



UNIVERSIDAD DE LAS
FUERZAS
ARMADAS ESPE - EXTENSIÓN
LATACUNGA



OBJETIVO GENERAL

**DISEÑAR UN SISTEMA SOLAR
FOTOVOLTAICO PARA EL
SUMINISTRO DE ENERGÍA
ELÉCTRICA EN EL NUEVO CAMPUS
DE LA ESCUELA POLITÉCNICA DEL
EJÉRCITO EXTENSIÓN LATACUNGA**



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un estudio de disponibilidad de recurso energético solar en la provincia de Cotopaxi cantón Latacunga parroquia Belisario Quevedo.
- Estimar el comportamiento del sistema ESPE-EL en el Nuevo Campus.
- Diseñar y seleccionar el sistema fotovoltaico.
- Elaborar un manual de implantación de paneles fotovoltaicos.
- Crear una metodología para el panel más adecuado.
- Elaboración de un manual de impacto ambiental en la zona de Belisario Quevedo.
- Realizar el estudio de factibilidad técnica y económica.

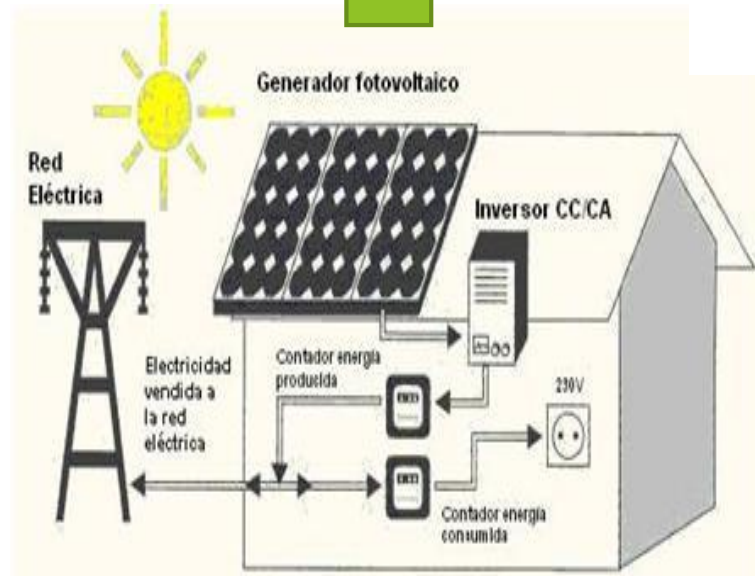
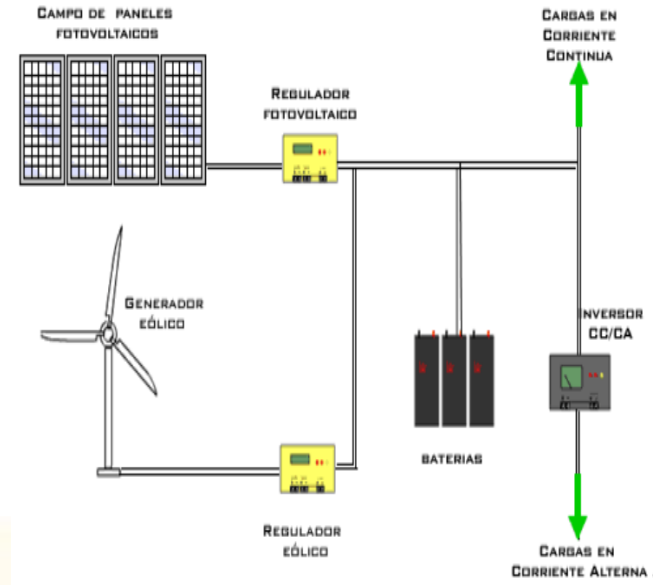
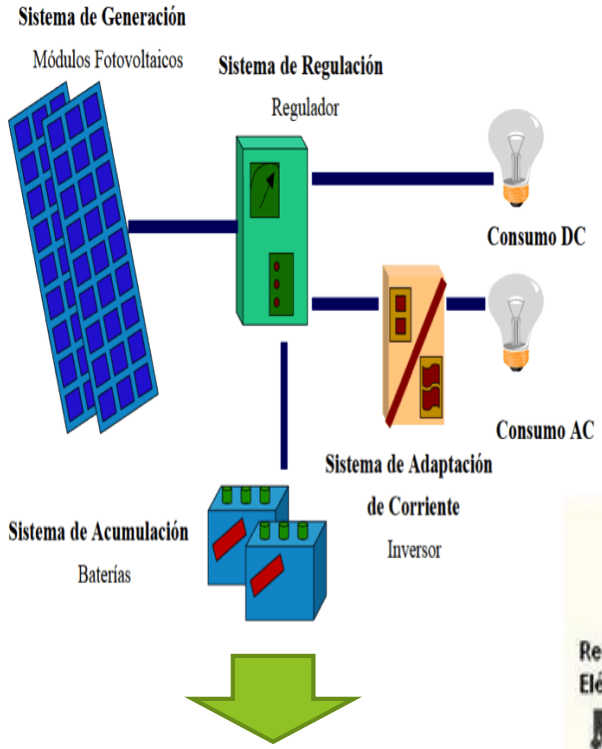


IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN

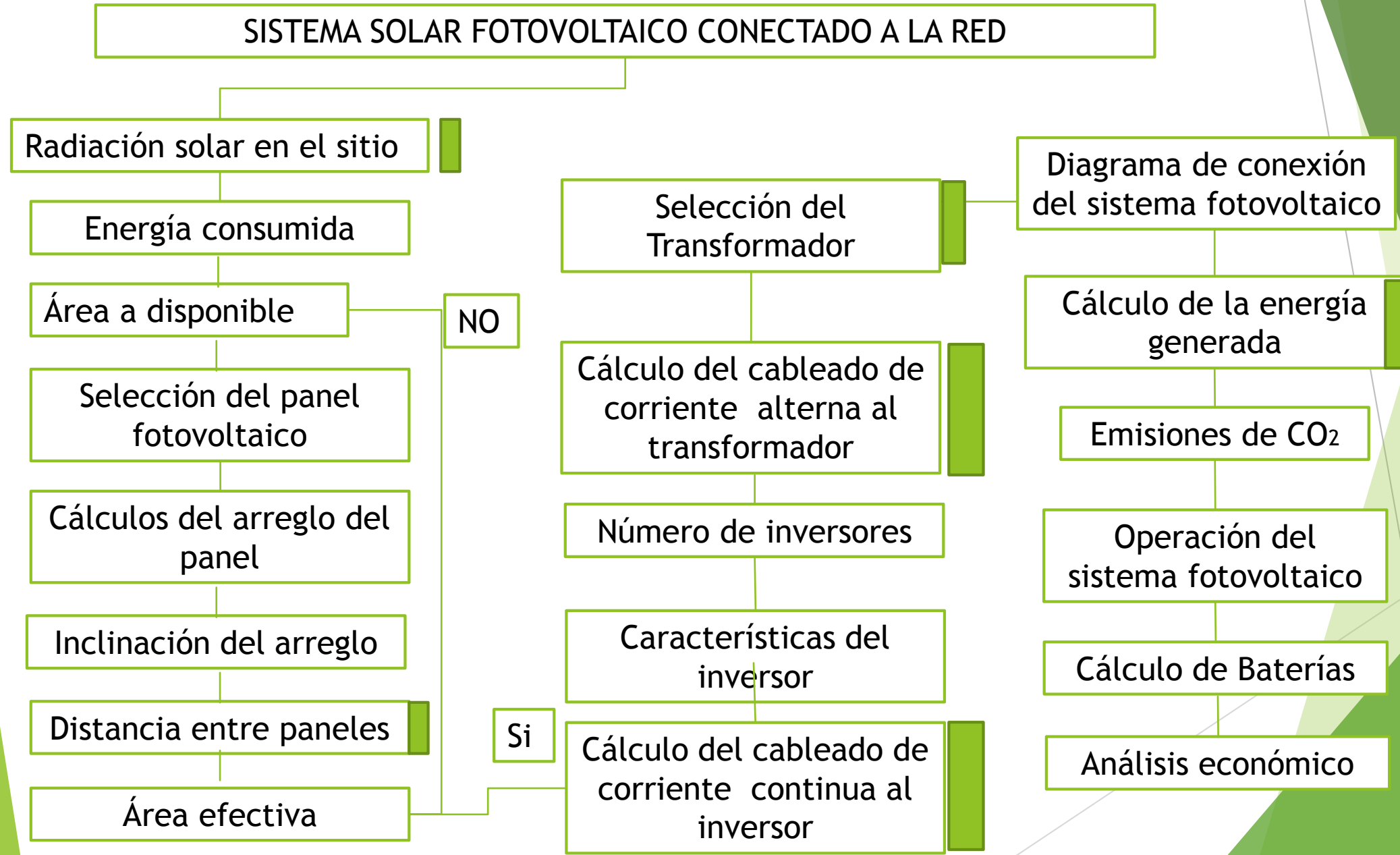
- ▶ La utilización de energía solar fotovoltaica ayudará a desplazar un porcentaje del consumo de energía eléctrica a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE- Extensión Latacunga
- ▶ Debido que al trabajar con energías renovables se deja de emitir emisiones de CO₂ a la atmósfera la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE - Extensión Latacunga propone el diseño de un sistema solar fotovoltaico conectado a la red de bajo voltaje cuyo objetivo principal es la generación de energía, además de poner en la mira a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE - Extensión Latacunga como pionera en el país en la utilización de energías renovables no convencionales.



TIPOS DE INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS



METODOLOGÍA DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED

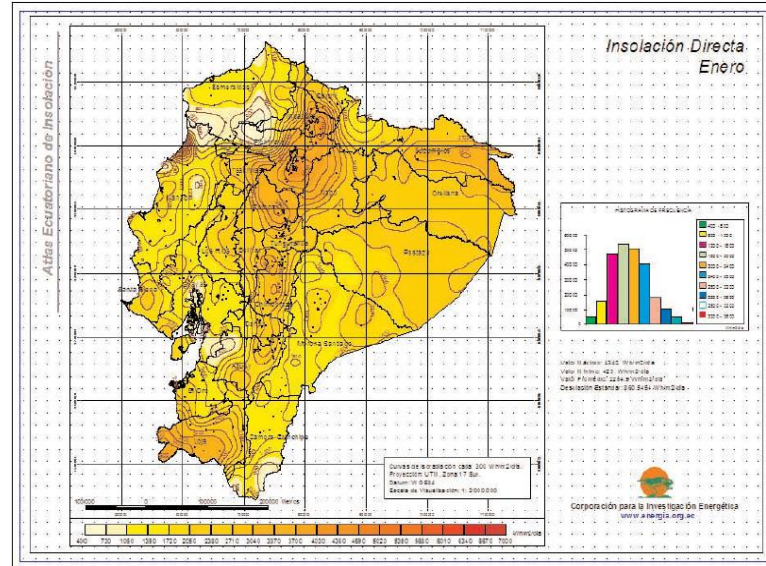




Estación Meteorológica (Vantage Pro2)



