



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

**“PROPUESTA DE UN MARCO DE REFERENCIA PARA  
LA ÓPTIMA TRANSICIÓN DE UN CAMPUS HACIA UN  
SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE ENERGÍA  
INTELIGENTE Y PROYECTO DE PRE-FACTIBILIDAD A  
ESPOL 2.0”**

**INFORME DE MATERIA INTEGRADORA**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN  
POTENCIA**

MARCO ANDRES QUIMIS NOGALES

CRISTHIAN MANUEL ROMERO FREIRE

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2017

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por brindarme la oportunidad y darme las fuerzas para culminar mi carrera.

A mi familia, por darme su apoyo en cada momento de mi vida, enseñarme que bajo esfuerzos y sacrificio se logran las metas.

A mis profesores quienes supieron encaminarme en mi vida universitaria para alcanzar la meta de graduarme.

A mis amigos quienes estuvieron en los buenos y malos momentos.

**Marco Andres Quimis Nogales**

A Dios, por la salud, la protección brindada durante mi etapa estudiantil.

A mi familia, por ser el pilar fundamental de mi vida, ya que con su apoyo he podido cumplir mis metas. Además, por el sacrificio que han hecho por mí de haberme dado la oportunidad de realizar mis estudios en la ciudad de Guayaquil.

A mis profesores que me brindaron sus conocimientos y consejos para avanzar y culminar mi carrera universitaria.

A la Mg. Mary Rivas, por el apoyo, paciencia y generosidad ofrecida en su domicilio durante los 6 años de mi vida universitaria.

A mis amigos que estuvieron conmigo en los buenas y malas durante todos los años de mi etapa estudiantil.

**Cristhian Manuel Romero Freire**

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mis padres Marco Quimis Villegas y Marilin Nogales Veliz quienes han sabido formarme con buenos principios y enseñado a luchar por mis objetivos, a mi hermana Silvia Quimis por brindarme siempre su apoyo. A mi familia por sus motivaciones y respaldo incondicional. A mis amigos por acompañarme en las horas de estudio y conocimiento compartido en la vida colegial o universitaria. A mis profesores, por su apoyo, así como por la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional.

**Marco Andres Quimis Nogales**

A Dios por haberme ayudado a superar los obstáculos que se han presentado en algún momento y la por perseverancia brindada para culminar mi carrera.

A mis padres, El Sr. Freddy Romero Campoverde y La Sra. Elsa Freire Feijóo por su amor, sacrificio, consejos y apoyo incondicional para alcanzar mis metas.

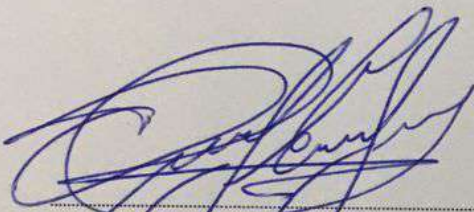
A mi hermano, El Sr. Freddy Romero Freire por el apoyo brindado durante todo este tiempo.

A mi tío, El Sr. José Freire Feijóo por haber estado pendiente hasta el último de sus días de mi etapa académica, y demás familiares que partieron a un lugar mejor antes de la culminación de mi carrera.

A mis profesores, por su ayuda incondicional en la culminación de este trabajo de graduación.

**Cristhian Manuel Romero Freire**

## TRIBUNAL DE EVALUACIÓN



.....  
**MSc. Iván Endara Vélez.**

TUTOR DEL PROYECTO INTEGRADOR

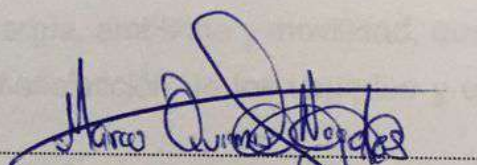


.....  
**MSc. Ángel Recalde Lino.**

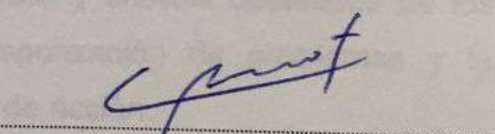
CO-EVALUADOR DEL PROYECTO INTEGRADOR

## DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Marco Andres Quimis Nogales



Cristhian Manuel Romero Freire

## RESUMEN

La Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), institución pionera de educación superior en Ecuador, cuenta con un campus de gran extensión territorial y se encuentra en proceso de acreditación internacional en algunas de las carreras que oferta. Frente a esto la institución busca ser la precursora de la implementación de un Smart Campus en el país, por lo que se analizó el aplicativo de un marco regulatorio para su posible ejecución.

Dentro del presente proyecto se presentó el análisis exhaustivo de las principales áreas de intervención con las que cuenta la ESPOL para convertirse en un Smart Campus, tales como: personas y vida, economía, energía, ambiente y movilidad, que se realizó mediante la medición de parámetros de satisfacción de los usuarios y el cumplimiento de los reglamentos establecidos.

Este marco regulatorio consistió en la elaboración de una planificación preliminar, la identificación de los campos de acción, la adquisición y análisis detallados de los datos proporcionados por la universidad, la categorización de problemas y la definición de estrategias (iniciativas) en los campos de acción.

La evaluación de la información recolectada en la universidad se realizó mediante ponderaciones cualitativas que determinaron el grado de eficiencia de las variables consideradas en el proyecto.

Las iniciativas de los campos de acción se definieron en base a las variables ineficientes. El campo de energía fue el área de mayor interés por lo que las iniciativas propuestas tuvieron un mayor grado de desarrollo.

Finalmente, se desarrollaron los posibles cronogramas de ejecución del proyecto, estableciéndose los periodos de planificación, implementación y operación con respecto a los presupuestos disponibles por la universidad.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIA .....	ii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN .....	iii
DECLARACIÓN EXPRESA.....	iv
RESUMEN.....	v
CAPÍTULO 1 .....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Ciudades inteligentes .....	1
1.1.1 Áreas de las ciudades inteligentes.....	2
1.2 Campus inteligente.....	4
1.3 Campus inteligentes en el mundo .....	5
1.4 Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) .....	6
1.5 Problemática.....	7
1.6 Justificación .....	7
1.7 Objetivos.....	8
1.7.1 Objetivo general .....	8
1.7.2 Objetivos específicos .....	8
1.8 Alcance.....	8
CAPÍTULO 2.....	9
2. MARCO REGULATORIO SMART CAMPUS .....	9
2.1 Metodología.....	9
2.1.1 Planificación preliminar .....	9
2.1.2 Identificación de los campos de acción .....	10

2.1.3	Adquisición de datos .....	13
2.1.4	Análisis de datos .....	13
2.1.5	Categorización de problema .....	15
2.1.6	Definición de las estrategias .....	15
2.2	Aplicación de la metodología de Smart Campus en ESPOL .....	17
CAPÍTULO 3.....		37
3.	IMPLEMENTACIÓN DEL SMART CAMPUS .....	37
3.1	INICIATIVAS .....	37
3.1.1	Personas y vida.....	37
3.1.2	Economía .....	38
3.1.3	Energía.....	39
3.1.4	Ambiente .....	57
3.1.5	Movilidad .....	58
3.2	CRONOLOGÍA.....	60
3.3	CONCLUSIONES .....	64
3.4	RECOMENDACIONES .....	65
Bibliografía.....		66
ANEXO 1 .....		72
ANEXO 2 .....		74
ANEXO 3 .....		75
ANEXO 4 .....		76



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Tecnologías de la información y las comunicaciones .....	1
Figura 1.2 Áreas del Smart City .....	5
Figura 2.1 Campos de acción del Smart Campus .....	11
Figura 3.1 Paneles fotovoltaicos en la universidad .....	39
Figura 3.2 Esquemático y simulación del sistema FIEC .....	40
Figura 3.3 Esquemático y simulación del sistema FIMCP .....	41
Figura 3.4 Esquemático y simulación del sistema FIMCBOR .....	42
Figura 3.5 Esquemático y simulación del sistema FICT .....	43
Figura 3.6 Smart Meter con tecnología AMI .....	44
Figura 3.7 Multi-Sensor .....	46
Figura 3.8 Infraestructura del Sistema de Administración de Energía .....	49
Figura 3.9 Centro del Sistema de Administración de Energía de un campus .....	50
Figura 3.10 Arquitectura del Sistema de Control de la ESPOL.....	52
Figura 3.11 Información de la Generación /Demanda de la Universidad de Princeton disponible en la web .....	54
Figura 3.12 Paneles seguidores en un campus .....	56
Figura 3.13 Grupos multidisciplinares de estudiantes trabajando en un "Laboratorio de Energías" .....	57
Figura 0.1 Área a utilizar de la FIEC .....	76
Figura 0.2 Área a utilizar de la FIMCP .....	76
Figura 0.3 Área a utilizar de la FICT .....	77
Figura 0.4 Área a utilizar de la FIMCBOR.....	77

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Indicadores de Smart Campus.....	14
Tabla 2.2 Ponderación de variables del Smart Campus.....	15
Tabla 2.3 Ejemplo de una tabla de incidencia.....	16
Tabla 2.4 Indicadores de Smart Campus.....	20
Tabla 2.5 Evaluación del área de Personas y Vida.....	22
Tabla 2.6 Evaluación del área de Economía.....	23
Tabla 2.7 Evaluación del área de Energía.....	24
Tabla 2.8 Evaluación del área de Ambiente.....	25
Tabla 2.9 Evaluación del área de Movilidad.....	25
Tabla 2.10 Tabla de incidencia del campo Personas y Vida.....	32
Tabla 2.11 Tabla de incidencia del campo Economía.....	33
Tabla 2.12 Tabla de incidencia del campo Energía.....	34
Tabla 2.13 Tabla de incidencia del campo Ambiente.....	35
Tabla 2.14 Tabla de incidencia del campo Movilidad.....	36
Tabla 3.1 Cronología de la implementación del modelo Smart Campus a la ESPOL – Presupuesto Medio.....	61
Tabla 3.2 Cronología de la implementación del modelo Smart Campus a la ESPOL – Presupuesto Medio.....	62
Tabla 3.3 Cronología de la implementación del modelo Smart Campus a la ESPOL – Presupuesto Bajo.....	63
Tabla 0.1 Consumo de medidores de energía eléctrica ESPOL – Octubre 2016....	72
Tabla 0.2 Cálculos energéticos, económicos y ambientales del campus durante el mes de octubre de 2016.....	75

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Ciudades inteligentes

Las ciudades se han convertido en polos de generación de riqueza económica, social, cultural, de conservación de la naturaleza y, de creación de espacios de relación.

Hoy en día, las ciudades están obligadas a competir para atraer el talento, es decir, personas con conocimiento e ideas; y para ello requieren una transformación mediante la creación de un entorno totalmente alineado con la sostenibilidad, el uso de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) y la aplicación de la innovación. *“De esta forma, se logrará construir un entorno donde todo gire alrededor del ciudadano”* [1].



**Figura 1.1 Tecnologías de la información y las comunicaciones**

El término Smart City es ambiguo. Una definición sencilla sería la de *“una ciudad que usa las TICs para proporcionar servicios a sus ciudadanos”*. Otra definición más amplia que propone es la que dice que *“las Smart Cities utilizan las TICs para ser más inteligentes y eficientes en el uso de recursos, reduciendo costes y ahorrando energía, mejorando los servicios proporcionados y la calidad de vida, y reduciendo la huella medioambiental, todo ello con la ayuda de la innovación y una economía baja en carbono”* [2].

Según un informe de la Dirección General para políticas internas del Parlamento Europeo, de enero de 2014 [3], se considera que una ciudad es inteligente si tiene al menos una iniciativa que aborde una o más de las siguientes características: Smart Economy, Smart People, Smart Mobility, Smart Environment, Smart Government y Smart Living. Estas características son las áreas que conforman y se integran de manera holística en la Smart City.

Las áreas de la Smart City se pueden adaptar a las universidades para convertirlas en inteligentes debido a que la universidad es una pequeña ciudad independiente en varios aspectos tales como la multiplicidad de funciones, usuarios, actividades y conexiones. Además, las universidades y las ciudades tienen problemas y retos comparables, como el impacto ambiental, los problemas de gestión, movilidad e infraestructuras externas, baja eficiencia, carencia de servicios y características fundamentales con el consiguiente descontento de los usuarios [4].

### 1.1.1 Áreas de las ciudades inteligentes

Una ciudad inteligente se compone por lo general de los campos (áreas de intervención) que se detallan a continuación:

- **Smart Environment**

Esta área hace referencia al entorno ecológico que debe tener una ciudad para convertirla en un lugar verde, más limpio y más eficiente. A través de potenciar proyectos e iniciativas capaces de sentar las bases para su reconversión hacia una comunidad más ecológica y Smart.

Los proyectos e iniciativas que se implementan en esta área deberán estar orientadas en sostenibilidad, protección ambiental, control de energía y en la implementación de las TICs, cuyo principal objetivo será dotar de inteligencia a los edificios de las ciudades, lo cual permita una interacción entre sí y una capacidad de tomar decisiones autónomas enfocadas a respetar el medio ambiente y optimizar los recursos naturales [1] [5].

- **Smart Economy**

Se define como la base principal del desarrollo económico en las ciudades. Esta área se basa en una serie de conceptos para impulsar el desarrollo, la sostenibilidad y el atractivo para nuevas inversiones, los principales son el incremento de la productividad, empleo e innovación en TICs y generación de servicios y nuevos productos, nuevos modelos y oportunidades de negocio y emprendimiento [1] [5].

- **Smart People**

Esta área incluye la participación de la ciudadanía en la toma de decisiones y, en general, en la agenda de una ciudad mediante un adecuado sistema apoyado de las TICs. Este sistema se basa en la creación de sitios web y la utilización de redes sociales para la realización de encuesta y votaciones que permitan recibir la retroalimentación de la comunidad, referente a los servicios de las ciudades [1] [5].

- **Smart Living**

El Smart Living innova y dota de inteligencia a la ciudad en servicio de su comunidad permitiendo crear un lugar más sostenible y humano. Las iniciativas en esta área se aglutinan en forma de servicios y plataformas que favorecen a la calidad de vida de la ciudadanía. Estas iniciativas están enfocadas en distintos ámbitos sociales como: la salud, vida social, seguridad y el atractivo turístico [1] [5].

- **Smart Mobility**

Plantea iniciativas enfocadas hacia una movilidad inteligente sostenible, la cual garantice que la accesibilidad, los sistemas de transporte, problemas ambientales y la gestión de las áreas de parqueo respondan a las necesidades económicas, sociales y medio ambientales de la ciudad.

Las estrategias que se implementen deben de proporcionar beneficios económicos y ambientales como reducir el impacto ambiental, mejorar la planificación y eficiencia de los medios de transporte público, reducir la congestión, optimizar las áreas de parqueo y su gestión.

Además, esta área utiliza a las TICs para proporcionar información relevante en tiempo real que el público pueda acceder para ahorrar tiempo, mejorar la eficiencia y mejorar la gestión de los servicios de redes de transporte [1] [5].

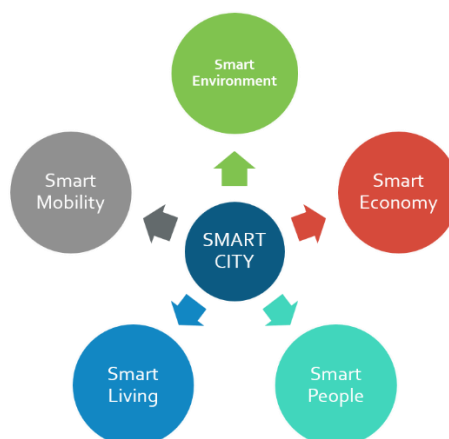
- **Smart Government**

Esta área representa el principal elemento para el desarrollo de una ciudad inteligente, ya que está enfocada en desarrollar políticas que promuevan la incorporación de las TICs en el campus al servicio de la comunidad. La Smart Government incluye la transparencia y los datos abiertos mediante el uso de las TICs. Las plataformas que implemente la Smart Government deben ofrecer datos abiertos a la comunidad, a empresas, emprendedores, aportando transparencia a la ciudadanía y modernizando la administración [1] [5].

## 1.2 Campus inteligente

El Campus Inteligente (Smart Campus) se define como un campus que integra de forma inteligente y holística, la gente, movilidad, medio ambiente, economía, energía y gobernanza. De igual manera que en la Smart City, *“el Smart Campus mejora la calidad de vida de las personas que conviven dentro de la universidad; haciendo uso intensivo, global, eficiente y sostenible de las TICs para interconectar todos los actores y servicios en beneficio de toda la comunidad universitaria”* [4] [5].

Un Smart Campus debe proporcionar varios servicios a los estudiantes, lo que hará la vida en el campus más fácil, cómoda y atractiva. Estos servicios no son sólo para la vida académica, sino también para socializar, desplazarse, compartir eventos, socialización de problemas y similares. El pensamiento de un estudiante se ve afectado al menos en tres direcciones: académicas, prácticas y sociales. Los campus existentes podrían pensar en alternativas para impactar positivamente al estudiante de estas tres maneras para una mejor comunidad socio-económica del mañana.



