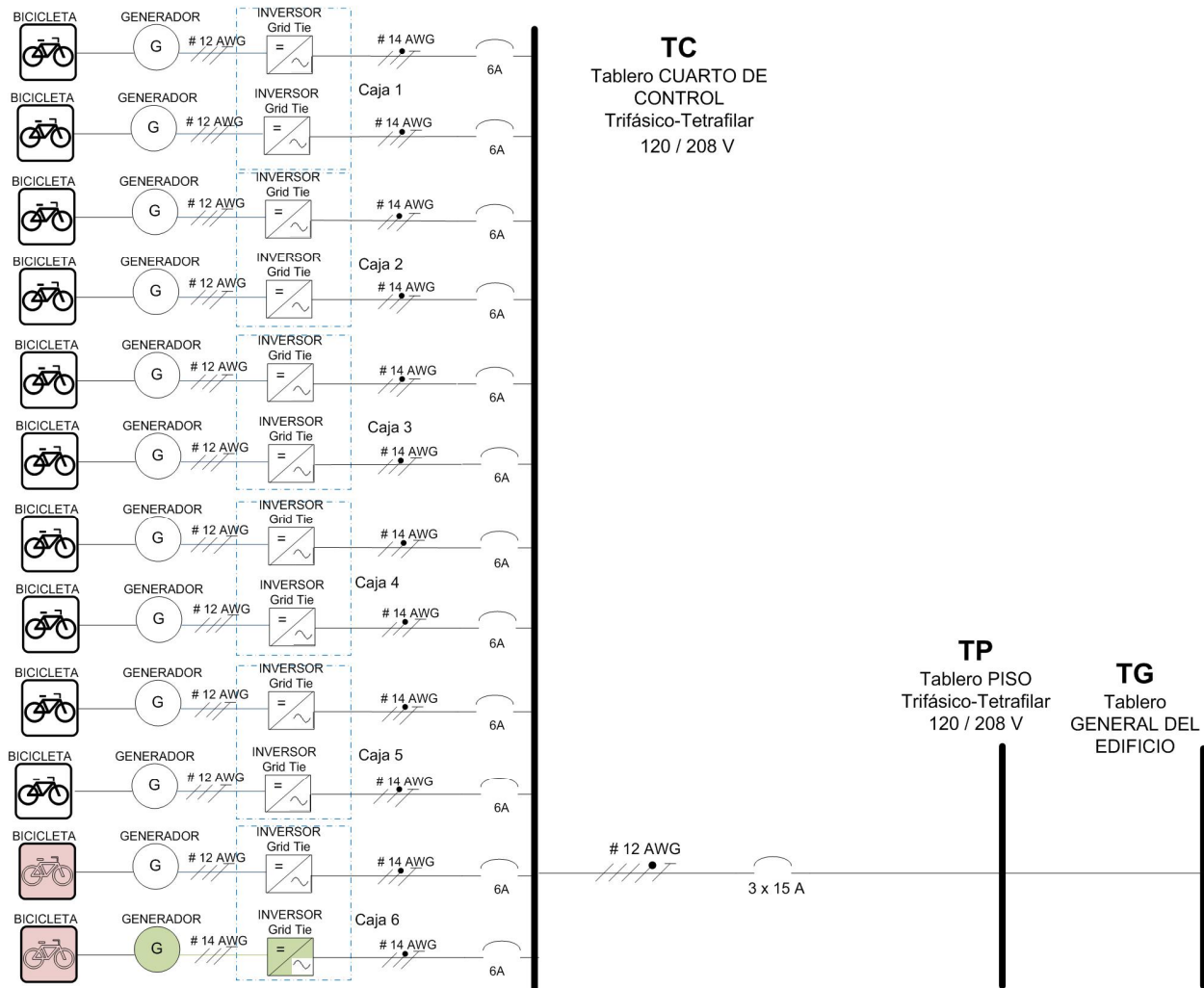


Figura. H.3 Diagrama unifilar del subsistema conectado a la red.

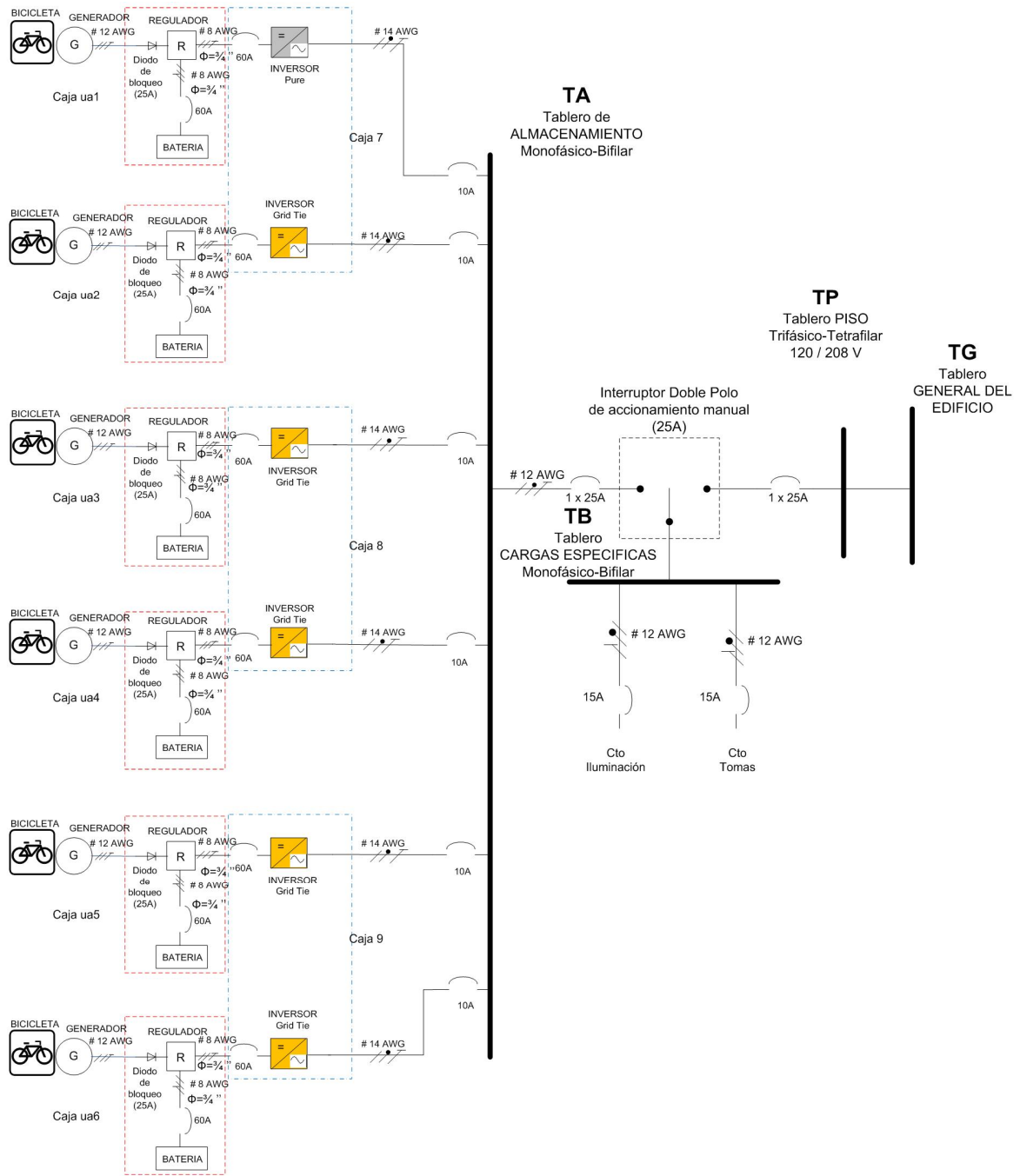


Figura. H.4 Diagrama unifilar del subsistema aislado.