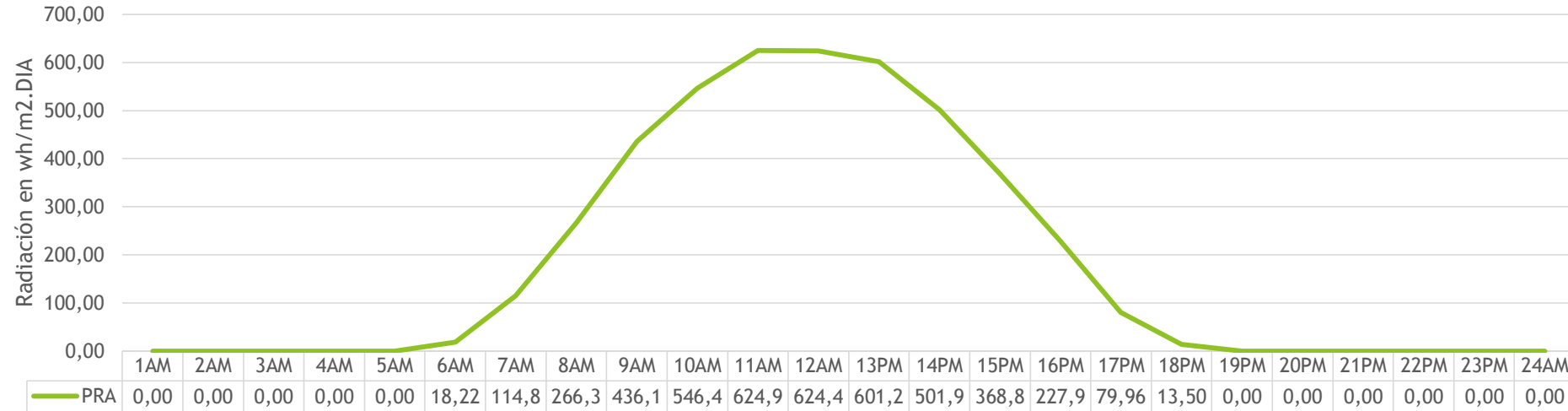
Piranómetro



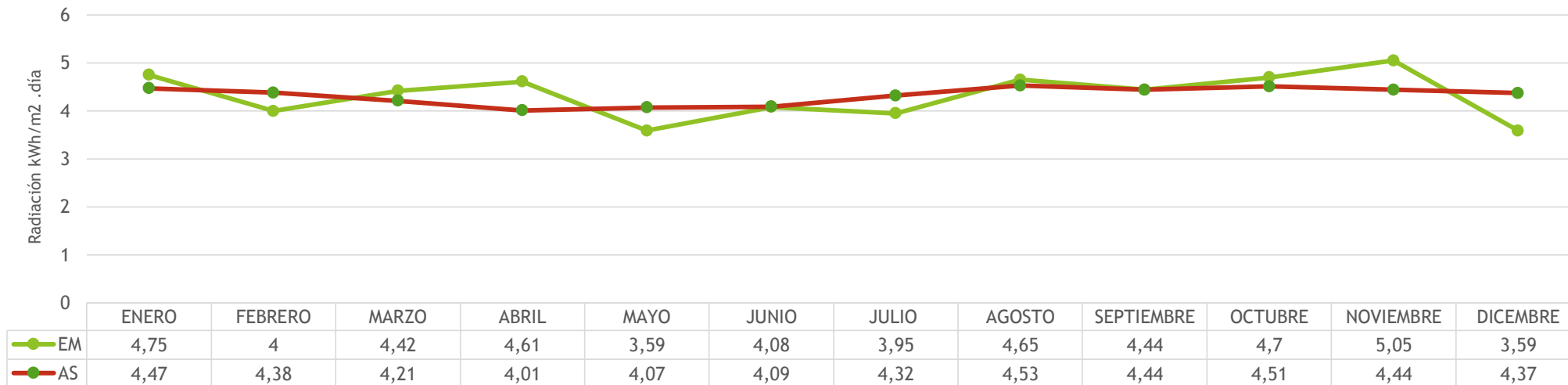
Atlas Solar



PROMEDIO DE RADIACIÓN ANUAL



ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA RADIACIÓN MEDIDA CON LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA Y EL ATLAS SOLAR DEL ECUADOR





DEMANDA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE - EXTENSIÓN LATACUNGA

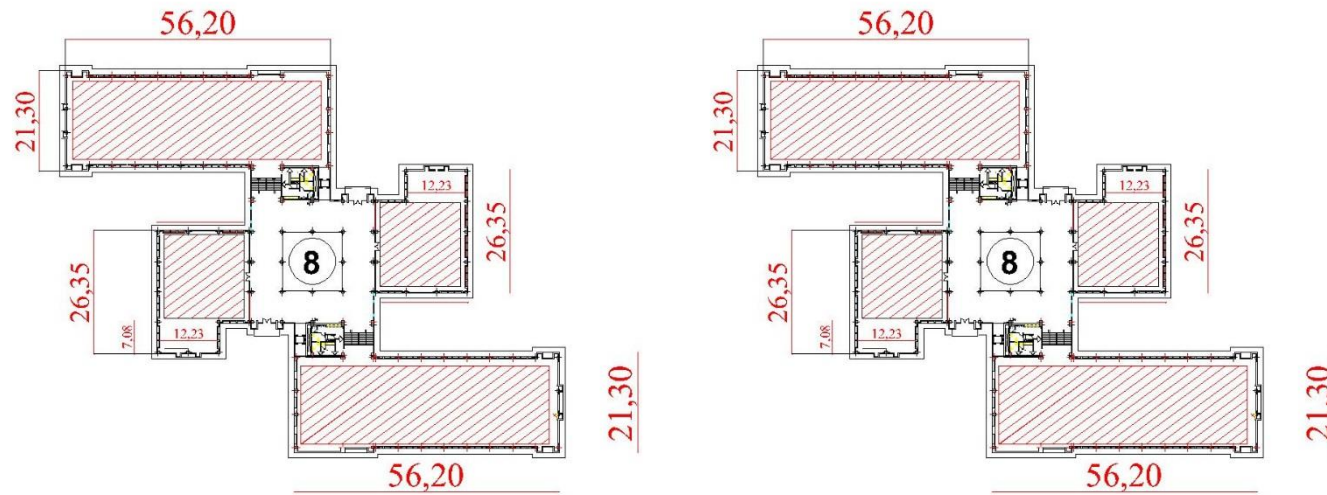
- ▶ El nuevo campus de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE - Extensión Latacunga tendrá las mismas características técnicas de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE - Matriz la misma que tiene una carga instalada de 1.832,5 (kVA) y una demanda máxima medida de 760,00 (kVA), Como la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE - Extensión Latacunga tiene una proyección de la suma de toda la potencia de los transformadores de 1.275 (kVA) , se estima que la universidad dispondrá de una demanda máxima proyectada utilizada 528,78 (KVA)

RESUMEN DE ENERGÍA DE
LOS EDIFICIOS





ÁREA DISPONIBLE PARA LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO



BLOQUE DE AULAS (A,B)(C,D)

Área del techo de los dos edificios(A,B)(C,D) = 5600 m²





SELECCIÓN DE LOS MÓDULOS E INVERSORES PARA EL SISTEMA FOTOVOLTAICO

CARACTERÍSTICAS DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO

Potencia Máxima (Pm)	250±3%
voltaje de circuito abierto (Voc)	38,1 V
Voltaje de máxima potencia (Vmp)	30,7
Corriente de máxima potencia (Imp)	8,15
Corriente de cortocircuito (Isc)	8,8
Dimensiones (L*W*H)	1640*992*50(mm)
Peso	21,5 kg



Simax SM660-250





CÁLCULO DEL ARREGLO DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

$$\# \text{ de filas} = \frac{V_{max \text{ in}}}{V_{oc}}$$

Donde:

$V_{max \text{ in}}$ = Voltaje máximo de entrada al inversor

V_{oc} = Voltaje de circuito abierto del panel fotovoltaico

$$\# \text{ de filas} = \frac{800}{38,1}$$

$$\# \text{ de filas} = 20,99 \rightarrow 20$$

$$\# \text{ de columnas} = \frac{P_{inv}}{P_{Modulo} * \# \text{ de filas}}$$

Donde:

P_{inv} = corriente máxima de entrada al inversor.

P_{Modulo} = corriente cortocircuito del panel fotovoltaico.

$\# \text{ de filas}$ = Número de filas

$$\# \text{ de columnas} = \frac{250kW}{250W * 20}$$

$$\# \text{ de columnas} = 50$$

El sistema se distribuirá en 10 ramales de 20 inversores en fila y 5 en columna





INCLINACIÓN DE LOS PANELES

La inclinación de los paneles es muy importante en un sistema fotovoltaico ya que dicha inclinación debe ser la óptima ya que de esta depende que el módulo capte la mayor cantidad de radiación posible.