**Figura 1.2 Áreas del Smart City [1] [5]**

Las áreas del Smart City: Smart Environment, Smart Economy, Smart People, Smart Living, Smart Mobility y Smart Government; se adaptan para formar al Smart Campus. Se integran de forma inherente para que mediante iniciativas en cada una de estas; se pueda solucionar los problemas de transporte, ambientales, sociales, económicos, energéticos presentes en la universidad.

### 1.3 Campus inteligentes en el mundo

Entre las universidades que se han convertido en campus inteligentes se encuentran las universidades como:

- La Universidad de Alicante en el 2014 inicio la implementación del proyecto “UA Smart University”, el cual desarrolla un modelo de universidad que mejora la calidad de vida haciendo uso intensivo, global, eficiente y sostenible de las TICs en beneficio de toda su comunidad universitaria [5].
- La Universidad de Glasgow utiliza un marco de desarrollo que fue aprobado en el 2012 por el Ayuntamiento de Glasgow, el cual informa y guía las propuestas de desarrollo en torno a un conjunto holístico y unificados de principios de diseño urbano [6].
- La Universidad de Málaga a partir del 2016, se encuentra desarrollando el proyecto “UMA Smart Campus”, el cual consiste en transformar a la universidad en un campus inteligente y sostenible, basado en la aplicación de nuevas tecnologías [7].

- La Universidad de Jaume I (UJI) desarrolló en el 2014 una nueva tecnología basada en mapas inteligentes para la integración de sus datos en un sistema de información espacial. El proyecto Smart Campus UJI proporciona herramientas para realizar el análisis de los diferentes sistemas que componen un entorno inteligente: movilidad, medio ambiente, energía, participación, etc. [8].
- Desde la adopción de un Plan de Sostenibilidad en febrero de 2008, la Universidad de Princeton describe progresos significativos hacia objetivos ambiciosos, principalmente en las áreas energéticas y ambientales como reducción de gases de efecto invernadero, eficiencia energética de sus instalaciones, conservación de recursos e investigación [9].

#### **1.4 Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)**

La ESPOL es una institución de educación superior, persona jurídica de derecho público, sin fines de lucro, autónoma en lo académico, científico, técnico, administrativo, financiero y económico, con capacidad para autorregularse, buscar la verdad y formular propuestas para el desarrollo humano, sin más restricciones que las señaladas en la constitución y las leyes.

La ESPOL posee 6 campus, más de 10000 alumnos, más 700 profesores, la planta administrativa supera las 400 personas.

El Campus de interés es el Campus Prosperina "Gustavo Galindo Velasco" el cual abarca 680 hectáreas, de las cuales 40 están urbanizadas, 40 se utilizarán para expansión futura y 600 han sido declaradas bosque protector que la ESPOL reforestará como una muestra de su preocupación por la naturaleza. Este Campus posee una infraestructura funcional que permite que los institutos de ciencias, las facultades y los programas tecnológicos puedan cumplir las tareas básicas de docencia, investigación y prestación de servicios, y que los alumnos reciban una formación integral en la que se incluya la práctica del deporte [10].

Los principales fines de la ESPOL son:

- Proporcionar una educación superior de carácter científica, tecnológica, humanista y cultural;



- Aportar al desarrollo del pensamiento universal, al despliegue de la producción científica y a la promoción de las transferencias e innovaciones tecnológicas;
- Fomentar y ejecutar programas de investigación de carácter científico, tecnológico y pedagógico que coadyuven al mejoramiento y protección del ambiente y promuevan el desarrollo sustentable nacional.

### **1.5 Problemática**

- Existe demanda de residencias de parte de los estudiantes de provincias.
- Los bienes fijos de la ESPOL no cuentan con un plan de mantenimiento por parte de la universidad, por lo tanto, a medida que transcurre el tiempo se deterioran.
- Los datos del consumo energético en el campus carecen de fiabilidad por lo tanto no existe un control eficiente de la energía consumida en la ESPOL, por ello algunos se obtienen mediante estimaciones. Además, el diagrama unifilar eléctrico del campus se encuentra desactualizado.
- Los residuos que se producen en la universidad no son bien utilizados.
- Muchos estudiantes no cuentan con los recursos para tener su propio vehículo y poder movilizarse dentro del campus.

### **1.6 Justificación**

Las universidades son un punto clave en la sociedad, ya que forman a los profesionales del mañana quienes desarrollan las tecnologías que pondrán a la vanguardia a la universidad. Por este motivo, las universidades han ido evolucionando de convencionales a inteligentes. Así mismo la demanda y la tecnología están en constante crecimiento, por lo que debe existir una perfecta integración entre sus campos de acción.

Las universidades ecuatorianas tendrán a futuro una demanda cada vez más alta de estudiantes y de infraestructura tecnológica de múltiples propósitos.

Debido a la necesidad de nuevas tecnologías, será necesario replantear los esquemas de planificación y desarrollo sobre los cuales se actualizan los bienes de la universidad para pasar a lo que se conocerá como ESPOL 2.0 (Smart Campus). La implementación de este modelo en la ESPOL tiene el fin de que sea

la pionera en ECUADOR con lo que respecta a universidad inteligente. El laboratorio de energías tendrá la finalidad de motivar a los estudiantes en el uso de energías, en la realización de investigaciones afines al área y en la creación de grupos multidisciplinarios.

## **1.7 Objetivos**

### **1.7.1 Objetivo general**

- Implementar un marco regulatorio mediante un análisis de información para convertir a la ESPOL en un campus inteligente.

### **1.7.2 Objetivos específicos**

- Analizar información sobre los campos de acción de la ESPOL.
- Identificar falencias y propuestas existentes de nuevas tecnologías en la ESPOL.
- Establecer relaciones entre los campos de acción.
- Detallar iniciativas en todos los campos que conforman la universidad.
- Analizar un estudio de pre-factibilidad de ESPOL 2.0

## **1.8 Alcance**

Este proyecto está dirigido al desarrollo de un marco regulatorio de la ESPOL para su transformación en un campus inteligente, que se conocerá como ESPOL 2.0. El proyecto integrará de manera general los campos de acción o áreas que intervienen en la universidad. Se analizarán los problemas presentados en el capítulo 1.5 para mejorar el desempeño del campus mediante la implementación de iniciativas.

Se realizará un cronograma que especifica las prioridades que deben existir cuando se desee implementar una iniciativa y el tiempo que dure en realizarse.

Se analizarán los lineamientos para la gestión de un centro de control de la energía eléctrica en la universidad.

## CAPÍTULO 2

### 2. MARCO REGULATORIO SMART CAMPUS

#### 2.1 Metodología

El enfoque metodológico propuesto está estructurado de la siguiente manera:

- Planificación preliminar
- Identificación de campos de acción
- Adquisición de datos
- Análisis de datos
- Categorización de problemas
- Definición de las estrategias

Este enfoque metodológico, está basado en aspectos estrictamente relacionados entre sí para cada una de sus fases, estos son: planificación, integración, colaboración, flexibilidad y escalabilidad [4].

##### 2.1.1 Planificación preliminar

Para realizar correctamente un proyecto es necesario tener un amplio conocimiento del área a intervenir. Por ende, se comenzará la evaluación haciendo un análisis preliminar, con el objetivo de conocer los aspectos más importantes, como el medio ambiente, la economía, la vivienda, las personas, etc. Considerando esto se podrá fijar la planificación y la gestión de lo que se realizará en las siguientes fases. Al emplear este análisis se determina el área de intervención, los usuarios y su propósito, además de la viabilidad del proyecto. Con esto se podrá definir qué datos son útiles y categorizarlos en campos. Este análisis evoluciona, por lo tanto, es importante obtener toda la información concisa y continua, durante la implementación del Smart Campus, ya que así resultará un contexto detallado y claro.

### **2.1.2 Identificación de los campos de acción**

Con los resultados a obtenerse de la planificación preliminar se categorizan en los principales ámbitos, donde se introduce los aspectos, estrategias e intervenciones. Esta división se basa en los seis ejes del Smart City [1], que han sido adaptados al campus.

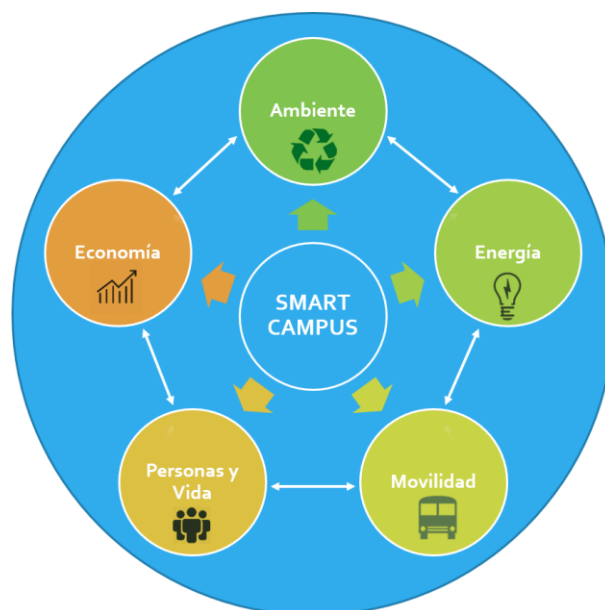
Se evaluará el rendimiento y la gestión del desarrollo del campus, y final este se identificará las relaciones e influencias mutuas entre los campos y elementos que los caracteriza, para luego gestionarlos y definirlos eficientemente.

El marco de Smart Campus está basado en los siguientes campos de acción: Personas y Vida, Economía, Medio Ambiente, Energía y Movilidad. A diferencia de los ejes de Smart City, en Smart Campus falta la categoría de Gobernabilidad, ya que se considera un aspecto transversal implícito dentro de todos los campos de acción. Por ello, la Gobernanza se incluye en dos subcategorías -gestión e información- en cada área de acción.

Además, el campo Personas y Vida se ha combinado en un solo campo, ya que la forma de Vida se ha considerado como servicios prestados por el campus a los diferentes usuarios. Por último, el campo Energía se separó del de Medio Ambiente, ya que en este último sólo se consideran los aspectos relacionados con el impacto ambiental.

A pesar de que se ha categorizado, existen influencias mutuas, especialmente en la definición de las estrategias de intervención.

Los campos de acción a utilizar en el Smart Campus se presentan en la Figura 2.1



**Figura 2.1 Campos de acción del Smart Campus [5]**

Para una mejor descripción de la composición de estos campos, se encuentran descritos a continuación.

- **Personas y vida**

Esta categoría se enfoca en la actuación del campus desde el punto de vista académico, investigativo y gestión administrativa. Se evalúan: oferta y calidad de servicios primarios (calidad y confort de las estructuras, orientación y tutoría de alumnos, recuperación de información, materiales, salud, seguridad, entre otros), también servicios secundarios (bares, bibliotecas, servicio al cliente, oportunidades en el extranjero, laboratorios, actividades extracurriculares y más).

- **Economía**

Considera la evaluación de planes económicos propuestos para el campus, calidad y objetivos de las inversiones (transparencia y equidad), financiación pública, oportunidades de trabajo, asociaciones y la financiación obtenida a través de organizaciones

externas, privadas y públicas, apoyo a innovaciones tecnológicas y creación de emprendimientos, colaboraciones interuniversitarias, compras y más.

- **Energía**

Analiza la producción, distribución y consumo de energía. Toma en consideración la identificación y evaluación del uso de energías renovables; proceso de producción de energía; eficiencia de las redes de distribución (electricidad, agua, internet); consumo de energía y fugas en los edificios y espacios al aire libre; diseño y construcción; medidas de consumo de energía y monitoreo e información impartida acerca del ahorro de energía.

- **Ambiente**

Resalta el impacto medioambiental en términos de contaminación, polución, promoción y protección de zonas verdes, gestión de aguas residuales y pluviales, microclima de interiores y exteriores, y calidad del aire, apoyo de sistemas reciclables a través de compras de alimentos y bebidas, etc.;

- **Movilidad**

Evalúa los sistemas de logística y transporte hacia, desde y dentro del campus. Analiza distintos puntos de vista: infraestructuras tales como estacionamientos, acceso y accesibilidad, zonas peatonales, etc.; redes de vehículos y ciclistas como transporte público, coche y bicicleta, auto compartido; además del apoyo e incentivos en promoción del transporte sostenible, transporte de residuos e información acerca de la movilidad sostenible y su planificación para estudiantes y empleados.

### **2.1.3 Adquisición de datos**

La adquisición de información tiene la finalidad de crear una base de datos, donde la información es transparente y compartida entre las partes interesadas y los asociados, esto mediante investigaciones y encuestas establecidas. Dentro de la recolección de datos surgen problemas como la identificación de la información que será realmente útil, la dificultad para acceder y recuperar datos y, además, verificar su fiabilidad.

La selección de datos depende no sólo del propósito del proyecto, sino también su relevancia, accesibilidad y efectividad. La información más importante está relacionada con sus características históricas, estructurales, operacionales, demográficas y académicas. Es necesario normalizar los datos para categorizarlos y luego analizarlos.

### **2.1.4 Análisis de datos**

Al adquirir gran cantidad de información desde diferentes puntos de vista, la deducción de las fuerzas, carencias y las influencias mutuas entre los datos no es directa. Por ello, una solución es agregar ponderadamente los datos obtenidos en diferentes indicadores.

Crear un indicador conlleva analizar una gran cantidad de información que generalmente sigue esta línea: índice, subíndice (opcional), indicador, variable y ponderación.

Por ende, se han desarrollado indicadores de desempeño para la evaluación de la sostenibilidad del campus. Cada marco evalúa el concepto de sostenibilidad del campus desde una perspectiva diferente, enfatizando sólo algunos aspectos específicos, como la energía y el medio ambiente, el papel de la tecnología o las capacidades humanas y sociales.

A partir de la categorización descrita en el capítulo 2.1.2, se muestra en la Tabla 2.1 un esquema para evaluar el desempeño la institución. La tabla muestra un ejemplo de los posibles indicadores y variables que podrían ser tenidos en cuenta en el análisis de datos del campus. Cada

campo de acción (índices) se ha dividido en temas (subíndices), que son las macro-áreas concernientes al índice. Los temas, a su vez, se desglosan en diferentes Indicadores, que miden y cuantifican una determinada Variable.

Los dos subíndices -Gestión e Información- se han utilizado en cada cálculo del Índice para medir el desempeño de la Gobernabilidad. Están representados por diferentes variables, basándose en las características de cada campo de acción.

ÍNDICE	Subíndice	Indicadores	Variables
<b>Personas y Vida</b>	Estudiantes	Tasa de graduación	Graduados/Total estudiantes que ingresan
	Académico	Enseñanza	Estudiantes/Profesores
			Clubes estudiantiles
		Capacitación	Cursos por año
		Primarios	Cursos/Aulas de clases
			Bibliotecas por facultad
		Secundarios	Residencias
			Purificadores de agua
		Seguridad	Video vigilancia
	Empresa Privada		
	Tecnología	Cobertura Wi-Fi/Área total	
	Gestión	Planificación	Planes anuales estratégicos por parte de autoridades
	Información	Educación	Campañas
Disponibilidad		Correos institucionales, redes sociales	

**Tabla 2.1 Indicadores de Smart Campus**

Para evaluar las variables establecidas en la Tabla 2.1 y conocer sus pros y contras se utiliza la Tabla 2.2 donde se asigna un puntaje de 1 hasta 5, siendo 1: completamente ineficiente, 2: ineficiente, 3: regular, 4: eficiente, 5: completamente eficiente.



<b>Variable</b>	<b>Ponderación</b>	<b>Pros</b>	<b>Contras</b>
Graduados/Total estudiantes que ingresan	3	Se gradúan estudiantes con respecto a los que ingresan	Ninguno
Estudiantes y Profesores	4	Categoría A de educación superior del Ecuador	Ninguno
Clubes estudiantiles	5	Motivan al estudiante en el voluntariado y actividades extracurriculares	Ninguno
Cursos por año	5	Realizan capacitaciones en todos los ámbitos académicos y sociales	Ninguno
Cursos/Aulas de clases	5	Suficientes y adecuada infraestructura	Ninguno
...	...	...	...

**Tabla 2.2 Ponderación de variables del Smart Campus**

### **2.1.5 Categorización de problema**

Los resultados del análisis de datos deben ser interpretados para mostrar no sólo el estado del arte del área de intervención, sino también para subrayar sus carencias y fortalezas. Esta fase es crucial para la definición de las estrategias, ya que permite comprender qué áreas hay que mejorar y cuáles son ya un recurso. Además, esta fase permite una priorización de los problemas a resolver.

### **2.1.6 Definición de las estrategias**

La última fase de la metodología es sobre la definición de las estrategias adecuadas en cada campo de acción; con el fin de mejorar la calidad de vida, disminuir los consumos energéticos y garantizar la disponibilidad de servicios e información para los usuarios.