## **ANEXO I. ANÁLISIS DE ILUMINACIÓN DEL MINI GIMNASIO**

Es este anexo se expone el análisis de iluminación, el cual se estableció a partir del software DiaLux<sup>24</sup>, teniendo como punto de partida luminarias fluorescentes, debido a que éstas son las que se instalarán en todo el edificio. Luego de realizar simulaciones con diferentes parámetros (altura del montaje, interdistancias, luminarias), se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla I.1.

<b>Prueba</b>	<b># de luminarias</b>	<b>Tipo de Luminarias</b>	<b>Em [lx]</b>	<b>Emin [lx]</b>	<b>Emin/Em</b>	<b>P [W]</b>
<b>1</b>	10	HAVELLSSYLVANIA 0059026 Sylvania Octa BRIGHT Louvre 4x18W T8	743	288	0,387	720
<b>2</b>	10	HavellsSylvania 0058634 SYLREC 2 DOS 318 A2	651	203	0,311	720
<b>3</b>	7	HavellsSylvania 0058634 SYLREC 2 DOS 318 A2	375	177	0,47	440

*Tabla I.1 Pruebas en DiaLux.*

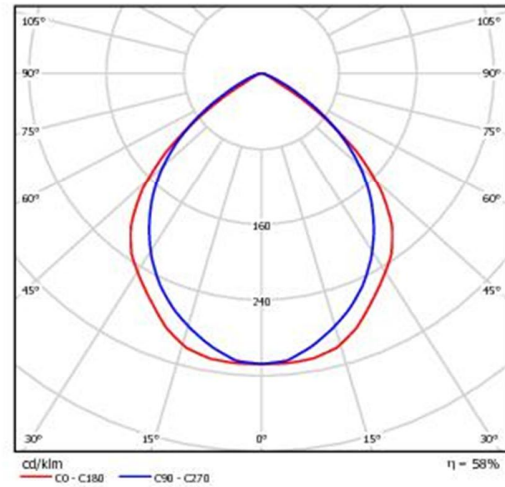
<sup>24</sup> DIALUX, es un software para la planificación de iluminación de acceso gratuito.

Proyecto elaborado por  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

**HavellsSylvania 0058634 SYLREC 2 DOS 318 A2 / Hoja de datos de luminarias**



Emisión de luz 1:



Clasificación luminarias según CIE: 100  
Código CIE Flux: 66 96 100 100 58

Sylrec 2 / Sylrec DOS para los sectores terciario o comercial en aplicaciones con falsos techos: planta de oficinas, oficinas de dirección, salas de reuniones, oficinas técnicas, vestíbulos, tiendas especializadas, almacenes, bancos, aulas.

Descripción:  
Diseño monobloque con bastidor visto de poca anchura y lámparas centradas para un óptimo rendimiento  
Difusor de lamas longitudinales parabólicas espejeadas y transversales en V de aluminio satinado.

Emisión de luz 1:

Valoración de deslumbramiento según UGR										
		20	30	50	50	30	20	30	50	30
e Techo		30	30	50	30	30	30	30	30	30
e Paredes		30	30	50	20	20	20	20	20	20
e Suelo		30	30	20	20	20	20	20	20	20
Tamaño del local	X	Y	Nivelado perpendicular al eje de lámpara				Nivelado longitudinalmente al eje de lámpara			
2H	2H	34.0	15.1	14.5	15.5	15.5	14.3	15.4	14.6	15.8
	3H	15.9	14.9	14.2	15.1	15.4	14.4	15.3	14.7	15.8
	4H	15.9	14.8	14.2	15.0	15.5	14.4	15.2	14.7	15.8
	6H	15.8	14.8	14.2	14.9	15.2	14.3	15.1	14.6	15.7
	8H	15.8	14.8	14.1	14.9	15.2	14.3	15.0	14.6	15.6
4H	13H	15.8	14.5	14.1	14.8	15.1	14.2	15.0	14.6	15.6
	2H	34.1	15.0	14.5	15.5	15.5	14.4	15.3	14.7	15.8
	3H	34.1	14.8	14.4	15.1	15.4	14.5	15.2	14.8	15.8
	4H	34.0	14.8	14.4	15.0	15.3	14.3	15.1	14.6	15.8
	6H	34.0	14.5	14.4	14.9	15.3	14.4	15.0	14.8	15.7
8H	9H	15.9	14.4	14.4	14.8	15.2	14.4	14.9	14.8	15.7
	13H	15.9	14.5	14.5	14.8	15.2	14.4	14.8	14.8	15.6
	4H	15.9	14.4	14.4	14.8	15.2	14.4	14.9	14.8	15.7
	6H	15.9	14.3	14.3	14.7	15.2	14.3	14.7	14.8	15.6
	8H	15.8	14.2	14.3	14.6	15.1	14.3	14.6	14.8	15.6
12H	13H	15.8	14.1	14.5	14.6	15.1	14.3	14.6	14.7	15.5
	4H	15.9	14.3	14.3	14.7	15.2	14.4	14.8	14.8	15.6
	6H	15.8	14.2	14.3	14.6	15.1	14.3	14.6	14.8	15.6
8H	15.8	14.1	14.3	14.6	15.1	14.2	14.6	14.7	15.5	

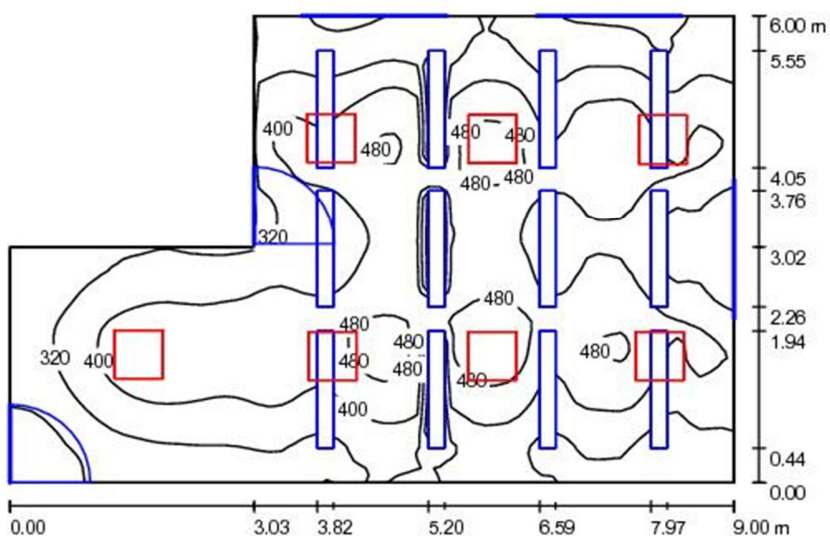
Variación de la posición del espectador para posiciones S entre luminarias		
S = 1,0H	+0.3 / -1.3	+0.6 / -1.0
S = 1,5H	+2.2 / -7.7	+1.4 / -3.8
S = 2,0H	+2.9 / -10.0	+2.7 / -6.4

Tamaño estándar	BR00	BR01
Sumando de iluminación	-0.2	-5.3

Índice de deslumbramiento corregido en relación a 4000m Flux lumens total

**Local 1 / Escena de luz 1 / Resumen**



Altura del local: 2.800 m, Altura de montaje: 2.887 m, Factor mantenimiento: 0.80