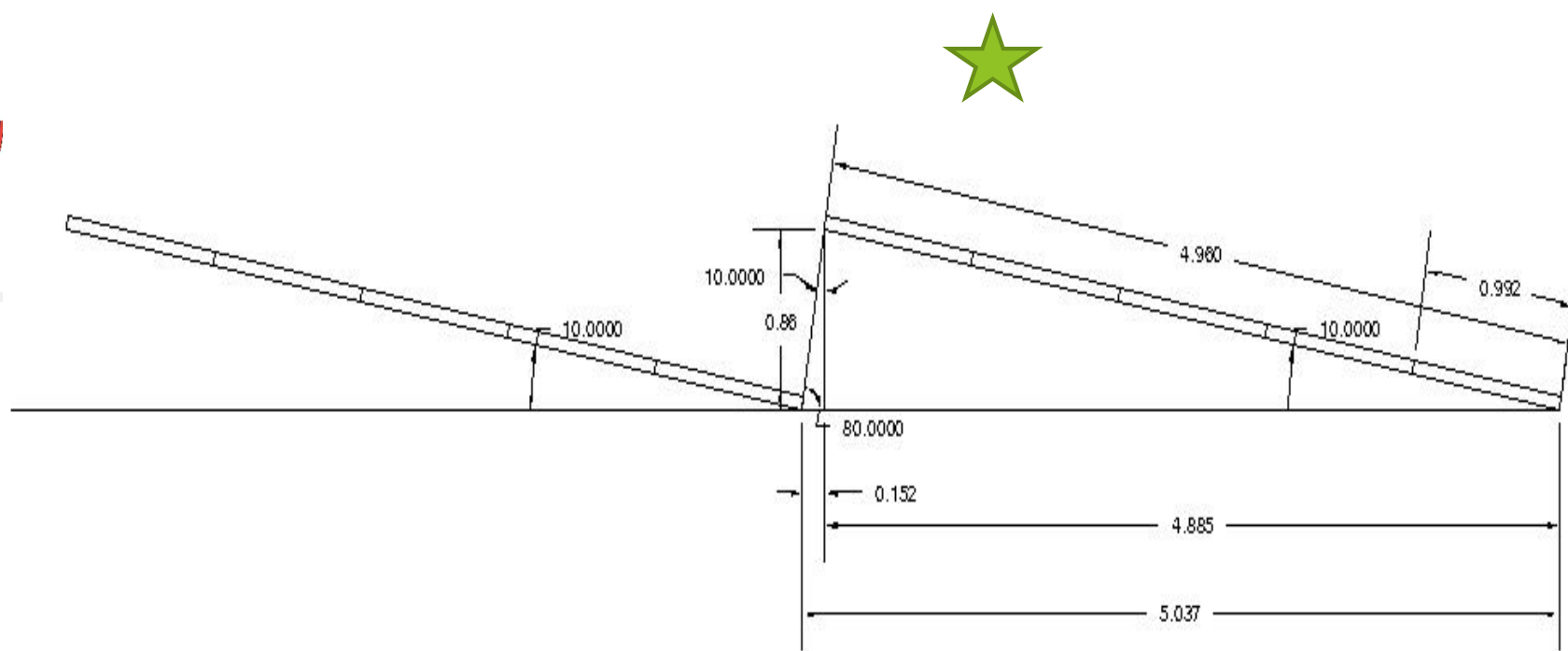
$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69|\phi|$$

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69|0^{\circ}59'53'' S|$$

$$\beta_{opt} = 4,38 \rightarrow 5^{\circ}$$

La inclinación de 5° es una inclinación muy pequeña y se debe tomar en cuenta que el sistema fotovoltaico va a soportar condiciones externas como humedad y principalmente lluvia por lo tanto se aumenta el ángulo de inclinación a 10°





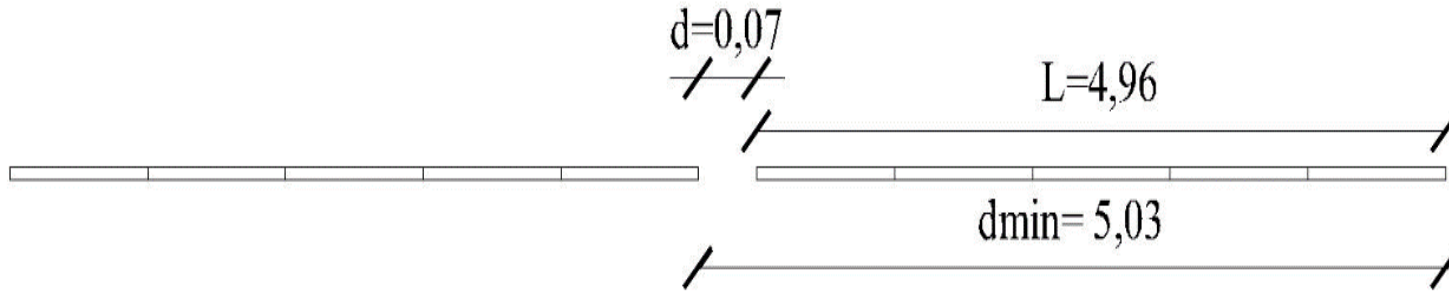
$$h = \sin \beta * L$$
$$h = (\sin 10^\circ)(4,96 \text{ m})$$
$$h = 0,861 \text{ m}$$

$$b = \cos \beta * L$$
$$b = (\cos 10^\circ)(4,96 \text{ m})$$
$$b = 4,885 \text{ m}$$

$$a = \frac{h}{\tan \theta}$$
$$a = \frac{0,861 \text{ m}}{\tan 80^\circ}$$
$$a = 0,152 \text{ m}$$

$$d_{\text{mín}} = a + b$$
$$d_{\text{mín}} = 0,152 \text{ m} + 4,885 \text{ m}$$
$$d_{\text{mín}} = 5,03 \text{ m}$$





$$d = d_{mín} - L$$
$$d = 5,03 \text{ m} - 4,96 \text{ m}$$
$$d = 0,07 \text{ m}$$





ÁREA DISPONIBLE PARA LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Área del techo de los dos edificios(A,B)(C,D) = 5600 m^2

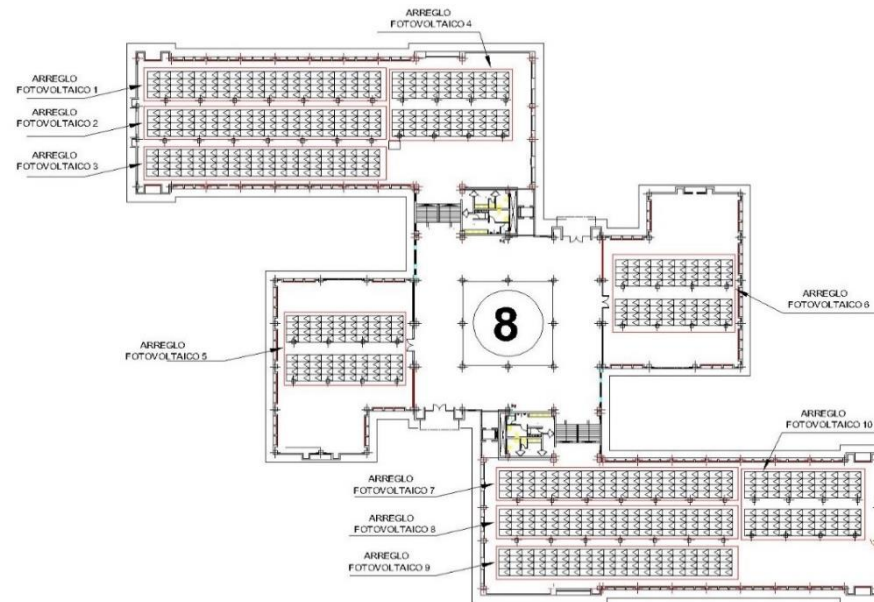
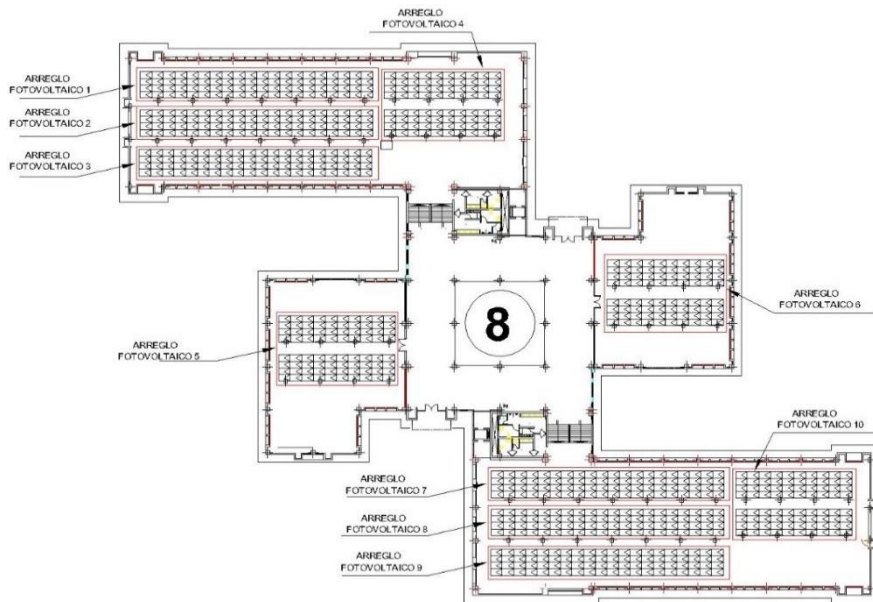
Área total del sistema FV = Área del módulo FV * # total de paneles