Una estrategia adecuada identifica y toma en cuenta cada influencia y relación entre cada campo de acción. Por ejemplo, una acción relativa al campo de energía normalmente influye en las perspectivas económicas y ambientales. Una acción para mejorar la eficiencia energética de un edificio en la universidad debería ser capaz de

considerar eficazmente: los datos de construcción; la influencia (positiva, negativa o nula) de la acción en los campos económicos y medioambientales.

Con la ayuda de tablas de incidencia se podrá conocer las influencias o relaciones de las estrategias (acciones) a implementarse en una determinada área o campo de acción con respecto a los otros que conforman al Smart Campus.

Tabla de incidencia (acciones vs campos): cada campo de acción tiene su respectiva tabla donde los campos de acción se han dividido en diferentes indicadores que contienen distintas variables. Los indicadores del sistema evalúan el rendimiento de la universidad que se ha propuesto en la fase de análisis de datos. En cada tabla las variables han sido relacionadas con todos los otros campos, para resaltar los impactos (positivos, negativos o nulos) entre cada variable y campo inteligente. Una variable eficiente es la que tiene el mayor número de impactos positivos [11].

En la Tabla 2.3 se muestra un ejemplo de una matriz de incidencia del área de Ambiente del Smart Campus.

Otros campos de acción		AMBIENTE					
		Indicadores					
		Tema 1	Tema 2	Tema 3	Tema 4	Tema 5	Tema 6
		Variables					
		Acción 1	Acción 2	Acción 3	Acción 4	Acción 5	Acción 6
ENERGÍA	I.Positivo						
	I.Negativo						
AMBIENTE	I.Positivo						
	I.Negativo						
ECONOMÍA	I.Positivo						
	I.Negativo						
MOVILIDAD	I.Positivo						
	I.Negativo						
PERSONAS & VIDA	I.Positivo						
	I.Negativo						

Tabla 2.3 Ejemplo de una tabla de incidencia

## **2.2 Aplicación de la metodología de Smart Campus en ESPOL**

### **2.2.1 Planificación preliminar**

Las áreas a intervenir serán las facultades de la universidad ya que el campus en su mayoría cuenta con una gran extensión de áreas verdes que no necesita intervención alguna. Los usuarios a considerar son los estudiantes, profesores, personal administrativo y visitantes con el propósito de mejorar su calidad de vida en el campus.

### **2.2.2 Identificación de campos de acción**

En la ESPOL se ha identificado que existen 5 áreas de enfoque general que se deben tratar de manera profunda, estas son personas y vida, economía, energía, medio ambiente y movilidad.

En estas áreas se realizará un levantamiento de información para conocer el desempeño actual de las mismas en el campus y luego proceder a dar iniciativas para mejorarlas.

### **2.2.3 Adquisición de datos**

Los datos adquiridos han sido proporcionados por parte de varios departamentos de la universidad de manera libre y confiable. Hasta el momento la universidad no cuenta con una base de datos general en donde se pueda acceder y obtener la información requerida de manera sencilla y eficaz, lo cual inicialmente se define como una debilidad del sistema actual.

- El departamento de mantenimiento de la universidad facilitó los datos de los medidores existentes, las mediciones de la subestación, el estado de la red de distribución y los grupos electrógenos existentes en el campus.
- El Laboratorio de Fuentes Renovables y Energía (LabFREE) proporcionó los datos meteorológicos (sol y viento) de los últimos 5 años e información de los paneles fotovoltaicos y aerogenerador.
- El departamento de infraestructura física facilitó los planos de la futura expansión y los diagramas unifilares de la ESPOL.

- La planta de tratamiento de aguas residuales de la ESPOL (MBR) brindó información sobre el uso de estas.
- TransESPOL colaboró con la información de buses y usuarios que ocupan su servicio.
- Las páginas web de la ESPOL sirvieron de plataforma para la adquisición de datos ([www.espol.edu.ec](http://www.espol.edu.ec)).

#### 2.2.4 Análisis de datos

Luego del levantamiento de información se realiza la tabla de evaluación de los campos de acción de la universidad. La Tabla 2.4 muestra los indicadores y variables que serán tomados en cuenta en el análisis de datos.

ÍNDICE	Sub-Índice	Indicadores	Variables
<b>Personas y Vida</b>	Estudiantes	Tasa de graduación	Graduados/Total estudiantes que ingresan
	Académico	Enseñanza	Estudiantes - Profesores
			Materias de libre opción
			Clubes estudiantiles
		Investigación	Publicaciones científicas por año
	Capacitación	Cursos por año	
	Servicios	Primarios	Cursos de ayudantías por facultad
			Cursos/Aulas de clases
			Salas de estudios por facultad
			Bibliotecas por facultad
			Laboratorios de computación por facultad
		Secundarios	Residencias
			Purificadores de agua
			Restaurantes por facultad
			Máquinas dispensadoras por facultad
Máquinas de recargas electrónicas móviles por facultad			

			Climatización de aulas
			Instalaciones deportivas por facultad
			Mantenimiento por facultad
		Seguridad	Video vigilancia
			Privada
		Tecnología	Cobertura Wi-Fi/Área total
	Plataformas académicas		
	Gestión	Planificación	Planes anuales estratégicos por parte de autoridades
	Información	Educación	Campañas
Disponibilidad		Correos institucionales, redes sociales	
<b>Economía</b>	Innovación	Financiamiento	Proyectos universitarios
			Nuevos laboratorios y tecnología
			Fondo para mantenimiento de proyectos implementados
		Turismo	Atractivos
	Soluciones	Desarrollo de soluciones inteligentes	
	Emprendimiento	Competitividad	Incubadora de proyectos
		Networking	
	Oportunidades	Show-rooms	
	Ayuda financiera	Estudios de postgrados	Estudiantes de maestrías y doctorados
Excelencia académica		Becas para los mejores promedios por facultad	
<b>ENERGÍA</b>	Producción	Energía No Renovable	Grupos Electrógenos
		Energía Renovable	Paneles Fotovoltaicos (PV)
			Aerogeneradores
	Distribución	Redes	Electricidad
			Agua
	Consumo	Energía en edificios	Consumo y fugas de energía
			Eficiencia de climatización
		Iluminación	Sensores

			LEDs
	Gestión	Planificación	Sistema de administración de la energía
	Información	Generación de datos	Generación/Demanda por facultades
<b>AMBIENTE</b>	Paisaje	Densidad	Área campus/Usuarios campus
		Áreas Verdes	Áreas con vegetación/Área total del campus
	Residuos	Producción	Residuos no reciclables/Usuarios del campus
			Consumo de papel por año
	Agua	Gestión	Reutilización de aguas lluvias y aguas residuales
<b>MOVILIDAD</b>	Red Infraestructural	Parqueo	Áreas de parqueo/Áreas libres
		Transporte público	Número de paradas de transporte público cercanas al campus
	Red vehicular y ciclismo	Vehículos	Auto compartido
		Bicicletas	Flujo de bicicletas/Usuarios del campus
			Extensión de ruta de la ciclovía
		Bus	No. de buses de la universidad/ Usuarios del campus
	Conformidad		
	Información	Educación	Movilidad sostenible
		Disponible	Horarios entrada/Salida buses de la universidad

**Tabla 2.4 Indicadores de Smart Campus**

Se asignó valores a cada variable dividiéndolas por campos de acción con sus respectivos pros y contras como se indica en las siguientes tablas.

- **Personas y Vida**

<b>Variable</b>	<b>Ponderación</b>	<b>Pros</b>	<b>Contras</b>
Graduados/Total estudiantes que ingresan [12] [13]	3	En la actualidad se gradúan más estudiantes con respecto a los que ingresan.	Ninguno
Estudiantes - Profesores [14] [15]	4	Categoría A de educación superior del Ecuador	Ninguno
Materias de libre opción	5	Incentivan la actividad física y la cultura	Ninguno
Clubes estudiantiles [16]	5	Motivan al estudiante en el voluntariado y actividades extracurriculares	Ninguno
Publicaciones científicas por año [17]	4	Actualmente 100 y en constante crecimiento	Ninguno
Cursos por año [18]	5	Realizan capacitaciones en todos los ámbitos académicos y sociales	Ninguno
Cursos de ayudantías por facultad	4	Gratuitas y de alto nivel académico	Poca oferta en últimos niveles
Cursos/Aulas de clases [19]	5	Suficientes y adecuada infraestructura	Ninguno
Salas de estudios por facultad	5	Cada facultad tiene su sala de estudios	Ninguno
Bibliotecas por facultad [20]	5	Cada facultad tiene su biblioteca	Ninguno
Laboratorios de computación por facultad [19]	5	Cada facultad tiene sus laboratorios de computación	Ninguno
Residencias	2	Cuenta con todas las comodidades	Solo para profesores extranjeros, número limitado de habitaciones
Purificadores de agua	3	Cumple con las normativas correspondientes	No cuenta con purificadores en todas las facultades
Restaurantes por facultad [21]	4	Cada facultad tiene su comedor	Calidad de servicio

Máquinas dispensadoras por facultad	4	La mayoría de las facultades cuenta con su máquina dispensadora	Faltan en algunas facultades
Máquinas de recargas electrónicas móviles por facultad	3	No existe recarga al valor establecido	Solo una operada ofrece el servicio y no se encuentran en todas las facultades
Climatización de aulas	4	Todas las aulas cuentan con su acondicionador de aire	Algunas aulas tienen deficiencias herméticas y acondicionadores de aire defectuosos
Instalaciones deportivas por facultad [19]	5	Cada facultad cuenta con su área deportiva	Ninguno
Mantenimiento por facultades	3	Cada edificio cuenta con su personal de mantenimiento	El número del personal es limitado
Video vigilancia	2	Ninguno	Mala calidad de video, equipos viejos
Privada	5	Cada facultad cuenta con varios guardias	Ninguno
Cobertura Wi-Fi/Facultad	3	Conexión de alta velocidad	No existe cobertura en toda la parte habitada del campus
Plataformas académicas [22]	5	Cumple con los requerimientos	Ninguno
Planes anuales estratégicos por parte de autoridades [23]	5	Información libre y confiable	Ninguno
Campañas	4	Realizan campañas sociales, de seguridad, informativas, etc.	Faltan iniciativas que motivar
Correos institucionales, redes sociales [22]	5	Cumple con los requerimientos	Ninguno

**Tabla 2.5 Evaluación del área de Personas y Vida**



- **Economía**

<b>Variable</b>	<b>Ponderación</b>	<b>Pros</b>	<b>Contras</b>
Proyectos universitarios [12]	3	La ESPOL ayuda en la búsqueda del financiamiento nacional o internacional	No cuenta con el financiamiento directo
Nuevos laboratorios y tecnología [24]	4	Implementación de nuevos laboratorios para algunas facultades	Ninguno
Fondo para mantenimiento de proyectos implementados	2	Ninguno	Falta de plan de mantenimiento
Atractivos [25]	4	Bosque protector y ciclovía	Sus atractivos turísticos son limitados
Desarrollo de soluciones inteligentes [24] [26]	3	Muchas iniciativas	Proyectos incompletos
Incubadora de proyectos [27]	2	Ofrece todas las comodidades	Existen limitantes para acceder, número limitado
Networking	2	Ninguno	Falta de posibilidades
Show-rooms	2	Los estudiantes muestran sus tesis en una feria general	Falta de posibilidades para estudiantes de niveles inferiores
Estudiantes de maestrías y doctorados [28]	5	Programa de becas de la ESPOL para mejores promedios	Ninguno
Becas para los mejores promedios por facultad [29]	5	Remuneración a la excelencia académica	Ninguno

**Tabla 2.6 Evaluación del área de Economía**

- **Energía**

<b>Variable</b>	<b>Ponderación</b>	<b>Pros</b>	<b>Contras</b>
Grupos Electrógenos [30]	4	Varias facultades poseen suministro de respaldo para luminarias	Uso de combustibles fósiles
Paneles Fotovoltaicos (PV) [31]	1	Ninguno	Existen únicamente 10 paneles funcionando en la universidad
Aerogeneradores [31]	1	Ninguno	Existen únicamente 2 aerogeneradores en la universidad
Electricidad [32]	3	Todo el campus cuenta con el servicio	Falta de mantenimiento en las redes
Agua	5	Todo el campus cuenta con el servicio	Ninguno
Medición de consumo eléctrico [33]	2	Ninguno	Falta de medidores en algunas facultades y en otras se encuentran obsoletos
Eficiencia de climatización	2	Ninguno	No existe eficiencia hermética en los edificios
Sensores	1	Ninguno	Los edificios no cuentan con sensores de movimiento ni lumínicos
LEDs	2	La ciclovía cuenta con iluminación LED	Las instalaciones no cuentan con iluminación LED
Sistema de administración de la energía	1	Ninguno	La universidad no cuenta con un sistema de administración de energía
Generación/Demanda por facultades	1	Ninguno	No existe disponibilidad de la información a los usuarios

**Tabla 2.7 Evaluación del área de Energía**

- **Ambiente**

Variable	Ponderación	Pros	Contras
Área campus [10]	5	Cuenta con 690 hectáreas	Ninguno
Áreas con vegetación [10]	5	Cuenta con 600 hectáreas que han sido declaradas bosque protector	Ninguno
Reciclaje	1	Ninguno	No clasifica la basura ni la recicla
Consumo de papel anual	1	Ninguno	No contabiliza el consumo de papel
Reutilización de aguas lluvias	1	Ninguno	No utiliza el agua de las lluvias
Aguas residuales	2	Posee dos plantas de tratamiento	No se reutiliza la mayoría del agua tratada

**Tabla 2.8 Evaluación del área de Ambiente**

- **Movilidad**

Variable	Ponderación	Pros	Contras
Áreas de parqueo	4	Todas las facultades cuentan con su área de parqueo	No satisface la demanda en horas pico
Número de paradas de transporte público cercanas al campus	3	Ninguno	Solo 3 líneas de transporte público llegan de manera directa
Auto compartido	2	Ninguno	No existen iniciativas
Flujo de bicicletas/Usuarios del campus [34]	3	Estimula la actividad física	Ninguno
Extensión de ruta de la ciclovía [34]	2	Ninguno	No cubre todas las facultades
No. de buses de la universidad/ Usuarios del campus	3	Cubre la demanda de usuarios	No existen buses de respaldo
Conformidad	2	Conformidad del personal administrativo	Inconformidad por parte de los estudiantes
Movilidad sostenible	4	Disminución de contaminación	Ninguno
Horarios entrada/Salida buses de la universidad [35]	3	Organización en el ingreso y salida del campus	Inconformidad de parte de los estudiantes

**Tabla 2.9 Evaluación del área de Movilidad**

Una vez completas las tablas de ponderación se procederán a hacer un análisis de las variables que hayan tenido una ponderación de 1, 2, o 3 en ciertos casos.

- **Personas y vida**

- **Residencias**

Actualmente la ESPOL cuenta con una residencia exclusiva para profesores extranjeros que recién llegan al país, o para expositores internacionales, pero el número de habitaciones es limitado.

- **Purificadores de agua**

La ESPOL cuenta con de 4 puntos de distribución de agua purificada, ubicados en las diferentes facultades. Adicional cuenta con una planta con capacidad de 1000 L/h.

Se la distribuye a través de 400 botellones (cap. 20 Litros) a distintas oficinas del campus. Desafortunadamente el proceso de embotellamiento se realiza de forma manual, careciendo de un sistema automatizado.

- **Video vigilancia**

La ESPOL posee en la mayoría de facultades cámaras con una baja resolución de video, que impiden captar el rostro de las personas.

- **Cobertura Wi-Fi/Facultad**

El servicio de Wi-Fi con el que cuenta la ESPOL es de alta velocidad, pero la cobertura en todo el campus es limitada con una restricción de acceso.

- **Economía**

- **Fondo para mantenimiento de proyectos implementados**

La ESPOL suele invertir económicamente en proyectos que son rentables para mejorar algún aspecto necesario. La

problemática nace cuando no existe una aportación económica adicional a la inversión inicial, limitando el mantenimiento de estos proyectos y así produciendo una reducción su vida operacional.

- **Incubadora de proyectos**

El Centro de Emprendedores de la ESPOL (CEEMP) coordina, supervisa y dirige las incubadoras de proyectos que sirven para ejecutar las ideas de los estudiantes, sin embargo, su número es limitado y sus requisitos son de difícil acceso.

- **Networking**

La universidad ofrece congresos y seminarios que aporten al desarrollo profesional de la comunidad estudiantil, pero no se ofrece un tiempo para conversar con los ponentes y despejar las dudas que quedaron en la charla. En resumen, no se ofrecen eventos en que los estudiantes puedan interactuar con profesionales del medio.

- **Show-rooms**

No se ofrecen eventos con exposiciones libres en los que se invite a empresas del medio para que los estudiantes presenten sus ideas o productos, de tal manera que pueda ejecutarla.