Valores en Lux, Escala 1:78

Superficie	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Plano útil	/	375	177	533	0.470
Suelo	68	285	66	421	0.230
Techo	85	194	149	247	0.769
Paredes (6)	88	226	148	402	/

**Plano útil:**

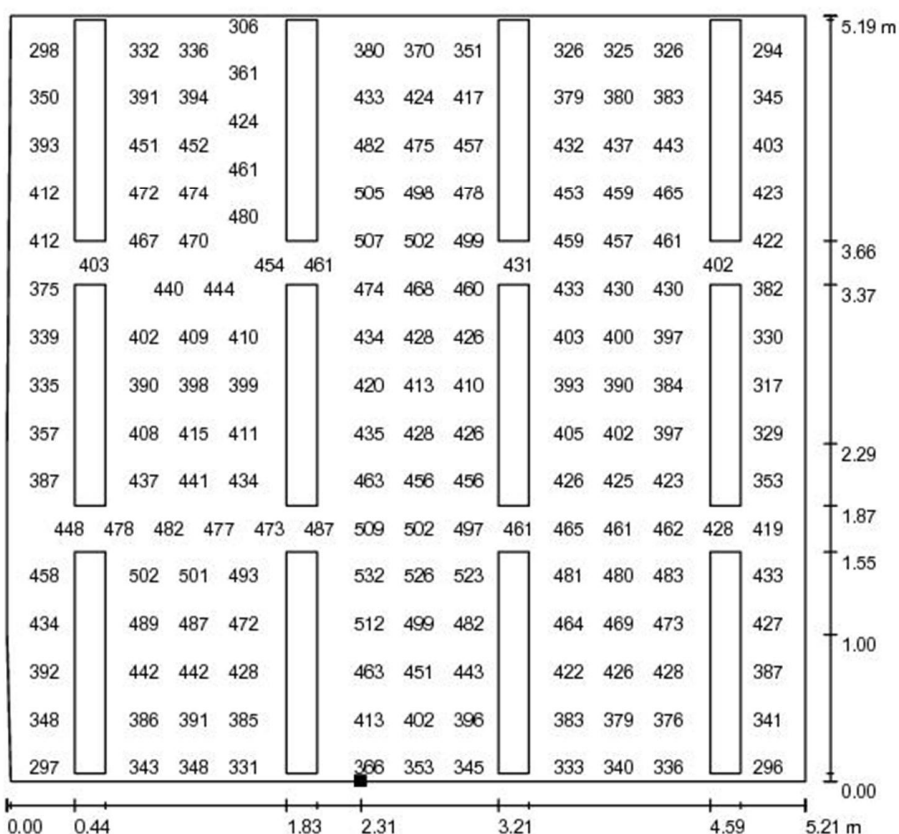
Altura: 0.850 m  
Trama: 64 x 64 Puntos  
Zona marginal: 0.000 m

**Lista de piezas - Luminarias**

N°	Pieza	Designación (Factor de corrección)	$\Phi$ [lm]	P [W]
1	7	HavellsSylvania 0058634 SYLREC 2 DOS 318 A2 (1.000)	4050	55.0
Total:			28350	385.0

Valor de eficiencia energética:  $8.56 \text{ W/m}^2 = 2.28 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Base:  $44.97 \text{ m}^2$ )

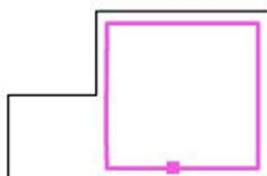
**Local 1 / Escena de luz 1 / Superficie de cálculo 1 / Gráfico de valores (E, perpendicular)**



Valores en Lux, Escala 1 : 41

No pudieron representarse todos los valores calculados.

Situación de la superficie en el local:  
Punto marcado:  
(5.690 m, 0.390 m, 0.850 m)



Trama: 32 x 32 Puntos

$E_m$  [lx]  
408

$E_{min}$  [lx]  
209

$E_{max}$  [lx]  
533

$E_{min} / E_m$   
0.513

$E_{min} / E_{max}$   
0.392

# ANEXO J. DIAGRAMA UNIFILAR Y PLANO DE CONEXIÓN DE DATOS

## PLANO GENERAL DE CONEXIÓN DE DATOS

En la Figura J.1 se muestra la disposición en el mini gimnasio de cada elemento que se requiere para monitorizar el sistema general, y la interconexión entre ellos.

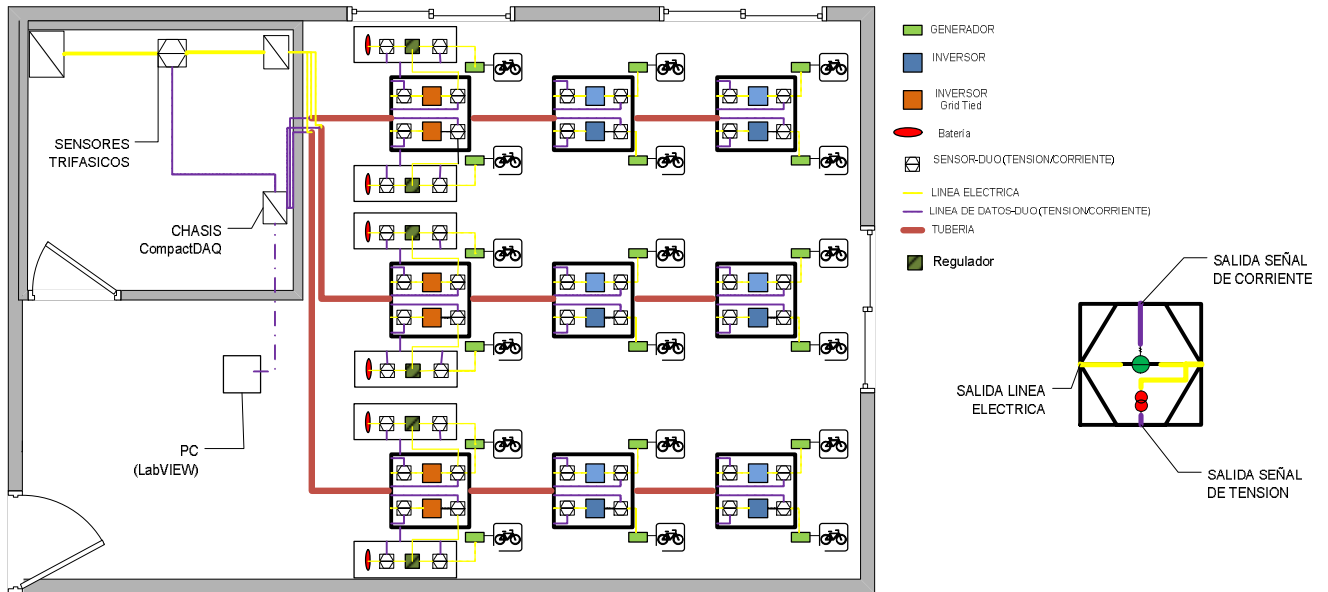


Figura J.1 Plano de conexión.

## **ANEXO K. ANÁLISIS ENERGÉTICO DEL SISTEMA**

En este anexo se expone el análisis energético del sistema, el cual tiene como base las eficiencias de cada elemento de los subsistemas y el comportamiento de velocidad de pedaleo. Se consideró un periodo anual de ocho (8) meses de 22 días, debido a las restricciones de los periodos académicos y la inactividad los fines de semana.