Área total del sistema FV = $1,62688 \text{ m}^2 * 2000 \text{ módulos}$

Área total del sistema FV = 3253 m^2

Área del techo de los dos edificios(A,B)(C,D) > Área total del sistema FV

Si cumple los rangos



CRITERIO TÉRMICO PARA SELECCIONAR EL CABLE EN CC

$$I_{max \text{ arreglo fotovoltaico}} = I_{mp(\text{arreglo fotovoltaico})} * 1,25 \quad \text{Ec 3.9}$$

$$I_{max \text{ arreglo fotovoltaico}} = 40,75A * 1,25$$

$$I_{max \text{ arreglo fotovoltaico}} = 50,93 A$$

CRITERIO DE CAÍDA DE TENSIÓN PARA SELECCIONAR EL CABLE EN CC

$$\Delta V = \frac{2 * \rho * L * I_{max \text{ arreglo fotovoltaico}}}{s}$$

$$\Delta V = \frac{2 \left(0,0176 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \right) (20 \text{ m}) (50,93 \text{ A})}{4 \text{ mm}^2}$$

$$\Delta V = 8,96 \text{ V}$$

$$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V_{mp \text{ Arreglo}}}$$

$$\% \Delta V = \frac{8,96 \text{ V}}{614 \text{ V}}$$

$$\% \Delta V = 1,5\%$$



PV ZZ-F (AS) 4 mm²





RESUME DE LA CAÍDA DE VOLTAJE EN CORRIENTE CONTINUA EN EL BLOQUE DE AULAS (A,B) Y (C,D)

Arreglo Fotovoltaico	(ρ) Resistividad del cobre en ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)	(L) Longitud en (m)	(I) Corriente máxima que va a transportar la línea en (A)	Sección en mm^2	Voltaje máximo del arreglo fotovoltaico en (V)	(ΔV) caída de voltaje	(% ΔV) caída de voltaje en porcentaje
1	0,0176	20,00	50,93	4	614,00	8,96	1,5%
2	0,0176	15,00	50,93	4	614,00	6,72	1,1%
3	0,0176	14,00	50,93	4	614,00	6,27	1,0%
4	0,0176	14,00	50,93	4	614,00	6,27	1,0%
5	0,0176	15,00	50,93	4	614,00	6,72	1,1%
6	0,0176	15,00	50,93	4	614,00	6,72	1,1%
7	0,0176	20,00	50,93	4	614,00	8,96	1,5%
8	0,0176	15,00	50,93	4	614,00	6,72	1,1%
9	0,0176	14,00	50,93	4	675,54	6,27	0,9%
10	0,0176	14,00	50,93	4	675,54	6,27	0,9%





Datos técnicos	PVS800-57-0315kw-B
Valores de entrada	
Potencia nominal de CC	250kW
Rango de tensión MPP	450 V - 825 V
Tensión máx. de CC	1000 V
Corriente continua máx.	600 A
No. de entradas de CC	10
Parámetros de salida	
Potencia nominal de CA	250 kW
Tensión nominal de CA	300 V
Corriente nominal de CA	485 A
Frecuencia de red de CA 50 Hz	•
Frecuencia de red de CA 60 Hz	•
Rendimiento máximo	98%
Coefficiente de distorsión máx.	< 3 %



PVS800-57-0250kW-A





de filas * $V_{mp}(\text{Modulo}) \leq \text{tencion nominal de entrada al inversor}$

$$20 * 30,7V \leq 450V \text{ a } 825 V$$

$$614 \leq 450V \text{ a } 825 V$$

Si Cumple Los Rangos

columnas de todos los arreglos fotovoltaicos * $I_{mp}(\text{Modulo}) \leq$
Corriente nominal de entrada al inversor

$$50 * 8,15 \leq 600$$

$$407,5 \leq 600$$

Si Cumple Los Rangos

$$\# \text{ de inversores} = \frac{\# \text{modulos del sistema FV}}{\# \text{modulos del arreglo}}$$

$$\# \text{ de inversores} = \frac{2000}{1000}$$

$$\# \text{ de inversores} = 2$$





CRITERIO TÉRMICO PARA SELECCIONAR EL CABLE EN CA

CRITERIO DE CAÍDA DE TENSIÓN PARA SELECCIONAR EL CABLE EN CA

$$I_{max} = \frac{P}{\sqrt{3} V \cos \phi}$$

$$I_{max} = \frac{250000 W}{\sqrt{3} (300V)(0,85)}$$

$$I_{max} = 566,02 A$$

$$\Delta V = \Delta V_{por\ tabla\ del\ fabricante} * I_{max} * L$$

$$V = \left(0,178 \frac{V}{A.Km}\right) * 566,02 * \left(18 m * \frac{1 Km}{1000 m}\right)$$

$$\Delta V = 1,81V$$

$$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V_{salida\ del\ inversor}}$$