Los estudiantes que cursan la materia integradora en su último semestre están obligados a dar una presentación de sus tesis en una feria, pero no existe este tipo de oportunidades para estudiantes de otros niveles.

- **Energía**

- **Paneles Fotovoltaicos**

Actualmente, la ESPOL tiene instalados 10 paneles fotovoltaicos que poseen una capacidad de 1100 W, que se encuentran en la parte superior del edificio de rectorado y suplen de energía a la carga que se encuentra en la oficina del rector como impresora,

computadora e iluminación. La generación a través de paneles fotovoltaicos no es rentable en el campus.

- **Aerogeneradores**

La ESPOL cuenta en sus instalaciones con dos aerogeneradores, uno de 3000 W ubicado sobre el edificio de rectorado que alimenta algunas de las luminarias de la oficina del rector y otro de 1500 W, que se encuentra sobre el edificio de la Facultad de Mecánica.

No se les puede dar un uso eficiente, debido a que existen muchas colinas y árboles que impiden el paso de vientos de gran magnitud.

- **Electricidad - Redes de Distribución**

La red de distribución de la ESPOL se implementó en la década de los años 90 y desde entonces no se han renovado.

Según la memoria técnica Red de Distribución en Media Tensión realizada en el año 2012 [32] se debía realizar un cambio que hasta el momento no se ha concretado.

No existe un alimentador de carga por cada edificio puesto que, se encuentra zonificada y por tanto no puede llevarse un correcto control.

- **Medición de consumo**

Actualmente la ESPOL cuenta con 42 medidores antiguos, de los cuales 3 se encuentran dañados, 1 desconectado, 4 han desaparecido, cuya demanda se estima por el consumo promedio [33].

La distribución de los medidores no se diseña por edificios sino por áreas, lo que no permite conocer el consumo ni la eficiencia en las instalaciones.

- **Eficiencia de climatización**

Varios acondicionadores de aire de la universidad se encuentran en mal estado, sea por falta de mantenimiento o porque están obsoletos, además no existe un control adecuado de la hermetización de las aulas, laboratorios o edificios.

- **Sensores**

Los edificios no cuentan con sensores de movimiento y luz de día que controlen las luminarias de las aulas o pasillos.

- **LEDs**

Actualmente la ESPOL tiene instaladas lámparas LED en la ciclovia de 1 km aproximadamente. El resto de luminarias cuenta con focos fluorescentes o incandescentes.

- **Sistema de administración de la energía**

No se cuenta con un sistema de este tipo, ni con el personal correspondiente que realice el control respectivo.

- **Generación/Demanda por facultades - Información**

No se encuentra disponible información de Generación y Demanda para un estudiante o profesor. Para poder acceder a la demanda de la universidad se debe consultar con el “Departamento de Mantenimiento” o “Departamento Financiero”; quien hace la gestión del pago a la empresa distribuidora CNEL EP.

- **Ambiente**

- **Reciclaje**

ESPOL cuenta con 68 estaciones de reciclaje en las áreas externas del campus y 100 en las áreas internas [36]. Los tachos de basura que están en el Campus Gustavo Galindo o Campus Prosperina tienen los siguientes colores: rojo, verde y azul. Los recipientes rojos se destinan para depósito de papel y cartón, los

verdes para desechos orgánicos y los azules para plástico y vidrio.

Entre los años 2011 y 2013, la ESPOL produjo papel y abono orgánico a partir de los desperdicios orgánicos e inorgánicos del campus. Parte de la producción se empleó en las propias instalaciones y el resto se comercializó para recaudar fondos [37]. La ESPOL abandonó el proyecto debido al desinterés de los usuarios en el campus por colaborar con la selección de desperdicios y su posterior desecho en los respectivos tachos [38].

- **Consumo de papel anual**

No existen indicadores para conocer el uso de papel en la universidad. Se podría hacer un análisis en lo que respecta al área administrativa con base en las facturas que generan por compra de papel para impresiones. Se desconoce el consumo de papel por parte de profesores, alumnos y centros de copiado.

- **Reutilización de aguas lluvias**

No existe un proyecto que realice la recolección de las aguas lluvias. Existe la idea de construir captanieveblas para aprovecharlas y recolectar la humedad que existe en la universidad.

- **Aguas residuales**

La ESPOL cuenta con dos plantas de tratamiento de aguas residuales en el campus “La Prosperina”, la primera se ubica en el área del pre politécnico y la segunda cerca de la cancha de fútbol de las facultades de ingenierías.

Esta planta se abastece del agua proveniente de los servicios higiénicos de los edificios de la universidad. El agua tratada se utiliza para el riego de los jardines desde el gimnasio de



profesores hasta la Facultad de Mecánica y la cancha de fútbol de las facultades de ingenierías.

- **Movilidad**

- **Auto compartido**

No existe la cultura de compartir el auto con personas que vivan cerca y estudien en la misma universidad.

- **Extensión de ruta (Ciclovía)**

La ruta de la ciclovía cuenta con una extensión aproximada de 1 km que sirve para trasladar a los estudiantes desde la garita hasta la zona de rectorado.

Esta ruta no es de utilidad para los estudiantes de la Escuela de Diseño y Comunicación Visual (EDCOM) ya que, se encuentra lejos del rectorado.

- **No. de buses de la universidad**

TransESPOL, empresa encargada del medio de transporte de la universidad, cuenta con 4 buses y la ESPOL con 16. Si se presentan problemas de funcionamiento no existen buses de respaldo, lo que generará malestar en los usuarios.

La cantidad de buses disponible para los estudiantes en las rutas de entrada y salida del campus no es suficiente para cubrir la demanda de las horas picos – 7h30, 13h30, 16h30, 18h30, igualmente estas unidades prestan servicios para las visitas técnicas estudiantiles.

TransESPOL ha manifestado su interés en que otras cooperativas de buses cubran las rutas en las horas picos, pero estas no están interesadas debido a la tarifa que cobran a los estudiantes. (\$0.25)

- **Conformidad - Buses**

Existe inconformidad por parte de los estudiantes con respecto al servicio de buses universitario, debido a que TransESPOL no

cuenta con el suficiente número de unidades. Por lo tanto, se generan largas filas en el paradero principal del campus en las horas pico.

Otra inconformidad es el ingreso indebido de alumnos a las filas correspondientes a cada ruta provocando que no puedan tomarlo quienes han estado a tiempo.

Se utilizará la tabla de incidencia establecida en el capítulo 2.6 para resaltar los impactos entre cada acción y cada campo inteligente.

Otros campos de acción		Personas y Vida			
		Indicadores			
		Servicios			
		Variables			
		Residencias	Purificadores de agua	Video vigilancia	Cobertura Wi-Fi /Facultad
ENERGÍA	I.Positivo	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno
	I.Negativo	Uso de energía	Uso de energía	Uso de energía	Uso de energía
AMBIENTE	I.Positivo	Ninguno	Botellas de desecho	Ninguno	Ninguno
	I.Negativo	Uso de áreas verdes	Uso de agua	Ninguno	Ninguno
ECONOMÍA	I.Positivo	Ingresos por arriendo	Ahorro en adquisición de agua	Ninguno	Ninguno
	I.Negativo	Inversión inicial	Inversión inicial	Inversión inicial	Inversión inicial
MOVILIDAD	I.Positivo	Rápido traslado	Ninguno	Control de vehículos	Ninguno
	I.Negativo	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno
PERSONAS & VIDA	I.Positivo	Amplio confort	Agua purificada gratuita	Seguridad para los usuarios	Acceso total a internet
	I.Negativo	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno

**Tabla 2.10 Tabla de incidencia del campo Personas y Vida**

Otros campos de acción		Economía			
		Indicadores			
		Financiamiento	Emprendimiento		
		Variables			
		Mantenimiento de proyectos	Incubadora	Networking	Show-rooms
ENERGÍA	I.Positivo	Mejora en eficiencia	Ninguno	Ninguno	Ninguno
	I.Negativo	Uso de energía	Uso de energía	Ninguno	Uso de energía
AMBIENTE	I.Positivo	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno
	I.Negativo	Ninguno	Uso de áreas verdes	Ninguno	Ninguno
ECONOMÍA	I.Positivo	Extiende la vida de los proyectos	Incentiva a la continuación de proyectos	Incrementa posibilidades de éxito	Incrementa posibilidades de éxito
	I.Negativo	Gastos por mantenimiento	Inversión inicial	Ninguno	Ninguno
MOVILIDAD	I.Positivo	Mejora en eficiencia	Ninguno	Ninguno	Ninguno
	I.Negativo	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno
PERSONAS & VIDA	I.Positivo	Ninguno	Motivación personal	Incrementa la red de contactos	Motivación personal
	I.Negativo	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno

**Tabla 2.11 Tabla de incidencia del campo Economía**

Otros campos de acción		Energía						
		Temas						
		Energía Renovable No Convencionales	Redes de Distribución	Iluminación		Gestión	Consumo	
		Acciones						
		Paneles Fotovoltaicos	Aerogeneradores	Cambio de la red de distribución de media tensión	Sensores	LEDs	Sistema Administración de la Energía	Medición inteligente
ENERGÍA	I.Positivo	Energía verde	Energía verde	Eficiencia en redes de distribución	Ahorro energético	Ahorro de energía	Monitoreo de energía y prevención de la demanda	Ahorro en consumo
	I.Negativo	Uso de energía en la instalación	Uso de energía en la instalación	Ninguno	Uso energía	Uso de energía	Uso de energía	Ninguno
AMBIENTE	I.Positivo	Reducción de contaminación	Reducción de contaminación	Reducción de contaminación	Reducción de contaminación	Reducción de contaminación	Reducción de contaminación	Reducción de contaminación
	I.Negativo	Ninguno	Impacto visual	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno
ECONOMÍA	I.Positivo	Ahorro económico a largo plazo	Ahorro económico	Ahorro económico	Ahorro económico	Ahorro económico	Ahorro económico	Ahorro económico
	I.Negativo	Inversión inicial	Inversión inicial	Inversión inicial	Costo de instalación	Costo de instalación	Inversión inicial	Inversión inicial
MOVILIDAD	I.Positivo	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Iluminación vial	Ninguno	Ninguno
	I.Negativo	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno
PERSONAS & VIDA	I.Positivo	Ninguno	Impacto visual	Ninguno	Incremento de confort	Mejor visualización	Acceso a la información	Ninguno
	I.Negativo	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Riesgos a la salud [39]	Ninguno	Ninguno

Tabla 2.12 Tabla de incidencia del campo Energía

Otros campos de acción		Ambiente			
		Indicadores			
		Residuos		Gestión Agua	
		Variables			
		Uso papel	Reciclaje	Uso de las aguas lluvias	Uso de aguas residuales
<b>ENERGÍA</b>	<b>I.Positivo</b>	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno
	<b>I.Negativo</b>	Uso de energía	Uso de energía	Uso de energía	Uso de energía
<b>AMBIENTE</b>	<b>I.Positivo</b>	Disminuye deforestación	Reutilización de desechos	Aprovechamiento del agua lluvia	Reutilización del agua
	<b>I.Negativo</b>	Uso de agua	Ninguno	Ninguno	Ninguno
<b>ECONOMÍA</b>	<b>I.Positivo</b>	Ingresos	Ingresos	Reducción del consumo de agua	Reducción del consumo de agua potable
	<b>I.Negativo</b>	Inversión inicial	Inversión inicial	Inversión inicial	Inversión inicial
<b>MOVILIDAD</b>	<b>I.Positivo</b>	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno
	<b>I.Negativo</b>	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno
<b>PERSONAS &amp; VIDA</b>	<b>I.Positivo</b>	Conciencia ecológica	Conciencia ecológica	Conciencia ecológica	Conciencia ecológica
	<b>I.Negativo</b>	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno

**Tabla 2.13 Tabla de incidencia del campo Ambiente**

Otros campos de acción		Movilidad		
		Indicadores		
		Autos	Bicicleta	Buses
		Variables		
		Auto Compartido	Extensión de ruta	Incremento de unidades
ENERGÍA	I.Positivo	Ninguno	Ninguno	Ninguno
	I.Negativo	Ninguno	Uso de energía	Ninguno
AMBIENTE	I.Positivo	Disminución de contaminación	Ninguno	Ninguno
	I.Negativo	Ninguno	Uso de áreas verdes	Incremento de contaminación
ECONOMÍA	I.Positivo	Ninguno	Ninguno	Ninguno
	I.Negativo	Ninguno	Inversión inicial	Inversión inicial
MOVILIDAD	I.Positivo	Disminución de autos	Disminución de vehículos	Buses de respaldo
	I.Negativo	Ninguno	Ninguno	Ninguno
PERSONAS & VIDA	I.Positivo	Comodidad	Conformidad por los estudiantes	Conformidad por los estudiantes
	I.Negativo	Ninguno	Ninguno	Ninguno

**Tabla 2.14 Tabla de incidencia del campo Movilidad**

Una vez analizadas las incidencias de un campo con el otro se conoce el impacto que existe entre ellos, se podrá llegar a la conclusión que el que tenga más impactos positivos es el de mayor provecho sin dejar de lado que otras iniciativas sean más importantes.

## CAPÍTULO 3

### 3. IMPLEMENTACIÓN DEL SMART CAMPUS

#### 3.1 Iniciativas

Se procederá a dar iniciativas (estrategias) para trabajar en las variables de baja ponderación en los diferentes campos de acción enfatizando en el campo energético.

##### 3.1.1 Personas y vida

- **Residencias**

Según la tesis “Proyecto de Creación de una Residencia Universitaria para los Estudiantes de la ESPOL” [40] se realizó un estudio en el año 2009 de un prototipo de vivienda para los estudiantes de la ESPOL, mediante encuestas para evidenciar los pros y contras. Se concluyó que la creación de estas residencias es factible para la universidad y los estudiantes.

- **Purificadores de agua**

Se propone incrementar el número de purificadores de agua en las facultades donde no se cuenta con el servicio y la implementación de una planta embotelladora de agua, que realice los procesos de forma automatizada, y así aumentar la producción. De igual forma se debe incentivar su comercialización en el campus y en el mercado local.

- **Video vigilancia**

Se propone el reemplazo de las actuales cámaras de video vigilancia por cámaras IP de última tecnología.

Se busca integrar servicios de emergencia junto a sensores, cámaras de video vigilancia y análisis de grandes cantidades de datos en tiempo real con el fin de aumentar el tiempo de respuesta de cuerpos de seguridad cuando se lo requiera.

- **Cobertura Wi-Fi/Facultad**

Se plantea hacer un levantamiento de información del total de área cubierta por Wi-Fi para luego mediante el incremento de unidades routers cubrir la zona habitada.

### 3.1.2 Economía

- **Fondo para mantenimiento de proyectos implementados**

Se deberá establecer el dinero para el mantenimiento mensual o anual en la inversión inicial durante la vida útil del equipo, para lograr un correcto control.

- **Incubadora de proyectos**

Es importante destinar un espacio adicional al existente para aumentar incubadoras que ofrezcan todas las comodidades, permitir la recepción de proyectos de toda índole y así brindar el constante apoyo y motivación para su crecimiento.

- **Networking**

Ofrecer eventos de Networking para que los estudiantes socialicen con especialistas de un área determinada del saber que puedan compartir sus experiencias con lo que contribuirá a su desarrollo profesional.

La ESPOL debería realizar convenios con ciertas empresas para que mensualmente visiten la universidad y efectuar eventos dirigidos a estudiantes que tengan iniciativa propia.

- **Show-rooms**

Creación de eventos mensuales en los que los estudiantes de cualquier nivel de la universidad puedan exponer sus ideas y proyectos a las principales empresas del medio local e internacional y de esta manera obtener un financiamiento.

Es necesario que la ESPOL tenga convenios con estas empresas y que la asistencia sea constante.



### 3.1.3 Energía

- **Paneles fotovoltaicos**

Se propone la instalación de paneles fotovoltaicos en los distintos edificios del campus para suplir el 70% de la demanda. El área a utilizar será menos del 50% del techo de los edificios.

El panel a utilizar será un CanadianSolar Quintech Superpower CS6K-295MS con una eficiencia del 18% que tiene un valor en el mercado estadounidense de \$218 y ocupa un área de  $1,64 m^2$ , que ofrece 412 KWh al año, lo que disminuirá la sobrecarga de la red de distribución.



**Figura 3.1 Paneles fotovoltaicos en la universidad [41]**

Se utilizó el simulador Homer Pro Microgrid Analysis Tool para simular una micro red con los diferentes componentes del sistema eléctrico.

En este caso se utilizará la red local, paneles solares, inversor y la carga específica de las facultades de la universidad. El programa tiene la limitante de trabajar hasta con 10 paneles al mismo tiempo por lo que la simulación se la realizará con este número y será proyectado al número de paneles deseados para cubrir la carga asignada.

COE - El costo promedio por kWh de la energía eléctrica útil producida por el sistema.