La simulación de los dos subsistemas se realizó en el mismo caso de operación, inyección a la red y alimentación de cargas sin almacenamiento en baterías, para este caso en el subsistema aislado la eficiencia es del 68,8% y para el subsistema conectado a la red es de 76,5%.

### Escenarios de funcionamiento:

Las siguientes tablas K.1 a K.8 muestran los resultados de cada uno de los escenarios de simulación.

SUBSISTEMA	UNIDAD	Potencia generada kWh	horas/día	Energía generada kWh / día
Conectado	1	0,274	2	0,548
	2	0,262	2	0,525
	3	0,258	2	0,516
	4	0,267	2	0,534
	5	0,262	2	0,525
	6	0,254	2	0,509
	7	0,263	2	0,527
	8	0,269	2	0,538
	9	0,259	2	0,519
	10	0,261	2	0,523
	11	0,268	2	0,537
	12	0,282	2	0,564
Aislado	1	0,220	2	0,441
	2	0,218	2	0,436
	3	0,227	2	0,455
	4	0,221	2	0,442
	5	0,240	2	0,480
	6	0,206	2	0,412
Total día				9,038
Total mes				198,850
Total año				1 590,806

*Tabla K.1 Escenario de operación de 2 horas.*

SUBSISTEMA	UNIDAD	Potencia generada kWh	horas/día	Energía generada kWh / día
Conectado	1	0,249	4	0,998
	2	0,257	4	1,028
	3	0,254	4	1,016
	4	0,261	4	1,047
	5	0,265	4	1,061
	6	0,283	4	1,135
	7	0,254	4	1,018
	8	0,264	4	1,058
	9	0,271	4	1,087

	10	0,270	4	1,081
	11	0,249	4	0,997
	12	0,269	4	1,076
Aislado	1	0,232	4	0,931
	2	0,211	4	0,847
	3	0,219	4	0,877
	4	0,210	4	0,840
	5	0,207	4	0,828
	6	0,219	4	0,876
				Total día
			Total mes	391,812
			Total año	3 134,496

Tabla K.2 Escenario de operación de 4 horas.

SUBSISTEMA	UNIDAD	Potencia generada kWh	horas/día	Energía generada kWh /día
Conectado	1	0,255	6	1,531
	2	0,265	6	1,595
	3	0,257	6	1,547
	4	0,272	6	1,632
	5	0,254	6	1,527
	6	0,253	6	1,519
	7	0,268	6	1,611
	8	0,259	6	1,558
	9	0,259	6	1,556
	10	0,271	6	1,631
	11	0,257	6	1,545
	12	0,265	6	1,590
Aislado	1	0,231	6	1,391
	2	0,219	6	1,319
	3	0,220	6	1,321
	4	0,225	6	1,353
	5	0,228	6	1,373
	6	0,236	6	1,418
			Total día	27,027
			Total mes	594,595
			Total año	4 756,760

Tabla K.3 Escenario de operación de 6 horas.

SUBSISTEMA	UNIDAD	Potencia generada kWh	horas/día	Energía generada kWh /día
Conectado	1	0,253	8	2,024
	2	0,271	8	2,172
	3	0,265	8	2,120
	4	0,265	8	2,122
	5	0,243	8	1,949
	6	0,282	8	2,261
	7	0,249	8	1,996
	8	0,259	8	2,076
	9	0,265	8	2,126
	10	0,272	8	2,177
	11	0,272	8	2,180
	12	0,257	8	2,059

Aislado	1	0,219	8	1,754
	2	0,215	8	1,725
	3	0,229	8	1,833
	4	0,220	8	1,760
	5	0,211	8	1,690
	6	0,237	8	1,899
Total día				35,932
Total mes				790,511
Total año				6 324,089

Tabla K.4 Escenario de operación de 8 horas.

SUBSISTEMA	UNIDAD	Potencia generada kWh	horas/día	Energía generada kWh /día
Conectado	1	0,262	10	0,548
	2	0,274	10	0,525
	3	0,264	10	0,516
	4	0,266	10	0,534
	5	0,264	10	0,525
	6	0,258	10	0,509
	7	0,251	10	0,527
	8	0,269	10	0,538
	9	0,262	10	0,519
	10	0,253	10	0,523
	11	0,272	10	0,537
	12	0,278	10	0,564
Aislado	1	0,217	10	2,170
	2	0,222	10	2,226
	3	0,221	10	2,210
	4	0,215	10	2,156
	5	0,225	10	2,251
	6	0,225	10	2,252
Total día				45,049
Total mes				991,082
Total año				7 928,657

Tabla K.5 Escenario de operación de 10 horas.

SUBSISTEMA	UNIDAD	Potencia generada kWh	horas/día	Energía generada kWh /día
Conectado	1	0,267	12	3,210
	2	0,259	12	3,115
	3	0,260	12	3,125
	4	0,254	12	3,056
	5	0,269	12	3,238
	6	0,257	12	3,087
	7	0,252	12	3,032
	8	0,266	12	3,196
	9	0,242	12	2,908
	10	0,255	12	3,065
	11	0,239	12	2,871
	12	0,260	12	3,122
Aislado	1	0,221	12	2,653
	2	0,203	12	2,436
	3	0,225	12	2,700

	4	0,234	12	2,818
	5	0,226	12	2,716
	6	0,224	12	2,699
	Total día			53,055
	Total mes			1167,215
	Total año			9 337,721

Tabla K.6 Escenario de operación de 12 horas.

SUBSISTEMA	UNIDAD	Potencia generada kWh	horas/día	Energía generada kWh /día
Conectado	1	0,270	14	3,789
	2	0,255	14	3,576
	3	0,267	14	3,750
	4	0,250	14	3,510
	5	0,268	14	3,759
	6	0,265	14	3,711
	7	0,260	14	3,640
	8	0,262	14	3,681
	9	0,264	14	3,700
	10	0,264	14	3,698
	11	0,269	14	3,773
	12	0,270	14	3,780
Aislado	1	0,227	14	3,190
	2	0,221	14	3,095
	3	0,208	14	2,919
	4	0,220	14	3,090
	5	0,228	14	3,193
	6	0,215	14	3,011
	Total día			62,873
	Total mes			1 383,213
	Total año			11 065,706

Tabla K.7 Escenario de operación de 14 horas.

SUBSISTEMA	UNIDAD	Potencia generada kWh	horas/día	Energía generada kWh /día
Conectado	1	0,272	16	4,353
	2	0,258	16	4,134
	3	0,263	16	4,209
	4	0,258	16	4,139
	5	0,253	16	4,050
	6	0,267	16	4,276
	7	0,259	16	4,151
	8	0,257	16	4,121
	9	0,260	16	4,166
	10	0,269	16	4,319
	11	0,245	16	3,931
	12	0,262	16	4,194
Aislado	1	0,214	16	3,439
	2	0,226	16	3,624
	3	0,235	16	3,766
	4	0,205	16	3,287
	5	0,223	16	3,571
	6	0,219	16	3,514

Total día	71,251
Total mes	1 567,525
Total año	12 540,201

*Tabla K.8 Escenario de operación de 16 horas.*

## ANEXO L. CONSIDERACIONES FINANCIERAS

En este anexo se presenta los costos de inversión inicial, operación y mantenimiento anual de sistema y el ahorro en facturación debido a la operación del sistema.

El costo inicial de la inversión, el valor de compra de cada uno de los elementos del sistema, al igual que los costos de instalación y el costo anual de operación y mantenimiento, como lo muestra la Tabla H.1.