$$\% \Delta V = \frac{1,81V}{300V}$$

$$\% \Delta V = 0,6\%$$

POWERFLEX RV-K
240 mm²



POWERFLEX RV-K
240 mm²



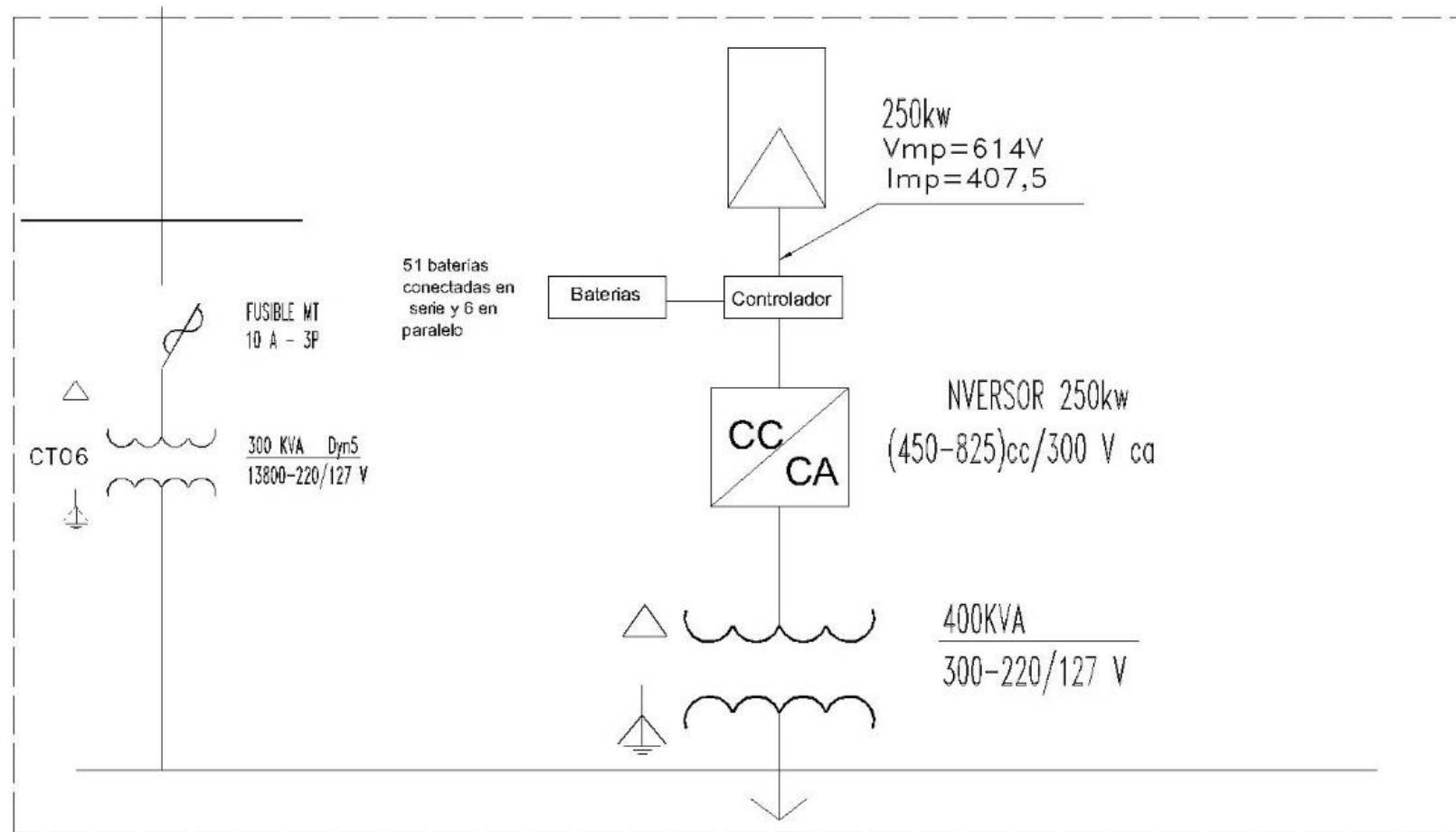


RESUME DE LA CAÍDA DE VOLTAJE EN CORRIENTE ALTERNA EN EL BLOQUE DE AULAS (A,B) Y (C,D)

Arreglo Fotovoltaico	Sección en mm ²	ΔV Caída de tensión por tablas del fabricante (V/A.Km)	(L) Longitud en (km)	(I) Corriente máxima que va a transportar la línea en (A)	Voltaje de salida del inversor (V)	(ΔV) Caída de voltaje	(% ΔV) Caída de voltaje en porcentaje
1	240	0,178	0,018	566,02	300,00	1,81	0,60%



SELECCIÓN DE LOS TRANSFORMADORES BLOQUE (A, B)



SELECCIÓN DE LOS TRANSFORMADORES BLOQUE (C, D)