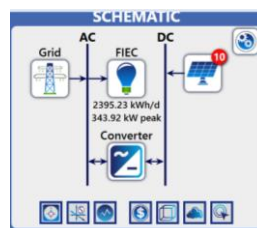
*Ren Frac* - La fracción de la energía entregada a la carga que proviene de fuentes de energía renovables.

Se trabajará con 4 de las principales facultades de la universidad, las otras facultades y edificios no cuentan con una carga específica por falta de medidores en sus instalaciones.

En este caso el programa nos indica la capacidad de cada panel, de la red, la variable COE, Re Frac, la producción de un panel durante un año y la energía que suministra la red durante un año.

- **FIEC**

La carga de la facultad de la FIEC es de 2395,23 KWh/d y 343,92 KWp.



Architecture		Cost		System		CS6K-295 (1)	Grid
CS6K-295 (1)	Grid (kW)	COE (\$)	Ren Frac (%)	CO <sub>2</sub> (kg/yr)	Production (kWh)	Energy Purchased (kWh)	
0.295	999,999	-\$0.0900	0.45	305,493	412	870,350	

**Figura 3.2 Esquemático y simulación del sistema FIEC**

En este caso la penetración de los 10 paneles con respecto a la carga es de un 0,45%. Se desea cubrir más del 70% de la carga por lo que el número de paneles se proyecta a 1600 y se obtendría energía para suplir el 72% de la carga.

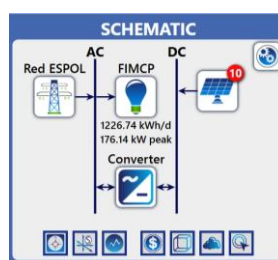
Estos 1600 paneles suplirán a la carga 659200 KWh al año lo representa un ahorro en la planilla eléctrica de \$4944 mensual.

De estudios recientes sobre el análisis del ciclo de vida de la electricidad en Ecuador y presentados en la ESPOL en septiembre de 2014, se ha determinado que por cada kWh no consumido equivale a dejar de emitir 0,351 kg de CO<sub>2</sub> a la atmosfera. El uso de los paneles equivaldría a dejar de emitir 231,38 Toneladas de CO<sub>2</sub> anuales la atmosfera.

Las áreas a utilizar en la facultad son los techos de los edificios 15A, 24A y bloque 16 Lab. Potencia que suman un área de 6073 m<sup>2</sup>, la cual se utilizara un 43% de la misma para la instalación de paneles fotovoltaicos. (Ver Fig. 01 del Anexo 4)

○ **FIMCP**

La carga de la facultad de FIMCP es de 1226,74 KWh/d y 176,14 KWp.



Export...		Export All...		Sensitivity Cases					
				Left Click on a sensitivity case to see its Optimization Results.					
Architecture				Cost	System		CS6K-295 (1)	Grid	
				COE (\$)	Ren Frac (%)	CO <sub>2</sub> (kg/yr)	Production (kWh)	Energy Purchased (kWh)	
			CS6K-295 (1) (kW)	Grid (kW)	0.0896	0.87	155,792	412	443,851
			0.295	999,999					

**Figura 3.3 Esquemático y simulación del sistema FIMCP**

En este caso la penetración de los 10 paneles con respecto a la carga es de un 0,87%. Se desea cubrir más del 70% de la carga por lo que el número de paneles se proyecta a 800 y se obtendría energía para suplir el 72% de la carga.

Estos 800 paneles suplirán a la carga 329600 KWh al año lo que representará un ahorro en la planilla eléctrica de \$2472 mensual.

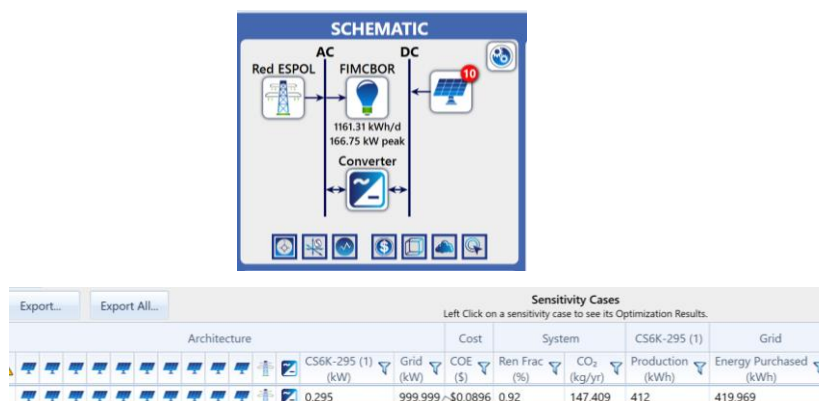
El uso de los paneles equivaldría a dejar de emitir 115,69 Toneladas de CO<sub>2</sub> anuales la atmosfera.

Las áreas a utilizar en la facultad de FIMCP son los techos de los edificios 18A Laboratorio de Fuentes Renovables, 24E Aulas y laboratorios de mecánica, administración de mecánica, asociación de estudiantes de mecánica y laboratorios de ingeniería mecánica que suman un área de 3548 m<sup>2</sup>, la cual se

utilizara un 34% de la misma para la instalación de paneles fotovoltaicos. (Ver Fig. 02 del Anexo 4)

○ **FIMCBOR**

La carga de la facultad de FIMCBOR es de 1161,31 KWh/d y 166,75 KWp.



**Figura 3.4 Esquemático y simulación del sistema FIMCBOR**

En este caso la penetración de los 10 paneles con respecto a la carga es de un 0,92%. Se desea cubrir más del 70% de la carga por lo que el número de paneles se proyecta a 750 y se obtendría energía para suplir el 69% de la carga.

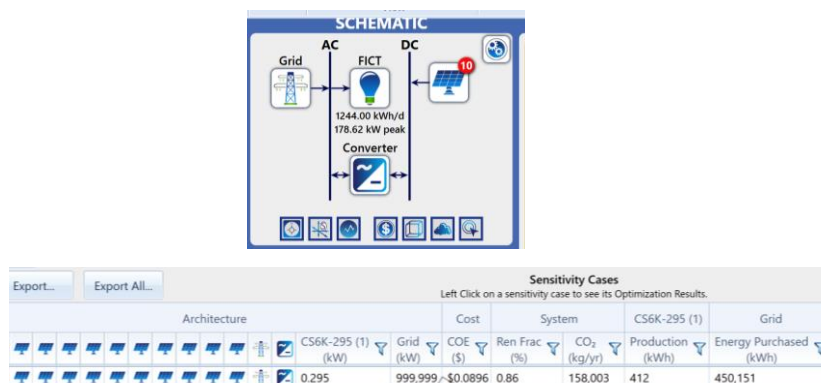
Estos 750 paneles suplirán a la carga 309000 KWh al año lo que representará un ahorro en la planilla eléctrica de \$2318 mensual.

El uso de los paneles equivaldría a dejar de emitir 108,46 Toneladas de CO<sub>2</sub> anuales la atmosfera.

Las áreas a utilizar en la facultad de FIMCBOR son los techos de todos los edificios suman un área de 9236 m<sup>2</sup>, la cual se utilizará un 13,32% de la misma para la instalación de paneles fotovoltaicos. (Ver Fig. 03 del Anexo 4)

- **FICT**

La carga de la facultad de FICT es de 1244 KWh/d y 178,62 KWp.



**Figura 3.5 Esquemático y simulación del sistema FICT**

En este caso la penetración de los 10 paneles con respecto a la carga es de un 0,92%. Se desea cubrir más del 70% de la carga por lo que el número de paneles se proyecta a 810 y se obtendría energía para suplir el 70% de la carga.

Estos 810 paneles suplirán a la carga 333720 KWh al año lo que representará un ahorro en la planilla eléctrica de \$2503 mensual. El uso de los paneles equivaldría a dejar de emitir 117,136 Toneladas de CO<sub>2</sub> anuales la atmosfera.

Las áreas a utilizar en la facultad de FICT son los techos de los edificios de arqueología, Ciencias de la Tierra, Lab. de Mineralogía y Lab. Ciencias de la Tierra y que suman un área de 2059 m<sup>2</sup>, la cual se utilizara un 64% de la misma para la instalación de paneles fotovoltaicos. (Ver Fig. 04 del Anexo 4)

- **Electricidad - Redes de Distribución**

En la memoria técnica “Red de Distribución Eléctrica en Media Tensión” realizada por el Departamento de Mantenimiento [32], se especifican las modificaciones que se deben realizar para mejorar la Red de Distribución del campus; se deberá cambiar el conductor que alimenta a la ESPOL, rediseñar la red para que los edificios tengan su propia alimentadora y así poder retribuir de manera correcta la carga en la universidad.

Se deberá tener una correcta medición en cada uno de los edificios, para así poder, en base análisis de datos históricos poder dimensionar correctamente los equipos en la red.

Se conoce que los equipos actuales están sobredimensionados lo cual no es eficiente visto desde lo económico. Se deberá esperar a que estos equipos cumplan su vida útil para poder cambiarlos por los indicados.

- **Medición de consumo**

Con el fin de regular y optimizar el consumo energético de manera sostenible, en la universidad se propone la instalación de Medidores Inteligentes (Smart Meters) en todos los edificios; los cuales permitirán tener un control de los recursos en tiempo real y optimizando la gestión de consumo.



**Figura 3.6 Smart Meter con tecnología AMI [42]**

El sistema de medición a implementarse en el campus tendrá las siguientes características:

- Se deberá proporcionar un sistema de medición inteligente de la carga, bajo tecnología AMI (Infraestructura de Medición Avanzada), a instalarse en los elementos de consumo como los edificios de las facultades.
- El sistema deberá contar con medios de comunicaciones para hacer llegar la información de la curva de carga diaria de cada punto de medida, y contar con circuitos de deslastre parcial de la carga ante una orden del centro de gestión de la energía.

Deberá proveer el software de gestión de la plataforma AMI, que será incorporado al “Centro de Gestión de la Energía” del campus. Para esto, se retirarán todos los medidores existentes, ya sea que estén en buen o mal estado, y en su lugar se instalarán los medidores inteligentes en cada uno de los edificios para poder así ver el consumo real y su eficiencia.

- **Eficiencia de climatización**

Se propone la instalación de brazos mecánicos a todas las puertas de la universidad para que permanezcan cerradas y no permitan que existan fugas de aire al exterior, además, hacer mantenimientos constantes a los acondicionadores de aire, y en caso de que ya no sirvan, cambiar estos por aquellos que cuenten con tecnología inverter de alta eficiencia.

- **Sensores**

Se propone la instalación de sensores de movimiento y de luz de día (Multi-Sensores). Con esta tecnología el sistema apagará de manera automática las luces de las áreas desocupadas en los edificios del campus y leerá la cantidad de luz que entre por las ventanas y ajustará el brillo de las luces en la habitación para compensar la iluminación, respectivamente.



**Figura 3.7 Multi-Sensor [43]**

- **LEDs**

Se propone el cambio de las lámparas fluorescentes a lámparas LED en los edificios de las facultades, para mejorar su eficiencia energética. Debidamente diseñadas e implementadas, las lámparas tipo LED tienen el potencial de durar casi el doble de tiempo que las lámparas fluorescentes.

Además, a diferencia de la mayoría de las lámparas fluorescentes compactas, las lámparas LED no contienen mercurio o fósforo, por lo que al final de su vida útil, su eliminación (reciclaje) es menos problemática.

Así mismo los nuevos edificios a construirse en la universidad, deberán contar con este tipo de tecnología.

Se ha estimado que la energía consumida en las edificaciones del campus por la iluminación representa el 20% del consumo de energía eléctrica mensual [33].

Actualmente, la iluminación en las instalaciones del campus en su mayoría es proporcionada por lámparas fluorescentes de 40 W. El consumo de energía durante el mes de octubre de 2016 fue 231.191 kWh y su costo \$ 20.890,31; según las estimaciones el consumo por parte de la iluminación fue aproximadamente 46.238,2 kWh y su costo \$ 4.166,06.

Con el cambio progresivo de lámparas fluorescentes a lámparas LEDs de 18 W se producirá un ahorro mensual energético de iluminación en el campus de 55%; es decir, las lámparas LED de



18 W consumirán el 45% de lo que consumen las lámparas fluorescentes de 40 W.

El consumo de iluminación en el campus con la implementación de las lámparas LED sería aproximadamente 20.807,19 kWh y su costo \$ 1.874,73. Por lo tanto, el cambio de la iluminación a tecnología LED en el campus representaría un ahorro mensual en consumo energético y costo; de 25.431,01 kWh y \$ 2.291,33 respectivamente.

Se debe tener en cuenta que estos costos de energía bajarán con implementación de paneles fotovoltaicos en los techos de las facultades, debido a que parte de la iluminación será suplida por esta fuente.

La implantación de esta tecnología en la iluminación del campus tendrá un gran impacto en el área ambiental. El ahorro energético de 25.431,01 kWh en el campus, equivaldría a dejar de emitir 8.926,28 kg CO<sub>2</sub> mensuales a la atmosfera. Por lo tanto, se dejarán de emitir 98,18 Toneladas de CO<sub>2</sub> anuales y se podría obtener una retribución de \$800 aproximadamente en bonos verdes (\$8 por tonelada CO<sub>2</sub>), considerando que las actividades en el campus se realizan durante 11 meses.

- **Sistema de administración de la energía**

En el 2015, investigadores del Politécnico de Milano desarrollaron un marco de gestión de la energía [44] en un entorno de campos inteligentes que permite la integración de fuentes de energía renovables que puede ser utilizado como referencia por la ESPOL para desarrollar su Sistema de Administración de Energía.

Bajo estas consideraciones se propone la implementación de un Sistema de Administración de Energía que tendría un gran impacto en una universidad como la ESPOL, donde su iluminación y climatización no son eficientes. Un plan de gestión de energía permitirá supervisar y gestionar en tiempo real varios aspectos,

como el consumo energético y la futura generación de fuentes renovables dentro del campus.

El Sistema de Administración de Energía incluye un repositorio de datos integrado que recoge toda la información pertinente obtenida por diferentes fuentes y disponible para ser accedida por estudiantes, profesores y directivos.

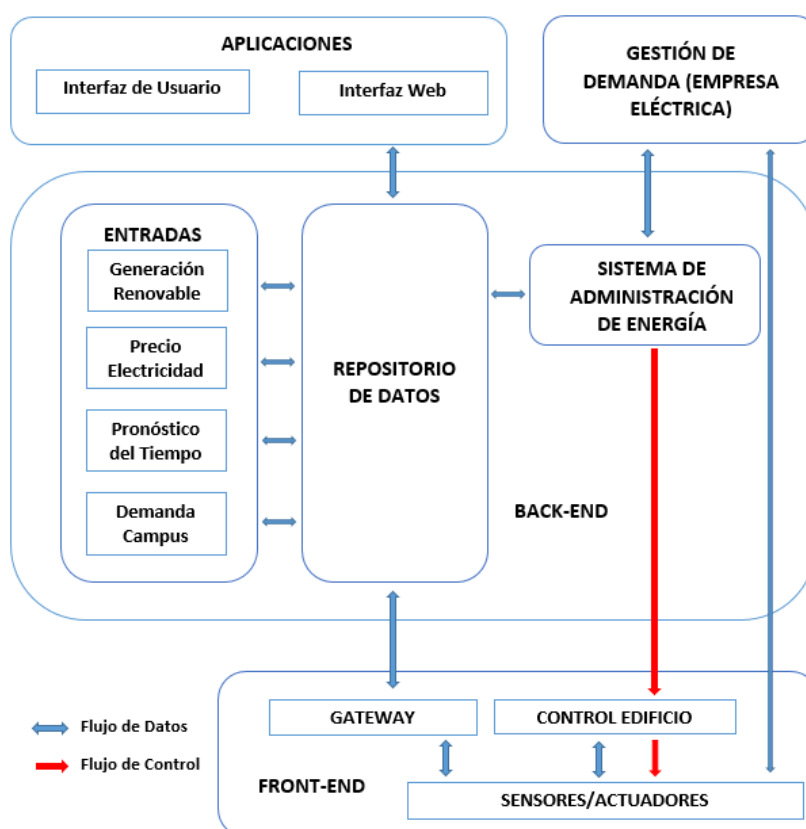
El marco del sistema de administración de energía incluye los siguientes dominios:

- Dominio de Gestión de la Demanda: consta de la infraestructura de gestión y despacho de energía de la Empresa Eléctrica.
- Domino Back-end: comprende el Sistema de Administración de Energía para el programa de uso de energía, un repositorio de datos para almacenamiento/recuperación de información y múltiples interfaces para la recopilación de datos de entrada. Estos datos incluyen previsiones meteorológicas proporcionadas por la estación meteorológica de LabFREE, tarifas de energía histórica/actual proporcionadas por la empresa eléctrica, predicciones sobre la futura generación de energía en el campus, y consumo energético en el campus La Prosperina de ESPOL.
- Dominio Front-end: incluye sensores de campo/actuadores y Gateway de comunicación que convierten las salidas de programación proporcionadas por el Sistema de Administración de Energía en comandos para controlar los dispositivos de campo en los edificios. En este dominio está incluido el Sistema de Control de Iluminación.
- Dominio de Aplicaciones: comprende todas las aplicaciones de software que soportan las interacciones entre usuarios y el Sistema de Administración de Energía como el monitoreo de datos.