ELEMENTO		VLR UNIT.	UNID	VLR. TOTAL	Vida útil (años)	Operación y mantenimiento anual
Bicicleta	Bicicleta Spinning Inox	\$ 1 226 000	16	\$ 19 616 000	10	\$ 560 000
	Bicicleta común sin cambios	\$ 300 000	2	\$ 600 000	10	\$ 60 000
Acoples	Pedal Power valores de placa: 300W, 15V, 20A, 2800 rpm	\$ 798 000	16	\$ 12 768 000	10	\$ 320 000
	300 Watt DC Roller Bicycle Generator System.	\$ 1 058 000	1	\$ 1 058 000	10	\$ 20 000
	Llanta generadora (datos de placa: 350W, 48V 7.3 A)	\$ 560 000	1	\$ 560 000	10	\$ 20 000
Inversores	Inversor Pure Sine Wave 800W 12V/120 VAC LEMORE-LM88W	\$ 200 000	1	\$ 200 000	10	\$ 25 000
	Inversor GRID TIE 1000W 12V/120VAC KD-GTI	\$ 220 000	5	\$ 1 100 000	10	\$ 125 000
	Inversor GRID TIE 300W 12V/120VAC OEM-300W	\$ 200 000	11	\$ 2 200 000	10	\$ 275 000
	Inversor GRID TIE 300W 48V/120VAC RELIABLE RB-WV-300	\$ 200 000	1	\$ 200 000	10	\$ 25 000
Regulador	WS-MPPT60 12V/60A WELLSEE	\$ 125 000	6	\$ 750 000	10	\$ 150 000
Sensores Corriente	UCT-0400-030	\$ 50 000	22	\$ 1 100 000	15	0
	913B-75	\$ 120 000	30	\$ 3 600 000	15	0
Sensores Voltaje	SPT-0375-150	\$ 50 000	22	\$ 1 100 000	15	0
	32S1-0.5-51	\$ 120 000	30	\$ 3 600 000	15	0
Sensor Velocidad	86 MS HE09 HS	\$ 8 500	18	\$ 153 000	15	0
Chasis DAQ	CompactDAQ (National Instruments)	\$ 2 295 000	1	\$ 2 295 000	15	\$ 100 000
Módulos	NI 205 (National Instruments)	\$ 1 638 000	8	\$ 13 104 000	15	\$ 400 000
Baterías	XINNENG AGM 12V 200Ah	\$ 1 200 000	6	\$ 7 200 000	10	0
Cables	Calibre #14 AWG	\$ 539/m	400m	\$ 215 600	30	0
	Calibre #12 AWG	\$ 689/m	100m	\$ 68 900	30	0
	Calibre #8 AWG	\$ 1 129/m	60m	\$ 67 740	30	0
	Instrumentación 2x16 #18 AWG	\$ 6 468/m	60m	\$ 388 080	30	0
	Instrumentación 2x1 #18 AWG	\$ 2 987/m	20m	\$ 59 740	30	0
Ductos	PVC Conduit tipo A ½"	\$ 700/m	250m	\$ 175 000	30	0
	PVC Conduit tipo A ¾ "	\$ 700/m	20m	\$ 14 000	30	0
Protecciones	Automáticas	\$ 7 300	12	\$ 87 600	30	0
Otros	Soporte para bicicleta	\$ 60 000	2	\$ 120 000	10	0
	Televisor LED 40" SHARP	\$ 1 200 000	2	\$ 2 400 000	30	\$ 60 000
	Computador	\$ 1 200 000	1	\$ 1 200 000	5	\$ 50 000
	Instalación Sistema Completo (mano de obra)	\$ 1 200 000	1	\$ 1 200 000	0	0
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 77 200 660</b>		<b>\$ 2 190 000</b>

\*Valores en pesos colombianos

Tabla L.1 Elementos del sistema

Considerando el análisis energético realizado en el Anexo K. y considerando el escenario promedio de 10 horas de funcionamientos, se muestra en la Tabla L.2 la energía en kWh que no se consumiría de la red pública diaria, mensual y anualmente; con su respectivo coste (tomando un valor promedio de \$320 kWh).

Promedio	kWh	Ahorro
Día	45,049	\$ 14 415
Mes	991,082	\$ 317 146
Año	7 928,657	\$ 2 537 170

Tabla L.2 Potencia Promedio Escenarios y Ahorro

Finalmente fueron analizados cada uno de los ocho (8) escenarios presentados en el análisis energético y los resultados se muestran en las tablas L.3 a L.10. Para una mejor interpretación aquellos valores encerrados en paréntesis representan valores negativos.

AÑO	Generación anual [kWh]	Ahorro financiero	Costo Operación y Mantenimiento	Ahorro neto
0	-	\$ (77 200 660)	0	\$ (77 200 660)
1	1 590,86	\$ 509 075	\$ 2 190 000	\$ (1 680 925)
2	1 590,86	\$ 509 075	\$ 2 190 000	\$ (1 680 925)
3	1 590,86	\$ 509 075	\$ 2 190 000	\$ (1 680 925)
4	1 590,86	\$ 509 075	\$ 2 190 000	\$ (1 680 925)
5	1 590,86	\$ 509 075	\$ 3 340 000	\$ (2 830 925)
6	1 590,86	\$ 509 075	\$ 2 190 000	\$ (1 680 925)
7	1 590,86	\$ 509 075	\$ 2 190 000	\$ (1 680 925)
8	1 590,86	\$ 509 075	\$ 2 190 000	\$ (1 680 925)
9	1 590,86	\$ 509 075	\$ 2 190 000	\$ (1 680 925)
10	1 590,86	\$ 509 075	\$ 48 132 000	\$ (47 622 925)
11	1 590,86	\$ 509 075	\$ 2 190 000	\$ (1 680 925)
12	1 590,86	\$ 509 075	\$ 2 190 000	\$ (1 680 925)
13	1 590,86	\$ 509 075	\$ 2 190 000	\$ (1 680 925)
14	1 590,86	\$ 509 075	\$ 2 190 000	\$ (1 680 925)
15	1 590,86	\$ 509 075	\$ 27 792 000	\$ (27 282 925)
16	1 590,86	\$ 509 075	\$ 2 190 000	\$ (1 680 925)
17	1 590,86	\$ 509 075	\$ 2 190 000	\$ (1 680 925)
18	1 590,86	\$ 509 075	\$ 2 190 000	\$ (1 680 925)
19	1 590,86	\$ 509 075	\$ 2 190 000	\$ (1 680 925)
20	1 590,86	\$ 509 075	\$ 48 132 000	\$ (47 622 925)
21	1 590,86	\$ 509 075	\$ 2 190 000	\$ (1 680 925)

22	1 590,86	\$	509 075	\$ 2 190 000	\$ (1 680 925)
23	1 590,86	\$	509 075	\$ 2 190 000	\$ (1 680 925)
24	1 590,86	\$	509 075	\$ 2 190 000	\$ (1 680 925)
25	1 590,86	\$	509 075	\$ 3 340 000	\$ (2 830 925)
26	1 590,86	\$	509 075	\$ 2 190 000	\$ (1 680 925)
27	1 590,86	\$	509 075	\$ 2 190 000	\$ (1 680 925)
28	1 590,86	\$	509 075	\$ 2 190 000	\$ (1 680 925)
29	1 590,86	\$	509 075	\$ 2 190 000	\$ (1 680 925)
30	1 590,86	\$	509 075	\$ 76 000 660	\$ (75 491 585)
				0,0%	(\$ 175 108 532)
VPN a 15 años				5,0%	(\$ 136 068 542)
				0,0%	(\$ 321 225 064)
VPN a 30 años				5,0%	(\$ 179 193 829)