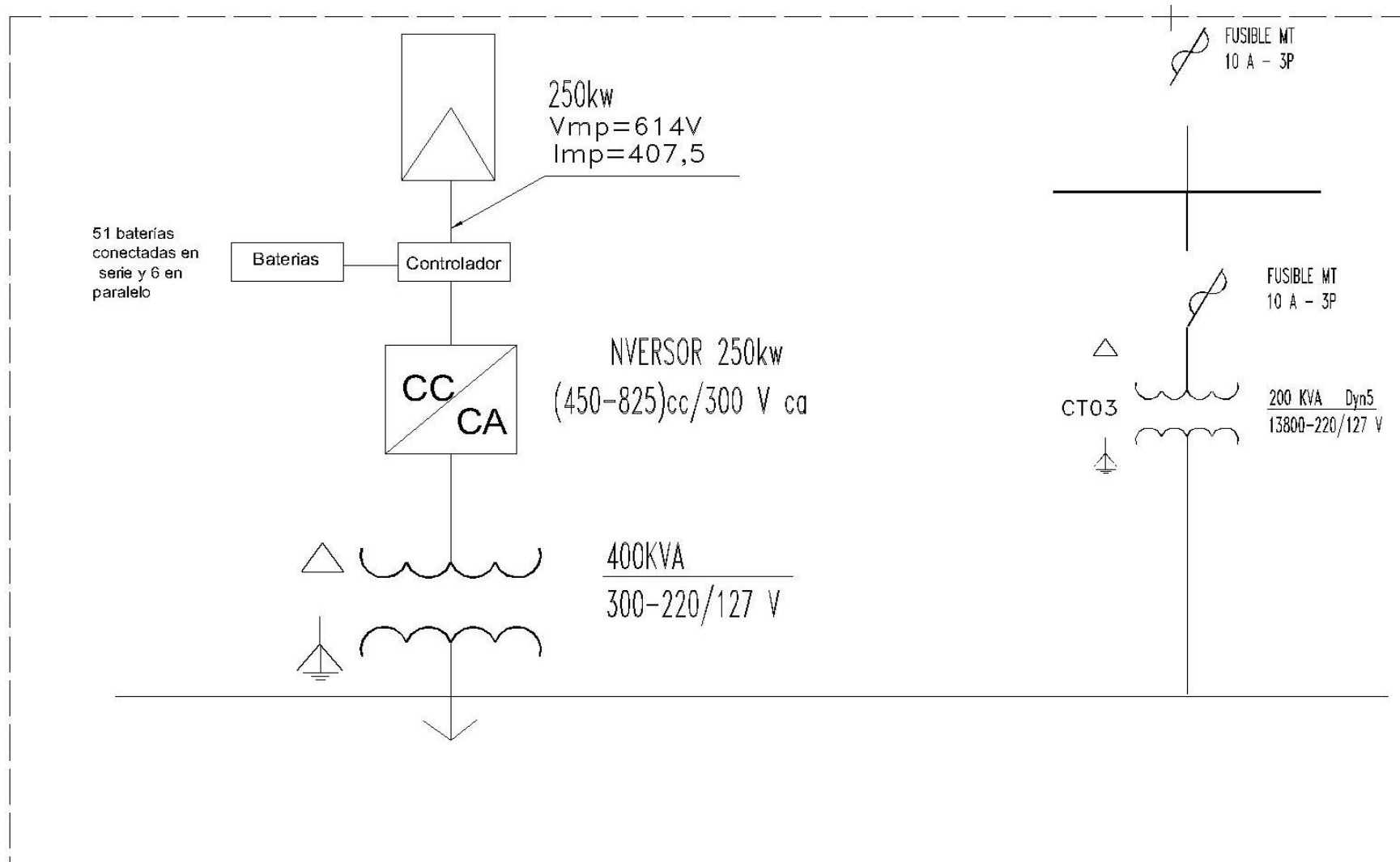
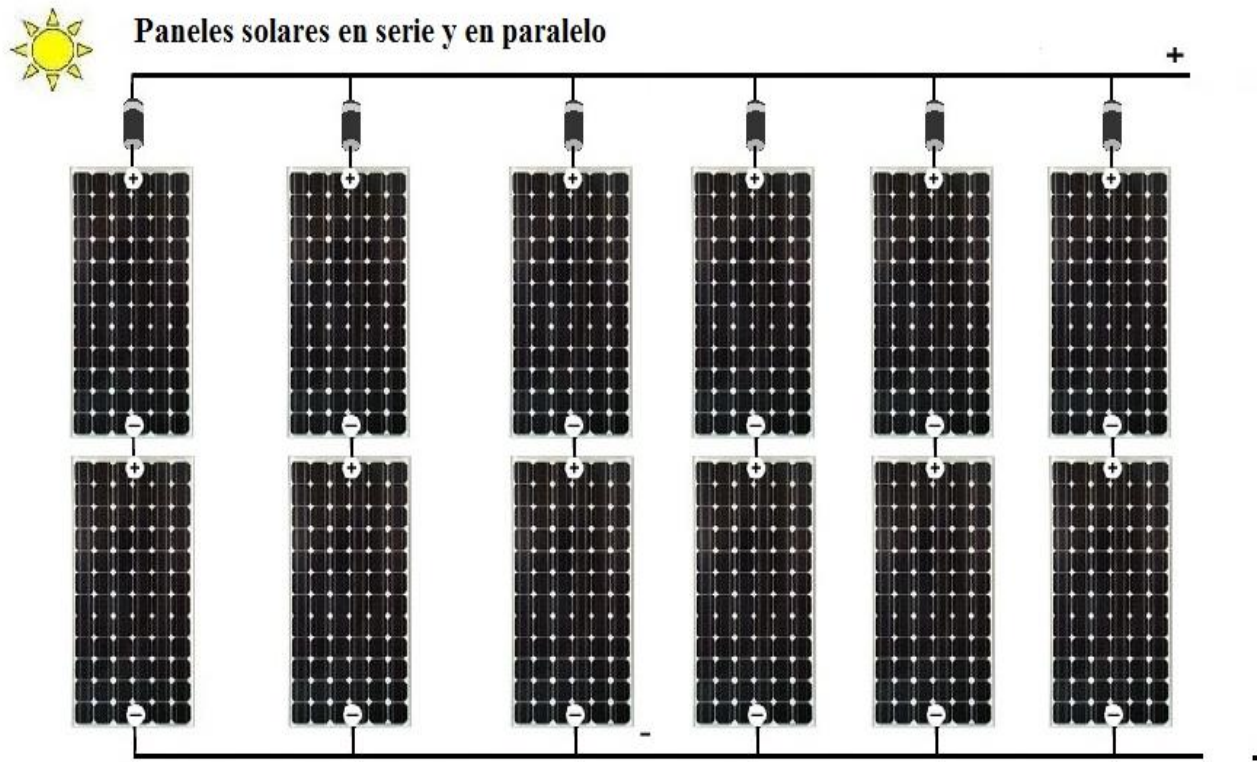




DIAGRAMA DE CONEXIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO





CÁLCULO DE LA ENERGÍA PRODUCIDA ANUALMENTE

$$E_{ac} = P^* \cdot \frac{G_{efa}}{G_{stc}} \cdot (PR) \cdot (1 - FS)$$

$$E_{ac} = (500kw) \cdot \frac{1615,84 \frac{kwh}{m^2}}{1 \frac{kw}{m^2}} \cdot (0.74) \cdot (1 - 0.04)$$

$$E_{ac} = 573.947,83 \text{ kwh Anual}$$

Donde :

E_{ac} = Es la energía producida anual (kWh)

P^* = Potencia nominal del generador FV (w)

G_{efa} = Irradiación efectiva anual incidente en el plano del generador (kWh/m²)

G_{stc} = Irradiación en condiciones estándar de medida (1 kW/m² constante)

PR = rendimiento del sistema o performance ratio

FS = factor de sombras





CÁLCULO DE LA ENERGÍA PRODUCIDA MENSUALMENTE

$$Prom_{mensual}(USD) = (E_{ac} * PRECIO_{kWH}) / 12$$

$$Prom_{mensual}(USD) = (57.394,78 * 0,10 \text{ ctvs}) / 12$$

$$Prom_{mensual}(USD) = 4.782,90(USD)$$

Donde

$Prom_{mensual}(USD)$ = promedio mensual en dólares americanos (USD)

E_{ac} = Es la energía producida anual

$PRECIO_{kWH}$ = Precio por el kWh (en Ecuador 10 ctvs)