Por lo tanto, con estas aplicaciones los usuarios podrán acceder y visualizar los datos de demanda/generación en forma general y

específica del campus a través de una interfaz web, aplicaciones móviles y pantallas ubicadas en lugares estratégicos en diferentes puntos de la universidad.

En la Figura 3.8 se muestra los dominios que conforman la infraestructura del Sistema de Administración de Energía en el campus de la ESPOL.



**Figura 3.8 Infraestructura del Sistema de Administración de Energía**

El Sistema de Administración de la Energía no es un solo proyecto, sino un esfuerzo estratégico y táctico que consiste en numerosos proyectos individuales. En conjunto, estos proyectos serán el corazón del plan de gestión de la energía de la ESPOL.

En un Sistema de Administración de Energía es fundamental la integración de las TICs, ya que son un elemento clave para la interconexión de elementos y datos, las cuales mejorarán la eficacia

y eficiencia de la red energética del campus, optimizando al máximo su funcionamiento.

El Sistema de Administración de Energía del campus contara con un Centro de Gestión de la Energía (EMS-SCADA) y un Sistema de control local.



**Figura 3.9 Centro del Sistema de Administración de Energía de un campus [45]**

### **Centro de gestión de la energía EMS-SCADA**

El Centro de Gestión de la Energía de la ESPOL dispondrá de las siguientes características:

- Estará basado en un sistema SCADA de última generación, desarrollado sobre un sistema operativo Linux o Windows, en configuración redundante (Hot - Stand by) tanto para el sistema en tiempo real como para el histórico (Repositorio de Datos).
- La conexión con los equipos de la red del campus será mediante comunicaciones Ethernet en anillo de fibra óptica, con los equipos de generación y consumo.
- Deberá contar con un puesto de operación y con un puesto de Ingeniería-Operación desde los cuales se pueda supervisar, controlar y mantener las variables del sistema en tiempo real, y las aplicaciones de gestión de la energía.
- El SCADA que se utilice en el Centro de Gestión de la Energía, será abierto, expandible, escalable, amigable y de fácil configuración, con capacidad suficiente para albergar la futura

expansión de la red en el campus, así como nuevas funcionalidades para la expansión de la misma.

- Deberá contar con la funcionalidad visualización remota de todas las variables del sistema y con mecanismos de ciberseguridad que garantice el funcionamiento seguro del sistema contra ciberataques.
- Deberá contar con un sistema de información histórica, basado en base de datos integradora, con acceso SQL para la generación de reportes del sistema.
- Deberá contar con aplicaciones que faciliten la incorporación de nuevas aplicaciones generadas por la ESPOL para la explotación de nuevas tecnologías a ser incorporadas en la red; a futuro como puede ser los sistemas de medición de energía mediante incorporación de medición inteligente, sistema de gestión de alumbrado del campus, eficiencia energética en los edificios del campus.
- El sistema de gestión de energía deberá intercambiar información de los sistemas de control de cada elemento de la red del campus, a través de protocolos de comunicación estándares, OPC o DPN 3.0, como se muestra en la Figura 3.10. Además, proporcionará información de los datos en tiempo real de consumo y generación del campus al Distribuidor CNEL EP y a los usuarios a través de la web.

## ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE CONTROL EN EL CAMPUS GUSTAVO GALINDO DE LA ESPOL

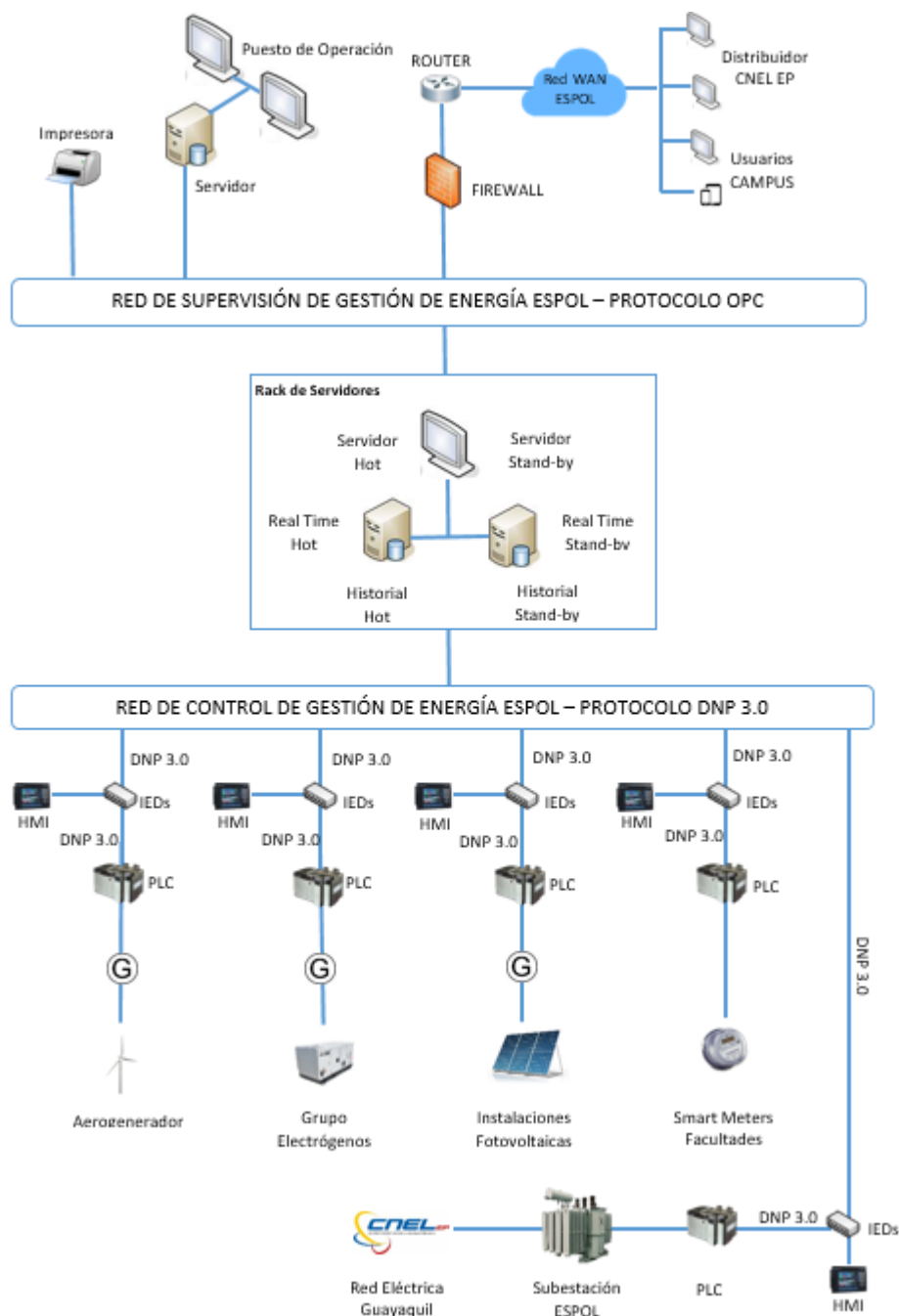


Figura 3.10 Arquitectura del Sistema de Control de la ESPOL

Al menos los siguientes componentes serán actuados por el SCADA:

- Diésel: Control de grupos electrógenos y su monitorización. Se obtendrá información sobre la potencia, consumo y opcionalmente la temperatura de cada grupo electrógeno.
- Red: Los datos relacionados con los parámetros de generación de electricidad, tales como, tensión, corrientes y potencias.
- Generación de Fotovoltaicos: energía fotovoltaica, radiación solar y temperatura.
- Generación Eólica: energía, velocidad y dirección del viento.
- Medición inteligente: Los datos del consumo energético en los distintos edificios de las facultades.
- Subestación ESPOL: Maniobras de los equipos de patio (seccionadores, interruptor), nivel de aceite y temperatura del transformador.

El sistema SCADA a instalarse en el campus deberá cumplir con las normas internacionales ISO, IEC, IEEE en los campos aplicables. El SCADA del campus poseerá el siguiente Sistema de control local.

#### **Sistema de control local**

El Sistema de Control Local en el campus La Prosperina de la ESPOL tendrá las siguientes características:

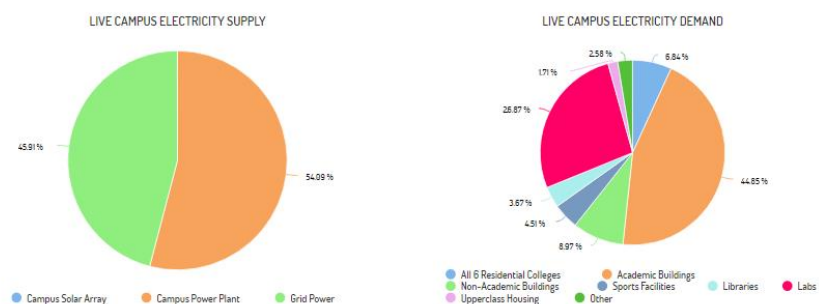
- Será de tipo PLC individualizado para cada uno de los sistemas de generación y cargas. En cada caso deberá incorporar un HMI local (Interfaz Hombre-Máquina) que permita la supervisión, control local y mantenimiento de forma aislada del Centro de Gestión de la Energía.
- Deberá disponer de algoritmos de control y supervisión adaptados a cada uno de los subsistemas (generación y demanda).

- Contará con equipos programables de última generación, con lenguajes de programación estándares y con protocolos abiertos (DNP 3.0) para la comunicación con el Centro de Gestión de la Energía.
  - Incorporarán un interruptor control on/off para cada equipo, con capacidad de enviar señales de estados al sistema SCADA del campus.
- **Generación/Demanda por facultades - Información**

La información en tiempo real de la generación y demanda energética del campus estará disponible para los estudiantes, profesores, directivos y público en general a través de la web.



Princeton uses energy in the forms of electricity, chilled water, and steam.



**Figura 3.11 Información de la Generación /Demanda de la Universidad de Princeton disponible en la web [46]**

El Sistema de Administración de Energía a través del SCADA del campus incluirá un repositorio de datos integrado que recogerá toda la información proveniente de la generación de las fuentes renovables y del sistema de medición inteligente de la universidad.



- **Nuevo laboratorio de energías**

Actualmente la ESPOL cuenta con diversos laboratorios académicos y de investigación emplazados en las diferentes facultades alrededor del campus.

Los laboratorios académicos son utilizados por los estudiantes para realizar las prácticas convencionales en las que se toman datos y se realizan informes.

Los laboratorios de investigación son utilizados por profesores e investigadores, expertos en diferentes áreas temáticas que participan continuamente en procesos de indagación y reflexión sobre las líneas de acción actuales y la planificación a futuro de nuevos proyectos.

Cada facultad tiene jurisdicción sobre los laboratorios que se encuentren en sus instalaciones; es decir, los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación, solo pueden ser utilizados por estudiantes de la facultad mencionada. Esto denota un problema, debido a que no existe el trabajo en equipo con estudiantes de otras facultades de ingeniería. Como resultado, algunos estudiantes que han egresado de la universidad tienen problemas al momento de trabajar en equipo; así como de relación y comunicación con otros profesionales de diferentes carreras en el mundo laboral.

Debido a la problemática expuesta, se propone la implementación de un “Laboratorio de Energías” que integre las energías renovables (eólica y solar) y no renovables (térmica). Las prácticas a desarrollarse en este laboratorio serán de carácter integral entre los estudiantes de ingeniería, con el fin de fomentar la formación y el trabajo de equipos multidisciplinarios, investigaciones, etc. Por ejemplo, cuando se realicen estudios sobre paneles fotovoltaicos, los estudiantes de ingeniería eléctrica analizarán la generación de la energía fotovoltaica, los estudiantes de ingeniería mecánica estudiarán las partes mecánicas (estructura, seguidor), los

estudiantes de ingeniería en control y automatización estudiarán los inversores fotovoltaicos, los estudiantes de ingeniería química la composición química de los diferentes tipos de baterías que conforman el sistema de almacenamiento de las instalaciones fotovoltaicas, y así con las diferentes áreas de acción dependiendo de la carrera. De igual manera para las otras prácticas que involucren los otros tipos de energías.



**Figura 3.12 Paneles seguidores en un campus [47]**

El “Laboratorio de Energías” no ocupará espacio en algún salón de la universidad, sino las instalaciones estarán al aire libre. Es decir, el laboratorio estará constituido por las instalaciones de paneles fotovoltaicos tipo estáticos que se ubicarán en los techos de las facultades y tipo seguidor en alguna área estratégica del campus como se muestran en las Figuras 3.1 y 3.12 respectivamente; los aerogeneradores ubicados en los techos del rectorado y en la facultad de mecánica; y los grupos electrógenos de las facultades. Además, el Sistema de Administración de Energía será el foco donde los estudiantes podrán obtener datos, realizar controles o acciones gracias a su interface y los datos que ya se obtienen desde los elementos de medición de cada área.



**Figura 3.13 Grupos multidisciplinares de estudiantes trabajando en un “Laboratorio de Energías” [48]**

Este paradigma de laboratorio universitario deberá tener jurisdicción propia con la creación de un Departamento de Energías, que además se encargará de concebir los grupos multidisciplinares entre los estudiantes.

Por lo tanto, con implementación de este laboratorio se reemplazarán algunas de las prácticas tradicionales de tomar datos y realizar informes con los estudiantes de la misma carrera por nuevas prácticas en las que se realice un análisis total de los tipos de energía en el campus por parte de equipos multidisciplinares.

#### **3.1.4 Ambiente**

- **Reciclaje**

Promover campañas de reciclaje a los estudiantes, profesores y demás trabajadores del campus para aumentar su conciencia ecológica. Con la posterior colaboración de los usuarios del campus en el tema de reciclaje, la ESPOL podrá retomar el proyecto de producción de papel y abono orgánico a partir de los desperdicios que se generen en la institución.

Se espera que los comedores de la universidad separen los desperdicios orgánicos de los otros y que estos sean procesados para la creación de abono orgánico y sean comercializados. Esto ya se llevó a cabo anteriormente en la universidad, pero el proyecto fue abandonado.

- **Consumo de papel anual**

Con el propósito de evitar el consumo excesivo de papel, tala de árboles, uso de agua y energía se propone:

- Ubicar un tacho de basura en cada departamento de la universidad en el cual se recolecte todo el papel que se desecha para que este pueda luego ser procesado.
- Implementación de una planta de producción de cuadernos y hojas a partir de papel reciclado. Estos productos podrán ser destinados a las diferentes oficinas y dependencias del campus, comercializados en las librerías dentro y fuera del campus para recaudar fondos.
- Promover el uso de cuadernos y hojas de papel reciclado en las actividades académicas mediante el incentivo docente.

- **Reutilización de aguas lluvias**

Se propone la instalación de captanieveblas para la recolección de las aguas fluviales y poder utilizar estas aguas para el riego de plantas en épocas de verano.

- **Aguas residuales**

Incrementar el área de riego de las aguas residuales, en primera instancia extenderlo a las zonas verdes de la vía principal de la universidad para luego llegar a las diferentes facultades, pudiendo aprovechar al máximo estas aguas ricas en minerales.

### 3.1.5 Movilidad

- **Auto compartido**

Esta campaña tiene como finalidad principal convencer a la Comunidad Universitaria de la utilización del auto compartido. Se pretende que los autos vayan ocupados al máximo, evitando vehículos con una persona que incrementan sustancialmente un gasto innecesario de combustible y la congestión del tráfico.

La finalidad es convencer e invitar a compartir el vehículo con otros compañeros de estudio o trabajo cuyo domicilio es cercano; y el

posible slogan para desarrollar esta campaña sería: "hoy usamos mi auto, mañana el tuyo".

Se ahorrará gastos en gasolina y se puede sociabilizar con otros compañeros a la vez que se contribuye a la movilidad más sostenible, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero(GEI).

Más del 75% de los desplazamientos urbanos se realizan en vehículos privados con un solo ocupante. Por cada persona que comparta su coche se ahorran más de 1.000 litros de combustible al año por término medio y la emisión anual de unas 2,5 toneladas de CO2 equivalente a \$ 20 en bonos verdes del mercado carbono.

- **Extensión de ruta (Ciclovía)**

Se propone extender la ruta de la ciclovía a todas las facultades de la universidad, en especial a EDCOM, la cual se encuentra más alejada del punto final de la ciclovía. De igual manera con la expansión de la ruta el número de usuarios incrementaría por lo que habría que incrementar el número de bicicletas.

Otra propuesta es techar la ruta, ya que existe malestar por parte del usuario al recibir el sol directamente y en caso de lluvia el techo lo protegería.