*L.3 Escenario 2 horas*

AÑO	Generación anual [kWh]	Ahorro financiero	Costo Operación y Mantenimiento	Ahorro neto
0	-	\$ (77 200 660)	0	\$ (77 200 660)
1	3 134,496	\$ 1 003 039	\$ 2 190 000	\$ (1 186 961)
2	3 134,496	\$ 1 003 039	\$ 2 190 000	\$ (1 186 961)
3	3 134,496	\$ 1 003 039	\$ 2 190 000	\$ (1 186 961)
4	3 134,496	\$ 1 003 039	\$ 2 190 000	\$ (1 186 961)
5	3 134,496	\$ 1 003 039	\$ 3 340 000	\$ (2 336 961)
6	3 134,496	\$ 1 003 039	\$ 2 190 000	\$ (1 186 961)
7	3 134,496	\$ 1 003 039	\$ 2 190 000	\$ (1 186 961)
8	3 134,496	\$ 1 003 039	\$ 2 190 000	\$ (1 186 961)
9	3 134,496	\$ 1 003 039	\$ 2 190 000	\$ (1 186 961)
10	3 134,496	\$ 1 003 039	\$ 48 132 000	\$ (47 128 961)
11	3 134,496	\$ 1 003 039	\$ 2 190 000	\$ (1 186 961)
12	3 134,496	\$ 1 003 039	\$ 2 190 000	\$ (1 186 961)
13	3 134,496	\$ 1 003 039	\$ 2 190 000	\$ (1 186 961)
14	3 134,496	\$ 1 003 039	\$ 2 190 000	\$ (1 186 961)
15	3 134,496	\$ 1 003 039	\$ 27 792 000	\$ (26 788 961)
16	3 134,496	\$ 1 003 039	\$ 2 190 000	\$ (1 186 961)
17	3 134,496	\$ 1 003 039	\$ 2 190 000	\$ (1 186 961)
18	3 134,496	\$ 1 003 039	\$ 2 190 000	\$ (1 186 961)
19	3 134,496	\$ 1 003 039	\$ 2 190 000	\$ (1 186 961)
20	3 134,496	\$ 1 003 039	\$ 48 132 000	\$ (47 128 961)
21	3 134,496	\$ 1 003 039	\$ 2 190 000	\$ (1 186 961)
22	3 134,496	\$ 1 003 039	\$ 2 190 000	\$ (1 186 961)

23	3 134,496	\$	1 003 039	\$	2 190 000	\$	(1 186 961)
24	3 134,496	\$	1 003 039	\$	2 190 000	\$	(1 186 961)
25	3 134,496	\$	1 003 039	\$	3 340 000	\$	(2 336 961)
26	3 134,496	\$	1 003 039	\$	2 190 000	\$	(1 186 961)
27	3 134,496	\$	1 003 039	\$	2 190 000	\$	(1 186 961)
28	3 134,496	\$	1 003 039	\$	2 190 000	\$	(1 186 961)
29	3 134,496	\$	1 003 039	\$	2 190 000	\$	(1 186 961)
30	3 134,496	\$	1 003 039	\$	76 000 660	\$	(74 997 621)
				0,0%			(\$ 167 699 079)
				5,0%			(\$ 130 941 370)
				0,0%			(\$ 306 406 158)
				5,0%			(\$ 171 600 399)

*L.4 Escenario 4 horas*

AÑO	Generación anual [kWh]	Ahorro financiero	Costo Operación y Mantenimiento	Ahorro neto
0	-	\$ 77 200 660,00)	0	\$ (77 200 660)
1	4 756,76	\$ 1 522 163	\$ 2 190 000	\$ (667 837)
2	4 756,76	\$ 1 522 163	\$ 2 190 000	\$ (667 837)
3	4 756,76	\$ 1 522 163	\$ 2 190 000	\$ (667 837)
4	4 756,76	\$ 1 522 163	\$ 2 190 000	\$ (667 837)
5	4 756,76	\$ 1 522 163	\$ 3 340 000	\$ (1 817 837)
6	4 756,76	\$ 1 522 163	\$ 2 190 000	\$ (667 837)
7	4 756,76	\$ 1 522 163	\$ 2 190 000	\$ (667 837)
8	4 756,76	\$ 1 522 163	\$ 2 190 000	\$ (667 837)
9	4 756,76	\$ 1 522 163	\$ 2 190 000	\$ (667 837)
10	4 756,76	\$ 1 522 163	\$ 48 132 000	\$ (46 609 837)
11	4 756,76	\$ 1 522 163	\$ 2 190 000	\$ (667 837)
12	4 756,76	\$ 1 522 163	\$ 2 190 000	\$ (667 837)
13	4 756,76	\$ 1 522 163	\$ 2 190 000	\$ (667 837)
14	4 756,76	\$ 1 522 163	\$ 2 190 000	\$ (667 837)
15	4 756,76	\$ 1 522 163	\$ 27 792 000	\$ (2 269 837)
16	4 756,76	\$ 1 522 163	\$ 2 190 000	\$ (667 837)
17	4 756,76	\$ 1 522 163	\$ 2 190 000	\$ (667 837)
18	4 756,76	\$ 1 522 163	\$ 2 190 000	\$ (667 837)
19	4 756,76	\$ 1 522 163	\$ 2 190 000	\$ (667 837)
20	4 756,76	\$ 1 522 163	\$ 48 132 000	\$ (46 609 837)
21	4 756,76	\$ 1 522 163	\$ 2 190 000	\$ (667 837)
22	4 756,76	\$ 1 522 163	\$ 2 190 000	\$ (667 837)
23	4 756,76	\$ 1 522 163	\$ 2 190 000	\$ (667 837)

24	4 756,76	\$	1 522 163	\$	2 190 000	\$	(667 837)
25	4 756,76	\$	1 522 163	\$	3 340 000	\$	(1 817 837)
26	4 756,76	\$	1 522 163	\$	2 190 000	\$	(667 837)
27	4 756,76	\$	1 522 163	\$	2 190 000	\$	(667 837)
28	4 756,76	\$	1 522 163	\$	2 190 000	\$	(667 837)
29	4 756,76	\$	1 522 163	\$	2 190 000	\$	(667 837)
30	4 756,76	\$	1 522 163	\$	76 000 660	\$	(74 478 497)
				0,0%			(\$ 159 912 212)
				5,0%			(\$ 125 553 035)
				0,0%			(\$ 290 832 424)
				5,0%			(\$ 163 620 183)