- **No. de buses escolares**

Hacer la adquisición o alquiler de dos buses que sirvan de respaldo para las rutas principales especialmente en la hora pico de ingreso 7h30. De igual manera contar con los conductores para que puedan conducir las unidades.

- **Conformidad (Buses)**

Viene de la mano con el número de unidades de transporte que se encuentren brindando el servicio así también de la frecuencia en que estas circulen.

Se propone establecer un reglamento interno que sancione de manera directa a las personas que se meten en la fila, para evitar de esta forma este tipo de conflictos.

## **3.2 CRONOLOGÍA**

Se analizan tres escenarios dependiendo del presupuesto con el que cuenta la ESPOL. En la tabla de presupuestos se ha dividido por colores cada etapa: el color amarillo indica el tiempo de planificación del proyecto, el azul la implementación y el verde la operación.

Todos los proyectos son planificados el primer año (2017) en los presupuestos presentados. Se prioriza la parte energética en todos ya que con esto se reducirán los costos de energía eléctrica, área en que la universidad presenta gastos excesivos.

- El presupuesto alto considera una mayor inversión para la implementación de la gran cantidad de proyectos estimados en el primer año. (Ver Tabla 3.1)
- El presupuesto medio trata de priorizar en los primeros años los proyectos necesarios y los que sean de baja inversión inicial. (Ver Tabla 3.2)
- El presupuesto bajo se destinará a la implementación de la parte energética, los proyectos de baja inversión y extiende el periodo de implementación de los proyectos. (Ver Tabla 3.3)

CRONOLOGÍA DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO SMART CAMPUS A LA ESPOL - PRESUPUESTO ALTO																																													
CAMPO	INICIATIVAS	TIEMPO																																											
		2017				2018				2019				2020				2021				2022				2023				2024				2025				2026				2027			
		TRIMESTRE				TRIMESTRE				TRIMESTRE				TRIMESTRE				TRIMESTRE				TRIMESTRE				TRIMESTRE				TRIMESTRE				TRIMESTRE				TRIMESTRE							
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
PERSONAS Y VIDA	Construcción Residencias estudiantiles																																												
	Incremento de purificadores de agua																																												
	Reemplazo de cámaras de video vigilancia																																												
	Expansión de cobertura Wi-Fi																																												
ECONOMÍA	Plan de mantenimiento de proyectos implementados																																												
	Incubadoras de proyectos																																												
	Networking																																												
	Show-rooms																																												
ENERGÍA	Implementación de paneles PV en los techos de las facultades																																												
	Mejoramiento de la Red de Distribución del campus																																												
	Instalación de medidores inteligentes en los edificios de las facultades																																												
	Brazos mecánicos en las puertas																																												
	Instalación de multisensores (luz y movimiento) en los edificios de las facultades																																												
	Instalación de luminarias LED en los edificios de las facultades																																												
	Sistema de Administración de la Energía (SCADA)																																												
	Laboratorio de Energías																																												
AMBIENTE	Campañas de reciclaje																																												
	Implementación de una planta de producción papel																																												
	Instalación de captanieblas																																												
	Incremento área de riego de aguas residuales																																												
MOVILIDAD	Campaña auto compartida (Carpool)																																												
	Extensión ruta (ciclovía)																																												
	Compra o alquiler de buses estudiantiles																																												

Tabla 3.23.1 Cronología de la implementación del modelo Smart Campus a la ESPOL – Presupuesto Medio

### CRONOLOGÍA DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO SMART CAMPUS A LA ESPOL - PRESUPUESTO MEDIO

CAMPO	INICIATIVAS	TIEMPO																																											
		2017				2018				2019				2020				2021				2022				2023				2024				2025				2026				2027			
		TRIMESTRE				TRIMESTRE				TRIMESTRE				TRIMESTRE				TRIMESTRE				TRIMESTRE				TRIMESTRE				TRIMESTRE				TRIMESTRE				TRIMESTRE							
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
PERSONAS Y VIDA	Construcción Residencias estudiantiles	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																								
	Incremento de purificadores de agua					■	■	■	■	■	■	■	■																																
	Reemplazo de cámaras de video vigilancia									■	■	■	■	■	■	■	■																												
	Expansión de cobertura Wi-Fi									■	■	■	■																																
ECONOMÍA	Plan de mantenimiento de proyectos implementados																																												
	Incubadoras de proyectos																																												
	Networking					■	■	■	■																																				
	Show-rooms																																												
ENERGÍA	Implementación de paneles PV en los techos de las facultades									■	■	■	■																																
	Mejoramiento de la Red de Distribución del campus									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■												
	Instalación de medidores inteligentes en los edificios de las facultades					■	■	■	■	■	■	■	■																																
	Brazos mecánicos en las puertas					■	■	■	■																																				
	Instalación de multisensores (luz y movimiento) en los edificios de las facultades					■	■	■	■																																				
	Instalación de luminarias LED en los edificios de las facultades					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																												
	Sistema de Administración de la Energía (SCADA)																	■	■	■	■	■	■	■	■																				
	Laboratorio de Energías																	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																
AMBIENTE	Campañas de reciclaje					■	■	■	■																																				
	Implementación de una planta de producción papel									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																								
	Instalación de captanieblas									■	■	■	■	■	■	■	■																												
	Incremento área de riego de aguas residuales									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																								
MOVILIDAD	Campaña auto compartido (Carpool)					■	■	■	■																																				
	Extensión ruta (ciclovía)									■	■	■	■	■	■	■	■																												
	Compra o alquiler de buses estudiantiles									■	■	■	■	■	■	■	■																												

Tabla 3.2 Cronología de la implementación del modelo Smart Campus a la ESPOL – Presupuesto Medio



CRONOLOGÍA DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO SMART CAMPUS A LA ESPOL - PRESUPUESTO BAJO																																													
CAMPO	INICIATIVAS	TIEMPO																																											
		2017				2018				2019				2020				2021				2022				2023				2024				2025				2026				2027			
		TRIMESTRE				TRIMESTRE				TRIMESTRE				TRIMESTRE				TRIMESTRE				TRIMESTRE				TRIMESTRE				TRIMESTRE				TRIMESTRE				TRIMESTRE							
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
PERSONAS Y VIDA	Construcción Residencias estudiantiles																																												
	Incremento de purificadores de agua																																												
	Reemplazo de cámaras de video vigilancia																																												
	Expansión de cobertura Wi-Fi																																												
ECONOMÍA	Plan de mantenimiento de proyectos implementados																																												
	Incubadoras de proyectos																																												
	Networking																																												
	Show-rooms																																												
ENERGÍA	Implementación de paneles PV en los techos de las facultades																																												
	Mejoramiento de la Red de Distribución del campus																																												
	Instalación de medidores inteligentes en los edificios de las facultades																																												
	Brazos mecánicos en las puertas																																												
	Instalación de multisensores (luz y movimiento) en los edificios de las facultades																																												
	Instalación de luminarias LED en los edificios de las facultades																																												
	Sistema de Administración de la Energía (SCADA)																																												
	Laboratorio de Energías																																												
AMBIENTE	Campañas de reciclaje																																												
	Implementación de una planta de producción papel																																												
	Instalación de captanieveblas																																												
	Incremento área de riego de aguas residuales																																												
MOVILIDAD	Campaña auto compartido (Carpool)																																												
	Extensión ruta (ciclovía)																																												
	Compra o alquiler de buses estudiantiles																																												

Tabla 3.3 Cronología de la implementación del modelo Smart Campus a la ESPOL – Presupuesto Bajo

### 3.3 CONCLUSIONES

En la ESPOL se debe aplicar este proyecto por siguientes motivos:

El campo de “Energía” fue el área más ineficiente en el campus, ya que los edificios de las facultades no cuentan con eficiencia energética, por lo que deberá ser la primera y la de mayor peso a intervenir como se consideró en el cronograma de ejecución del proyecto.

La implementación de focos LED, sensores y paneles fotovoltaicos en los edificios de las facultades, ayudarán a generar un ahorro energético con respecto al consumo actual del campus y dejar de emitir toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmosfera, por lo que estas iniciativas pueden ser ejecutadas por la inversión privada y generar bonos verdes en el mercado carbono.

Debido a que las implementaciones de paneles fotovoltaicos solo ocuparán una porción en los techos, existirá espacio para futuras expansiones en los edificios de las facultades del campus.

Las iniciativas de baja inversión inicial pueden ser implementadas de manera inmediata luego de su planificación como se indica en el cronograma de ejecución de proyectos.

### **3.4 RECOMENDACIONES**

Es necesario continuar de manera exhaustivo el análisis de cada campo del Smart Campus, para la respectiva implementación de las iniciativas.

Es necesario realizar un nuevo levantamiento del sistema eléctrico para localizar exactamente las cargas de los edificios que no aparecen en las planillas de facturación eléctrica del campus.

Que este proyecto sea considerado como un plan institucional por parte de las autoridades.

Los medidores inteligentes pueden ser construidos en la ESPOL, en conjunto con el departamento de microelectrónica, electrónica y circuitos integrados.

Se debe realizar la contratación de personal de mantenimiento para que la universidad se pueda mantener limpia, principalmente en época de lluvias.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. Daganzo y L. Valero, Libro Blanco Smart Cities, Primera ed., España: Uribiprint S.L., 2012.
- [2] R. Estévez, «ECO inteligencia,» XTRAD, 15 Julio 2013. [En línea]. Available: <http://www.ecointeligencia.com/2013/07/que-servicios-ofrece-una-smart-city-a-sus-ciudadanos-1/>. [Último acceso: 7 Diciembre 2016].
- [3] C. Manville, G. Cochrane y J. Cave, «Mapping Smart Cities in the EU,» European Parliament ; Directorate General for Internal Policies. Policy Department Economic and Scientific policy A, Bruselas, 2014.
- [4] F. Pagliaro, «A roadmap toward the development of Sapienza Smart Campus,» de *2016 IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)*, Florence, 2016.
- [5] F. M. Pérez, SMART UNIVERSITY HACIA UNA UNIVERSIDAD MÁS ABIERTA, Alicante : Marcombo, 2016.
- [6] Univesity of Glasgow, Gilmorehill Campus Development Framework, Glasgow: Page\Park, 2014.
- [7] «Universidad de Málaga,» ANDALUCIA TECH, 2016. [En línea]. Available: <http://www.uma.es/gobierno/info/4312/vicerrectorado-de-smart-campus/>. [Último acceso: 8 Diciembre 2016].
- [8] M. Benedito, D. Gargallo, J. Avariento y A. Sanchis, «UJI SMART CAMPUS,» de *IV Jornadas Ibéricas de Infraestructura de Datos Espaciales*, Castelló, 2014.

- [9] Universidad de Princeton, «Reportes Universidad de Princeton,» 19 Febrero 2008. [En línea]. Available: <https://www.princeton.edu/reports/sustainability-20080219/>. [Último acceso: 2 Febrero 2017].
- [10] «ESPOL,» [En línea]. Available: <http://www.espol.edu.ec/espol/main.jsp?urlpage=campus.jsp&campus=1>. [Último acceso: 23 Enero 2017].
- [11] B. Mattoni, F. Pagliaro, G. Corona, V. Ponzio y F. Gugliermetti, «A matrix approach to identify and choose efficient strategies to develop the Smart Campus,» IEEE, Roma, 2016.
- [12] «Noticias ESPOL,» [En línea]. Available: <http://noticias.espol.edu.ec/article/resultados-semesterales-del-plan-operativo-anual-2016>. [Último acceso: 23 Enero 2017].
- [13] «ESPOL,» [En línea]. Available: <http://www.espol.edu.ec/espol/main.jsp?urlpage=registrados.jsp>. [Último acceso: 23 Enero 2017].
- [14] «Ecuador Universitario,» [En línea]. Available: [http://ecuadoruniversitario.com/noticias\\_destacadas/la-espol-es-la-mejor-universidad-de-pregrado-y-posgrado-de-ecuador/](http://ecuadoruniversitario.com/noticias_destacadas/la-espol-es-la-mejor-universidad-de-pregrado-y-posgrado-de-ecuador/). [Último acceso: 23 Enero 2017].
- [15] «ESPOL,» [En línea]. Available: <http://www.espol.edu.ec/espol/main.jsp?urlpage=calificestudiantes.jsp>. [Último acceso: 23 Enero 2017].
- [16] «ESPOL,» [En línea]. Available: <http://www.espol.edu.ec/es/vida-estudiantil/clubes-estudiantiles>. [Último acceso: 23 Enero 2017].

- [17] «ESPOL,» [En línea]. Available: <http://www.espol.edu.ec/es/investigacion/investigacion>. [Último acceso: 23 Enero 2017].
- [18] «Educación Continua ESPOL,» [En línea]. Available: <http://www.cec.espol.edu.ec/Inscripcion/default.aspx>. [Último acceso: 23 Enero 2017].
- [19] «ESPOL,» [En línea]. Available: <http://www.espol.edu.ec/espol/main.jsp?urlpage=tour.jsp>. [Último acceso: 23 Enero 2017].
- [20] «Centro de Información Bibliotecario ESPOL,» [En línea]. Available: <http://www.cib.espol.edu.ec/>. [Último acceso: 23 Enero 2017].
- [21] «Administración ESPOL,» [En línea]. Available: <http://www.administracion.espol.edu.ec/locales/locales.aspx?tipo=Bares-Comedores>. [Último acceso: 23 Enero 2017].
- [22] «ESPOL,» [En línea]. Available: <http://www.espol.edu.ec/>. [Último acceso: 23 Enero 2017].
- [23] «ESPOL,» [En línea]. Available: <http://www.espol.edu.ec/espol/main.jsp?urlpage=planestrategico.jsp>. [Último acceso: 23 Enero 2017].
- [24] «ESPOL,» [En línea]. Available: <http://www.espol.edu.ec/espol/main.jsp?urlpage=parcon.jsp>. [Último acceso: 23 Enero 2017].

- [25] «ESPOL,» [En línea]. Available: <http://www.espol.edu.ec/es/espol-eol%C3%B3gico> . [Último acceso: 23 Enero 2017].
- [26] «ESPOL,» [En línea]. Available: <http://www.espol.edu.ec/espol/main.jsp?urlpage=investigacion.jsp>. [Último acceso: 23 Enero 2017].
- [27] «Centro de Emprendedores de la ESPOL,» [En línea]. Available: <http://ceemp.org/universidad/pre-incubadoras-2/>. [Último acceso: 23 Enero 2017].
- [28] «Gerencia de Relaciones Internacionales ESPOL,» [En línea]. Available: <http://www.internationalrelations.espol.edu.ec/es/estudios-en-am%C3%A9rica-del-norte> . [Último acceso: 23 Enero 2017].
- [29] C. Politécnico, «Reglamento de Becas y Ayudas Económicas para Estudiantes de la ESPOL,» Guayaquil, 2014.
- [30] Á. Blacio, «Grupos Electrógenos en ESPOL,» Guayaquil, 2012.
- [31] J. Urquizo Guevara, «Dissertation Chapter 3,» Guayaquil, 2012.
- [32] J. G. Molina, «Red de Distribución Eléctrica en Meia Tensión,» Guayaquil, 2012.
- [33] Á. Blacio, «Consumos de Energía Eléctrica ESPOL,» Guayaquil, Ecuador, 2016.
- [34] «Noticias ESPOL,» [En línea]. Available: <http://noticias.espol.edu.ec/article/biciespol-medio-de-transporte-alternativo-en-la-espol> . [Último acceso: 23 Enero 2017].

- [35] «ESPOL,» [En línea]. Available: <http://www.espol.edu.ec/espol/main.jsp?urlpage=rutastransporte.jsp>. [Último acceso: 23 Enero 2017].
- [36] «Blog ESPOL,» [En línea]. Available: <http://blog.espol.edu.ec/gmerazo/centros-de-acopio/>. [Último acceso: 23 Enero 2017].
- [37] «Todo lo que pasa,» [En línea]. Available: <http://www.todoloquepasa.com/articulo/?articulo=espol-produce-papel-y-abono-con-su-basura>. [Último acceso: 23 Enero 2017].
- [38] «Breik Guayaquil,» [En línea]. Available: <http://breikgye.com/el-reciclaje-en-espol-depende-de-sus-conserjes-2/>. [Último acceso: 23 Enero 2017].
- [39] «apiem,» [En línea]. Available: <http://apiem.org/noticias/item/1455-la-iluminaci%C3%B3n-led-y-sus-efectos-en-la-salud>. [Último acceso: 9 Febrero 2017].
- [40] J. Zambrano, V. Benavides y F. Silva, «Proyecto de Creación de una residencia universitaria para los estudiantes de la ESPOL,» ESPOL, Guayaquil, 2009.
- [41] Universidad de Murcia, «Campus Sostenible,» Campus Mare Nostrum, [En línea]. Available: <http://www.um.es/web/campussostenible/ambiental/energia/energias-renovables/energia-solar-fotovoltaica>. [Último acceso: 2017 Enero 30].
- [42] B. Cruz, «Citizens Utility Board,» 16 Septiembre 2013. [En línea]. Available: [http://www.citizensutilityboard.org/Espanol/subolsillo\\_20130916\\_MedidoresinteligentesdeComEd.html](http://www.citizensutilityboard.org/Espanol/subolsillo_20130916_MedidoresinteligentesdeComEd.html). [Último acceso: 30 Enero 2017].