*L.5 Escenario 6 horas*

AÑO	Generación anual [kWh]	Ahorro financiero	Costo Operación y Mantenimiento	Ahorro neto
0	-	\$ 77 200 660,00)	0	\$ (77 200 660)
1	6 324,089	\$ 2 023 708	\$ 2 190 000	\$ (166 292)
2	6 324,089	\$ 2 023 708	\$ 2 190 000	\$ (166 292)
3	6 324,089	\$ 2 023 708	\$ 2 190 000	\$ (166 292)
4	6 324,089	\$ 2 023 708	\$ 2 190 000	\$ (166 292)
5	6 324,089	\$ 2 023 708	\$ 3 340 000	\$ (1 316 292)
6	6 324,089	\$ 2 023 708	\$ 2 190 000	\$ (166 292)
7	6 324,089	\$ 2 023 708	\$ 2 190 000	\$ (166 292)
8	6 324,089	\$ 2 023 708	\$ 2 190 000	\$ (166 292)
9	6 324,089	\$ 2 023 708	\$ 2 190 000	\$ (166 292)
10	6 324,089	\$ 2 023 708	\$ 48 132 000	\$ (46 108 292)
11	6 324,089	\$ 2 023 708	\$ 2 190 000	\$ (166 292)
12	6 324,089	\$ 2 023 708	\$ 2 190 000	\$ (166 292)
13	6 324,089	\$ 2 023 708	\$ 2 190 000	\$ (166 292)
14	6 324,089	\$ 2 023 708	\$ 2 190 000	\$ (166 292)
15	6 324,089	\$ 2 023 708	\$ 27 792 000	\$ (25 768 292)
16	6 324,089	\$ 2 023 708	\$ 2 190 000	\$ (166 292)
17	6 324,089	\$ 2 023 708	\$ 2 190 000	\$ (166 292)
18	6 324,089	\$ 2 023 708	\$ 2 190 000	\$ (166 292)
19	6 324,089	\$ 2 023 708	\$ 2 190 000	\$ (166 292)
20	6 324,089	\$ 2 023 708	\$ 48 132 000	\$ (46 108 292)
21	6 324,089	\$ 2 023 708	\$ 2 190 000	\$ (166 292)
22	6 324,089	\$ 2 023 708	\$ 2 190 000	\$ (166 292)
23	6 324,089	\$ 2 023 708	\$ 2 190 000	\$ (166 292)
24	6 324,089	\$ 2 023 708	\$ 2 190 000	\$ (166 292)

25	6 324,089	\$ 2 023 708	\$ 3 340 000	\$ (1 316 292)
26	6 324,089	\$ 2 023 708	\$ 2 190 000	\$ (166 292)
27	6 324,089	\$ 2 023 708	\$ 2 190 000	\$ (166 292)
28	6 324,089	\$ 2 023 708	\$ 2 190 000	\$ (166 292)
29	6 324,089	\$ 2 023 708	\$ 2 190 000	\$ (166 292)
30	6 324,089	\$ 2 023 708	\$ 76 000 660	\$ (73 976 952)
			0,0%	(\$ 152 389 033)
VPN a 15 años			5,0%	(\$ 120 347 167)
			0,0%	(\$ 275 786 066)
VPN a 30 años			5,0%	(\$ 155 910 203)

*L.6 Escenario 8 horas*

AÑO	Generación anual [kWh]	Ahorro financiero	Costo Operación y Mantenimiento	Ahorro neto
0	-	\$ 77 200 660,00)	0	\$ (77 200 660)
1	7 928,65	\$ 2 537 168	\$ 2 190 000	\$ 347 168
2	7 928,65	\$ 2 537 168	\$ 2 190 000	\$ 347 168
3	7 928,65	\$ 2 537 168	\$ 2 190 000	\$ 347 168
4	7 928,65	\$ 2 537 168	\$ 2 190 000	\$ 347 168
5	7 928,65	\$ 2 537 168	\$ 3 340 000	\$ (802 832)
6	7 928,65	\$ 2 537 168	\$ 2 190 000	\$ 347 168
7	7 928,65	\$ 2 537 168	\$ 2 190 000	\$ 347 168
8	7 928,65	\$ 2 537 168	\$ 2 190 000	\$ 347 168
9	7 928,65	\$ 2 537 168	\$ 2 190 000	\$ 347 168
10	7 928,65	\$ 2 537 168	\$ 48 132 000	\$ (45 594 832)
11	7 928,65	\$ 2 537 168	\$ 2 190 000	\$ 347 168
12	7 928,65	\$ 2 537 168	\$ 2 190 000	\$ 347 168
13	7 928,65	\$ 2 537 168	\$ 2 190 000	\$ 347 168
14	7 928,65	\$ 2 537 168	\$ 2 190 000	\$ 347 168
15	7 928,65	\$ 2 537 168	\$ 27 792 000	\$ (25 254 832)
16	7 928,65	\$ 2 537 168	\$ 2 190 000	\$ 347 168
17	7 928,65	\$ 2 537 168	\$ 2 190 000	\$ 347 168
18	7 928,65	\$ 2 537 168	\$ 2 190 000	\$ 347 168
19	7 928,65	\$ 2 537 168	\$ 2 190 000	\$ 347 168
20	7 928,65	\$ 2 537 168	\$ 48 132 000	\$ (45 594 832)
21	7 928,65	\$ 2 537 168	\$ 2 190 000	\$ 347 168
22	7 928,65	\$ 2 537 168	\$ 2 190 000	\$ 347 168
23	7 928,65	\$ 2 537 168	\$ 2 190 000	\$ 347 168
24	7 928,65	\$ 2 537 168	\$ 2 190 000	\$ 347 168
25	7 928,65	\$ 2 537 168	\$ 3 340 000	\$ (802 832)

26	7 928,65	\$ 2 537 168	\$ 2 190 000	\$ 347 168
27	7 928,65	\$ 2 537 168	\$ 2 190 000	\$ 347 168
28	7 928,65	\$ 2 537 168	\$ 2 190 000	\$ 347 168
29	7 928,65	\$ 2 537 168	\$ 2 190 000	\$ 347 168
30	7 928,65	\$ 2 537 168	\$ 76 000 660	\$ (73 463 492)
			0,0%	(\$ 144 687 140)
VPN a 15 años			5,0%	(\$ 115 017 632)
			0,0%	(\$ 260 382 280)
VPN a 30 años			5,0%	(\$ 148 017 071)

*L.7 Escenario 10 horas*

AÑO	Generación anual [kWh]	Ahorro financiero	Costo Operación y Mantenimiento	Ahorro neto
0	-	\$ (77 200 660)	0	\$ (77 200 660)
1	9 337,21	\$ 2 987 907	\$ 2 190 000	\$ 797 907
2	9 337,21	\$ 2 987 907	\$ 2 190 000	\$ 797 907
3	9 337,21	\$ 2 987 907	\$ 2 190 000	\$ 797 907
4	9 337,21	\$ 2 987 907	\$ 2 190 000	\$ 797 907
5	9 337,21	\$ 2 987 907	\$ 3 340 000	\$ (352 093)
6	9 337,21	\$ 2 987 907	\$ 2 190 000	\$ 797 907
7	9 337,21	\$ 2 987 907	\$ 2 190 000	\$ 797 907
8	9 337,21	\$ 2 987 907	\$ 2 190 000	\$ 797 907
9	9 337,21	\$ 2 987 907	\$ 2 190 000	\$ 797 907
10	9 337,21	\$ 2 987 907	\$ 48 132 000	\$ (45 144 093)
11	9 337,21	\$ 2 987 907	\$ 2 190 000	\$ 797 907
12	9 337,21	\$ 2 987 907	\$ 2 190 000	\$ 797 907
13	9 337,21	\$ 2 987 907	\$ 2 190 000	\$ 797 907
14	9 337,21	\$ 2 987 907	\$ 2 190 000	\$ 797 907
15	9 337,21	\$ 2 987 907	\$ 27 792 000	\$ (24 804 093)
16	9 337,21	\$ 2 987 907	\$ 2 190 000	\$ 797 907
17	9 337,21	\$ 2 987 907	\$ 2 190 000	\$ 797 907
18	9 337,21	\$ 2 987 907	\$ 2 190 000	\$ 797 907
19	9 337,21	\$ 2 987 907	\$ 2 190 000	\$ 797 907
20	9 337,21	\$ 2 987 907	\$ 48 132 000	\$ (45 144 093)
21	9 337,21	\$ 2 987 907	\$ 2 190 000	\$ 797 907
22	9 337,21	\$ 2 987 907	\$ 2 190 000	\$ 797 907
23	9 337,21	\$ 2 987 907	\$ 2 190 000	\$ 797 907
24	9 337,21	\$ 2 987 907	\$ 2 190 000	\$ 797 907
25	9 337,21	\$ 2 987 907	\$ 3 340 000	\$ (352 093)
26	9 337,21	\$ 2 987 907	\$ 2 190 000	\$ 797 907

27	9 337,21	\$ 2 987 907	\$ 2 190 000	\$ 797 907
28	9 337,21	\$ 2 987 907	\$ 2 190 000	\$ 797 907
29	9 337,21	\$ 2 987 907	\$ 2 190 000	\$ 797 907
30	9 337,21	\$ 2 987 907	\$ 76 000 660	\$ (73 012 753)
VPN a 15 años			0,0%	(\$ 137 926 052)
			5,0%	(\$ 110 339 114)
VPN a 30 años			0,0%	(\$ 246 860 104)
			5,0%	(\$ 141 088 105)

*L.8 Escenario 12 horas*

AÑO	Generación anual [kWh]	Ahorro financiero	Costo Operación y Mantenimiento	Ahorro neto
0	-	\$ (77 200 660)	0	\$ (77 200 660)
1	1 1065,7	\$ 3 541 026	\$ 2 190 000	\$ 1 351 026
2	1 1065,7	\$ 3 541 026	\$ 2 190 000	\$ 1 351 026
3	1 1065,7	\$ 3 541 026	\$ 2 190 000	\$ 1 351 026
4	1 1065,7	\$ 3 541 026	\$ 2 190 000	\$ 1 351 026
5	1 1065,7	\$ 3 541 026	\$ 3 340 000	\$ 201 026
6	1 1065,7	\$ 3 541 026	\$ 2 190 000	\$ 1 351 026
7	1 1065,7	\$ 3 541 026	\$ 2 190 000	\$ 1 351 026
8	1 1065,7	\$ 3 541 026	\$ 2 190 000	\$ 1 351 026
9	1 1065,7	\$ 3 541 026	\$ 2 190 000	\$ 1 351 026
10	1 1065,7	\$ 3 541 026	\$ 48 132 000	\$ (44 590 974)
11	1 1065,7	\$ 3 541 026	\$ 2 190 000	\$ 1 351 026
12	1 1065,7	\$ 3 541 026	\$ 2 190 000	\$ 1 351 026
13	1 1065,7	\$ 3 541 026	\$ 2 190 000	\$ 1 351 026
14	1 1065,7	\$ 3 541 026	\$ 2 190 000	\$ 1 351 026
15	1 1065,7	\$ 3 541 026	\$ 27 792 000	\$ (24 250 974)
16	1 1065,7	\$ 3 541 026	\$ 2 190 000	\$ 1 351 026
17	1 1065,7	\$ 3 541 026	\$ 2 190 000	\$ 1 351 026
18	1 1065,7	\$ 3 541 026	\$ 2 190 000	\$ 1 351 026
19	1 1065,7	\$ 3 541 026	\$ 2 190 000	\$ 1 351 026
20	1 1065,7	\$ 3 541 026	\$ 48 132 000	\$ (44 590 974)
21	1 1065,7	\$ 3 541 026	\$ 2 190 000	\$ 1 351 026
22	1 1065,7	\$ 3 541 026	\$ 2 190 000	\$ 1 351 026
23	1 1065,7	\$ 3 541 026	\$ 2 190 000	\$ 1 351 026
24	1 1065,7	\$ 3 541 026	\$ 2 190 000	\$ 1 351 026
25	1 1065,7	\$ 3 541 026	\$ 3 340 000	\$ 201 026
26	1 1065,7	\$ 3 541 026	\$ 2 190 000	\$ 1 351 026
27	1 1065,7	\$ 3 541 026	\$ 2 190 000	\$ 1 351 026

28	1 1065,7	\$	3 541 026	\$	2 190 000	\$	1 351 026
29	1 1065,7	\$	3 541 026	\$	2 190 000	\$	1 351 026
30	1 1065,7	\$	3 541 026	\$	76 000 660	\$	(72 459 634)
				0,0%			(\$ 129 629 271)
VPN a 15 años				5,0%			(\$ 104 597 930)
				0,0%			(\$ 230 266 542)
VPN a 30 años				5,0%			(\$ 132 585 315)

*L.9 Escenario 14 horas*

AÑO	Generación anual [kWh]	Ahorro financiero	Costo Operación y Mantenimiento	Ahorro neto
0	-	\$ (77 200 660)	0	\$ (77 200 660)
1	1 2540,2	\$ 4 012 864	\$ 2 190 000	\$ 1 822 864
2	1 2540,2	\$ 4 012 864	\$ 2 190 000	\$ 1 822 864
3	1 2540,2	\$ 4 012 864	\$ 2 190 000	\$ 1 822 864
4	1 2540,2	\$ 4 012 864	\$ 2 190 000	\$ 1 822 864
5	1 2540,2	\$ 4 012 864	\$ 3 340 000	\$ 672 864
6	1 2540,2	\$ 4 012 864	\$ 2 190 000	\$ 1 822 864
7	1 2540,2	\$ 4 012 864	\$ 2 190 000	\$ 1 822 864
8	1 2540,2	\$ 4 012 864	\$ 2 190 000	\$ 1 822 864
9	1 2540,2	\$ 4 012 864	\$ 2 190 000	\$ 1 822 864
10	1 2540,2	\$ 4 012 864	\$ 48 132 000	\$ (44 119 136)
11	1 2540,2	\$ 4 012 864	\$ 2 190 000	\$ 1 822 864
12	1 2540,2	\$ 4 012 864	\$ 2 190 000	\$ 1 822 864
13	1 2540,2	\$ 4 012 864	\$ 2 190 000	\$ 1 822 864
14	1 2540,2	\$ 4 012 864	\$ 2 190 000	\$ 1 822 864
15	1 2540,2	\$ 4 012 864	\$ 27 792 000	\$ (23 779 136)
16	1 2540,2	\$ 4 012 864	\$ 2 190 000	\$ 1 822 864
17	1 2540,2	\$ 4 012 864	\$ 2 190 000	\$ 1 822 864
18	1 2540,2	\$ 4 012 864	\$ 2 190 000	\$ 1 822 864
19	1 2540,2	\$ 4 012 864	\$ 2 190 000	\$ 1 822 864
20	1 2540,2	\$ 4 012 864	\$ 48 132 000	\$ (44 119 136)
21	1 2540,2	\$ 4 012 864	\$ 2 190 000	\$ 1 822 864
22	1 2540,2	\$ 4 012 864	\$ 2 190 000	\$ 1 822 864
23	1 2540,2	\$ 4 012 864	\$ 2 190 000	\$ 1 822 864
24	1 2540,2	\$ 4 012 864	\$ 2 190 000	\$ 1 822 864
25	1 2540,2	\$ 4 012 864	\$ 3 340 000	\$ 672 864
26	1 2540,2	\$ 4 012 864	\$ 2 190 000	\$ 1 822 864
27	1 2540,2	\$ 4 012 864	\$ 2 190 000	\$ 1 822 864
28	1 2540,2	\$ 4 012 864	\$ 2 190 000	\$ 1 822 864

29	1 2540,2	\$	4 012 864	\$	2 190 000	\$	1 822 864
30	1 2540,2	\$	4 012 864	\$	76 000 660	\$	(71 987 796)
			VPN a 15 años	0,0%			(\$ 122 551 695)
				5,0%			(\$ 99 700 409)
			VPN a 30 años	0,0%			(\$ 216 111 390)
				5,0%			(\$ 125 332 002)

*L.10 Escenario 16 horas*