- [43] «EATON Powering Business Worldwide,» [En línea]. Available: [http://www.cooperindustries.com/content/public/en/lighting/controls/products/add\\_light\\_ctrls/in\\_dev/multi\\_sen.html](http://www.cooperindustries.com/content/public/en/lighting/controls/products/add_light_ctrls/in_dev/multi_sen.html). [Último acceso: 31 Enero 2017].
- [44] A. Barbato, «An Energy Management Framework for Optimal Demand Response In A Smart Campus,» de *REEN 2015, 4th International Conference on Green IT Solutions*, Milan, 2015.
- [45] Princeton University, «Facilities Princeton University,» 7 Diciembre 2014. [En línea]. Available: <https://facilities.princeton.edu/news/campus-energy-management>. [Último acceso: 31 Enero 2017].
- [46] «TIGER ENERGY Tracking Princeton's Energy Impact,» Wattvision.com, [En línea]. Available: <https://tiger-energy.appspot.com/home>. [Último acceso: 31 Enero 2017].
- [47] Universidad de Queensland Australia, «UQ Solar,» [En línea]. Available: <http://solar-energy.uq.edu.au/cpv>. [Último acceso: 2 Febrero 2017].
- [48] IRESUD, «IRESUD Energía Solar,» Diciembre 2016. [En línea]. Available: <https://iresud.com.ar/novedades/>. [Último acceso: 31 Enero 2017].

## ANEXO 1

#	ÁREA	N° DE MEDIDOR	LECTURA		DIFERENCIA	FACTOR DE MULTIPLICACIÓN	CONSUMO (KWh)
			ANTERIOR	ACTUAL			
			03/10/2016	01/11/2016			
1	BANCO DEL PACÍFICO	23375031	19400	20464	1064	1	1064
2	FICT - LABORATORIOS	03562014	514260	521926	7666	1	7666
3	FICT – OFICINAS	03562013	680941	704184	23243	1	23243
4	FIMCP - LABORATORIO TERMOFLUIDOS	03417251	90157	90229	72	1	72
5	FIMCP - OFICINAS (NOTA 1)	03417248			0	1	13724
6	FIMCP - LABORATORIO METALÚRGICA	03417250	337187	353505	16318	1	16318
7	FIEC – OFICINAS	03417249	127384	143819	16435	1	16435
8	FIEC - LABORATORIO SISTEMAS DE POTENCIA	03417178	35519	48913	13394	1	13394
9	FIEC - LABORATORIO REDES ELÉCTRICAS (NOTA 2)	03417213			0	1	32447
10	ARQUEOLOGÍA	03562012	144286	145698	1412	1	1412
11	FIMCM - OFICINAS	03562015	789524	799581	10057	1	10057
12	FIMCM - LABORATORIO	03562009	805050	825187	20137	1	20137
13	SEBIOCA (NOTA 3)	03562008			0	1	4080
14	COPOL COLEGIO (NOTA 4)	84630014	23216	23272	56	80	10800
15	COPOL ESCUELA	53942560	400009	401143	1134	1	1134
16	PETROCOMERCIAL	01447110	9756	9833	77	80	6160
17	ESCUELA DE CONDUCCION	98911236	25147	26847	1700	1	1700
18	COMEDOR NEVISAR (NOTA 5)						2421
19	CUERPO DE BOMBEROS	52187297	4367	4426	59	40	2360
20	CUERPO DE BOMBEROS (CASA DEL GUARDIA)	10331100	8576	8586	10	1	10
21	CUERPO DE BOMBEROS (ALUMBRADO PUBLICO)	104664067	58444	61220	2776	1	2776
22	BAR ICHE ENCANTO GOURMET S.A.	46323865	170881	172238	1357	1	1357
23	CENTRAL ICHE	46323866	192449	194496	2047	1	2047
24	BAR FIMCP YADIRA ZAMORA	14091962	20318	20926	608	1	608
25	BAR FIMCP MARIA PEÑAHERRERA	84335279	42302	42770	468	1	468
26	BAR FIMCP LILIAN LLAGUNO	84335283	41801	42494	693	1	693
27	BAR TECNOLOGÍA YOLANDA VIOLETA MITE LEÓN	913292	6878	7017	139	1	139
28	ESPOLTEL	55462662	81521	82738	1217	1	1217
29	PATIO DE COMIDAS PREPOLITECNICO	53942556	32833	33043	210	1	210
30	COMEDOR INGENIERÍA (Y. FIGUEROA) (NOTA 6)						0
31	COMEDOR PISCINA (CINDY VIVIANA LOZANO P.) (NOTA 7)						775
32	MARÍA LUISA NORIEGA	80579655	9098	9747	649	1	649
33	MARCO ANTONIO VÉLEZ	15986177	7711	8072	361	1	361
34	ANTENA DE CLARO (NOTA 8)	04997618			0	1	2710
35	ANTENA DE MOVISTAR (OTECEL S.A.)	69588773	78935	81133	2198	1	2198
36	ANTENA DE CNT	1069597	43883	45055	1172	1	1172
37	ELSA CADENA HIDALGO (COMEDOR CELEX) (NOTA 9)						723
38	CONDUESPOL (EDIFICIO 41) (NOTA 10)						18400
39	INTRAMET	10202480	392	444	52	160	8320
40	BLOQUE E (CAMPUS PEÑAS)	10202478	552	561	9	80	720
41	CONSTRUCCIÓN EDIFICIO STEM (FIMCP)	23375034	15343	15757	414	1	414
42	SOLDADORAS CONSTRUCCIÓN EDIFICIO STEM (FIMCP) (NOTA 11)	06014998	11	16	5	120	600

**Tabla 0.1 Consumo de medidores de energía eléctrica ESPOL – Octubre 2016**

### **Notas Medidores**

**NOTA 1:** Medidor dañado, consumo promedio.

**NOTA 2:** Medidor desconectado, consumo promedio.

**NOTA 3:** Medidor dañado, consumo promedio.

**NOTA 4:** Medidor registra consumo tanto de COPOL como de CONDUESPOL.

**NOTA 5:** Sin medidor, consumo promedio.

**NOTA 6:** Local desocupado, sin consumo.

**NOTA 7:** Sin medidor, consumo promedio.

**NOTA 8:** Medidor dañado, consumo promedio.

**NOTA 9:** Sin medidor, consumo promedio.

**NOTA 10:** Sin medidor, consumo promedio.

**NOTA 11:** Medidor instalado el 14/10/2016.

## ANEXO 2

### Información Técnica

Para los cálculos correspondientes, se han tomado como referencia el consumo energía del mes de octubre de 2016.

**Total, consumo energía:** 231.191 kWh.

**Precio Electricidad:** 0,0901 USD/kWh

**Costo consumo energía:** \$ 20.830,31

Se ha estimado que la energía consumida en las edificaciones del campus por la iluminación representa el 20% del consumo total de energía eléctrica.

**Consumo energía por iluminación fluorescente:** 46.238,20 kWh

**Costo consumo energía por iluminación fluorescente:** \$ 4.166,06

El reemplazo de la iluminación fluorescente por la iluminación LED representara un 55% de ahorro energético en los edificios de las facultades. Es decir, las lámparas LED consumirán un 45% de energía con respecto a las lámparas fluorescentes.

**Consumo de energía por iluminación LED:** 20.807,19 kWh

**Costo consumo de energía por iluminación LED:** \$ 1.874,73

**Ahorro consumo de energía:** 25.431,01 kWh

**Costo ahorro consumo de energía:** \$ 2.291,33

## ANEXO 3

### Impacto Ambiental

La implantación de la tecnología LED en la iluminación del campus tiene un gran impacto en el campo ambiental. De estudios realizados por investigadores de la ESPOL en el año 2014, se determinó que por cada kWh no consumido equivale a dejar de emitir 0,351 kg de CO<sub>2</sub> a la atmosfera.

El ahorro energético de 25.431,01 kWh en el campus, equivaldría a dejar de emitir 8.926,28 kg CO<sub>2</sub> mensuales a la atmosfera. Por lo tanto, se dejarán de emitir 98,18 Toneladas de CO<sub>2</sub> anuales, considerando que las actividades en el campus se realizan durante 11 meses.

Los resultados de los cálculos energéticos, económicos y ambientales del remplazo de la iluminación fluorescente por la iluminación LED se encuentran tabulados en la Tabla 0.2.

ENERGÍA ESPOL - OCTUBRE 2016			
Consumo (kWh)	231191		
Precio (\$/kWh)	0,0901		
Costo (USD)	20830,31		
ILUMINACIÓN			
	FLUORESCENTE	LEDs	Ahorro
Consumo (kWh)	46238,2	20807,19	25431,01
Costo (USD)	4166,06	1874,73	2291,33
AMBIENTE - CO <sub>2</sub> ATMOSFERA			
kg CO <sub>2</sub> /kWh	0,351		
	FLUORESCENTE	LEDs	No Emitidos
kg CO <sub>2</sub>	16229,61	7303,32	8926,28

**Tabla 0.2 Cálculos energéticos, económicos y ambientales del campus durante el mes de octubre de 2016**

## ANEXO 4

### Área de ubicación de los paneles fotovoltaicos

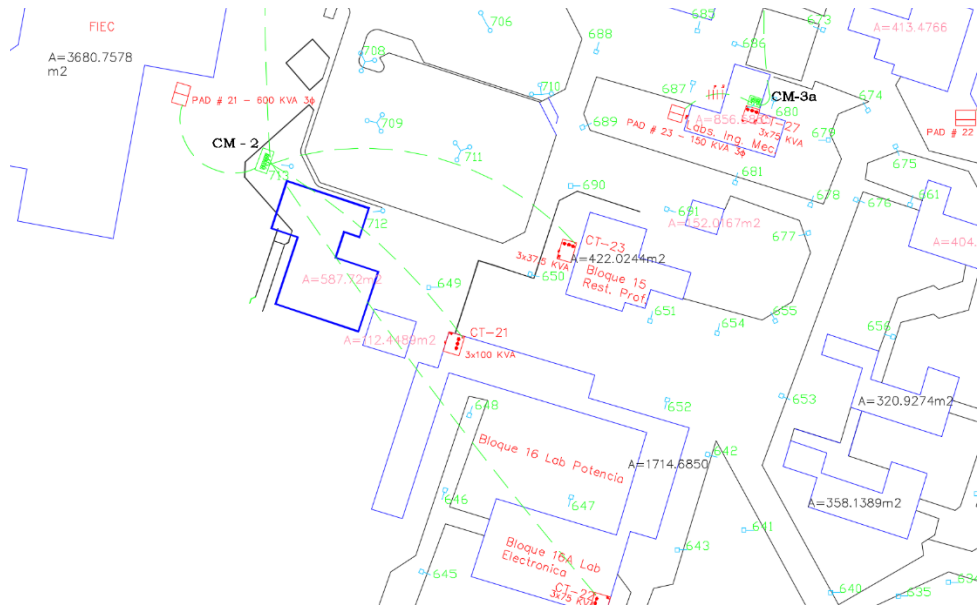


Figura 0.1 Área a utilizar de la FIEC

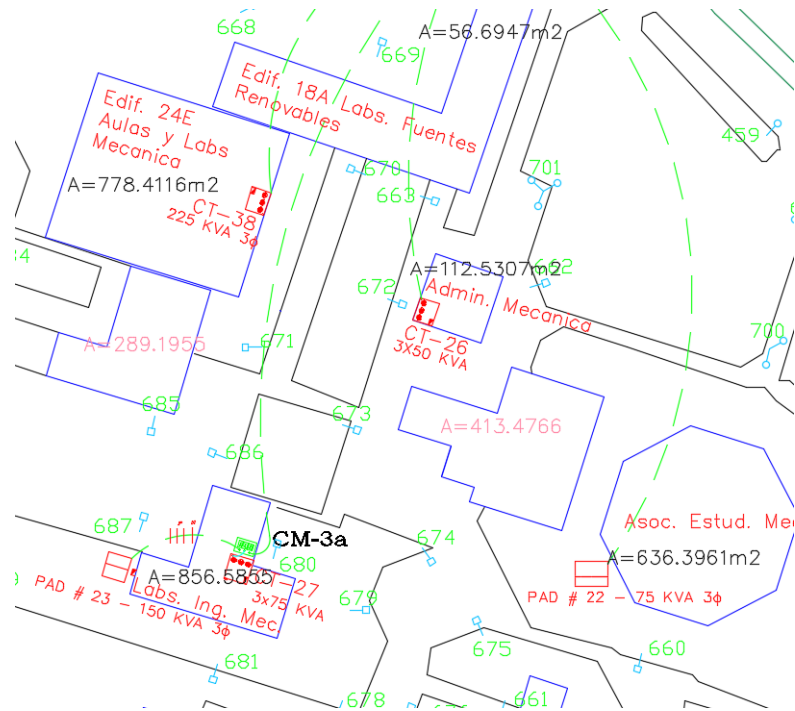


Figura 0.2 Área a utilizar de la FIMCP

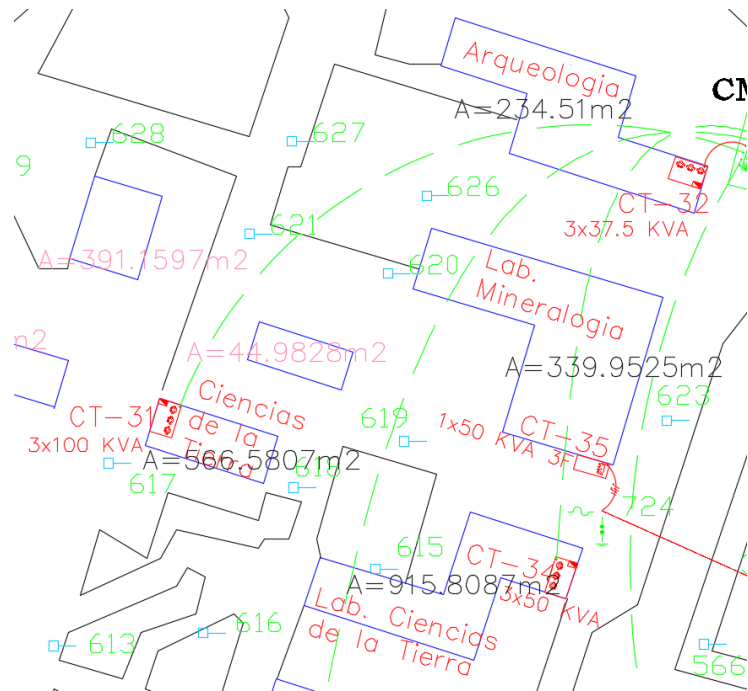


Figura 0.3 Área a utilizar de la FICT

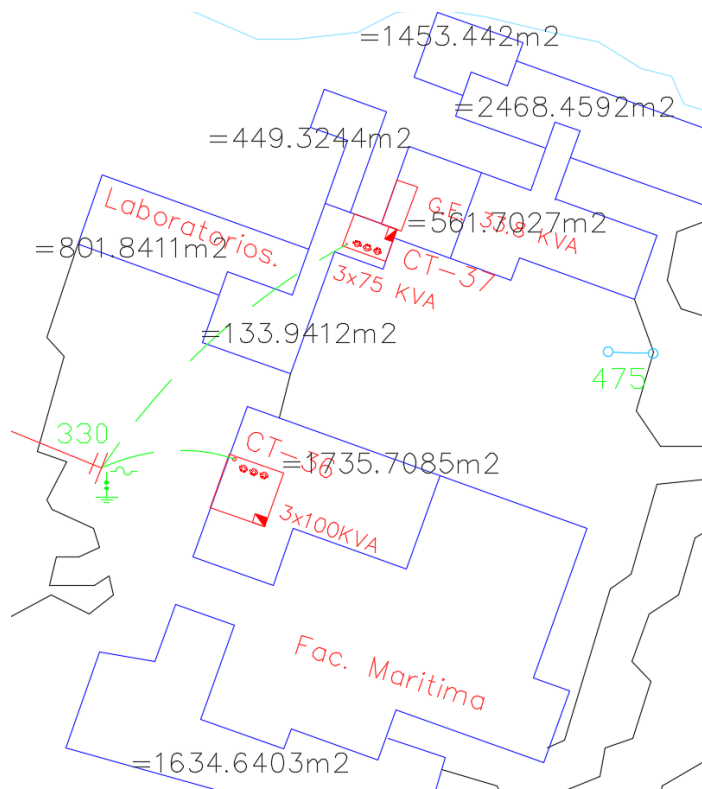


Figura 0.4 Área a utilizar de la FIMCBOR