AHORRO DE TONELADAS DE CO₂ EMITIDAS A LA ATMÓSFERA

$$\text{Ahorro de Ton CO}_2 = EF_{grid,OM} * E_{ac}$$

$$\text{Ahorro de Ton CO}_2 = 0,5689 t_{CO_2} * 573.947,83 kwh$$

$$\text{Anual Ahorro de Ton CO}_2 = 338,05 (t_{CO_2}/\text{Año})$$

Donde

Ahorro de Ton CO₂

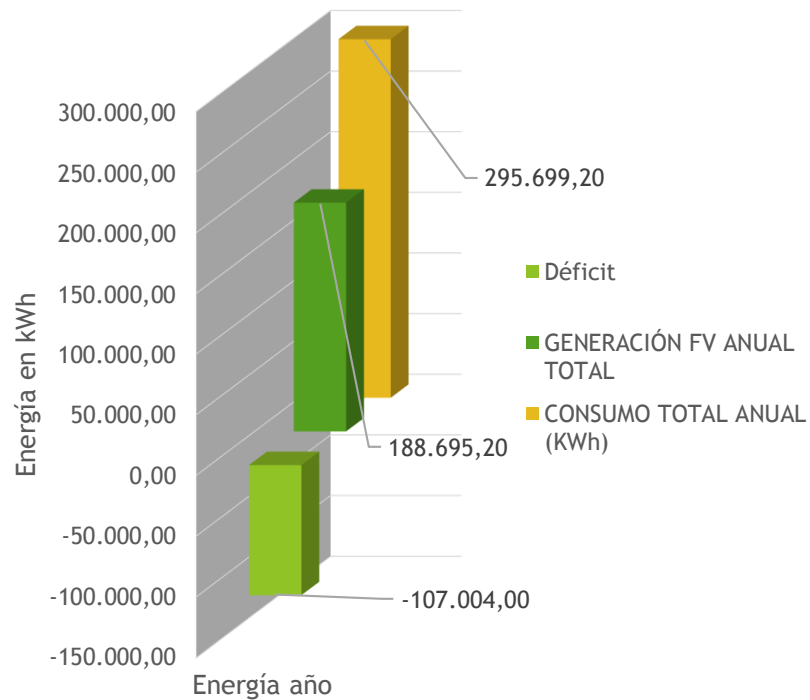
$EF_{grid,OM}$ = Factor de emisión CO₂

E_{ac} = Es la energía producida anual (kWh)

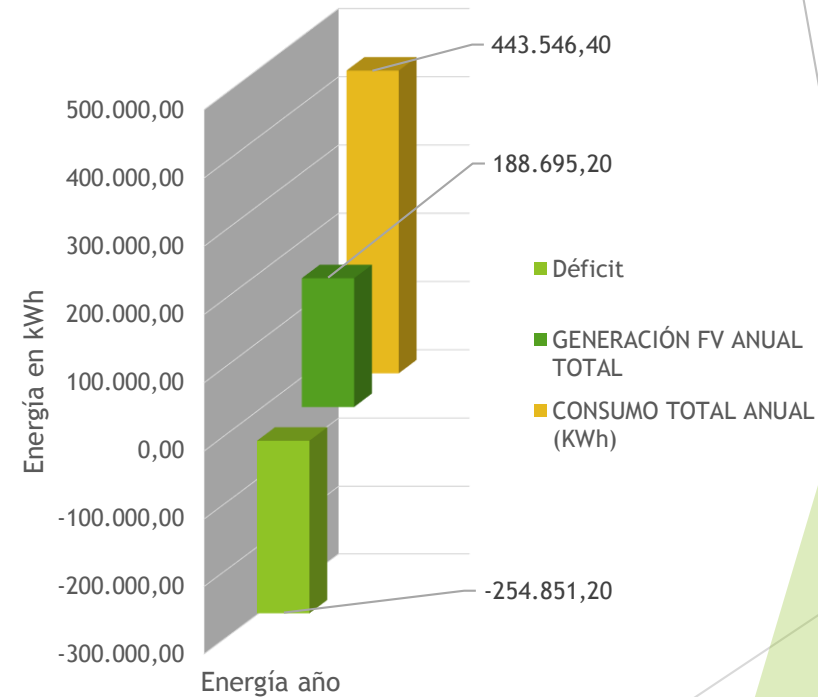


OPERACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

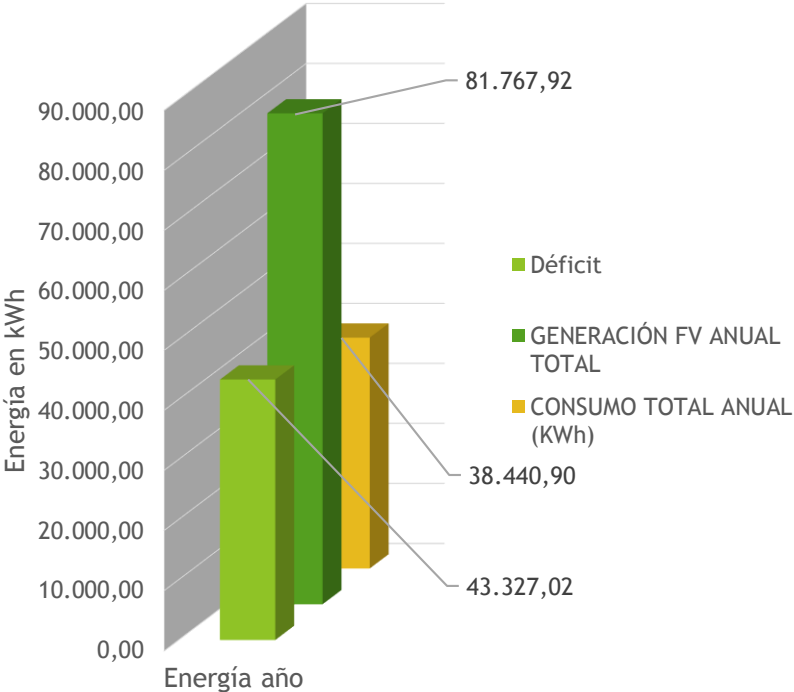
OPERACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO DE LUNES A VIERNES CUANDO LA UNIVERSIDAD ESTÁ EN CLASES NORMALES (BLOQUE DE AULAS C,D)



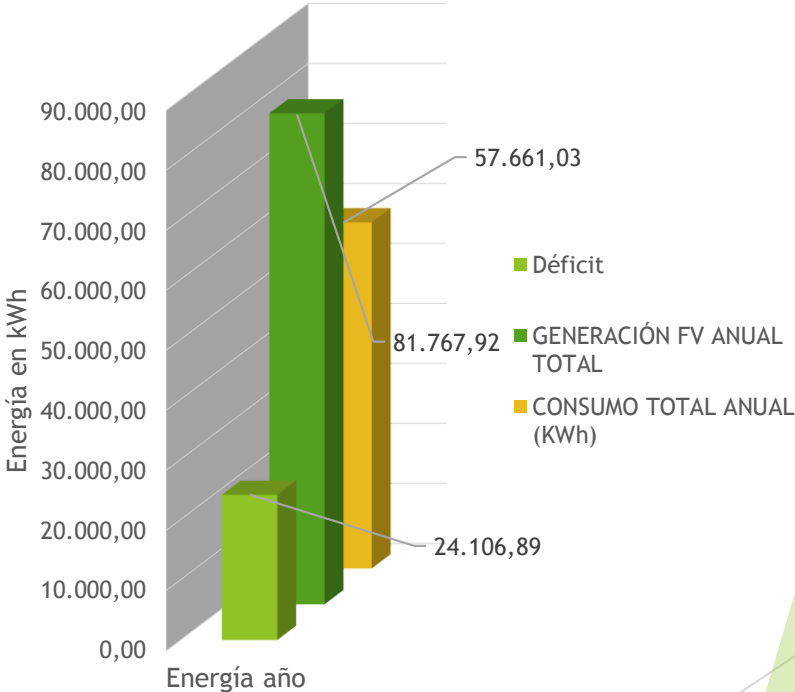
OPERACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO DE LUNES A VIERNES CUANDO LA UNIVERSIDAD ESTÁ EN CLASES NORMALES (BLOQUE DE AULAS A,B)



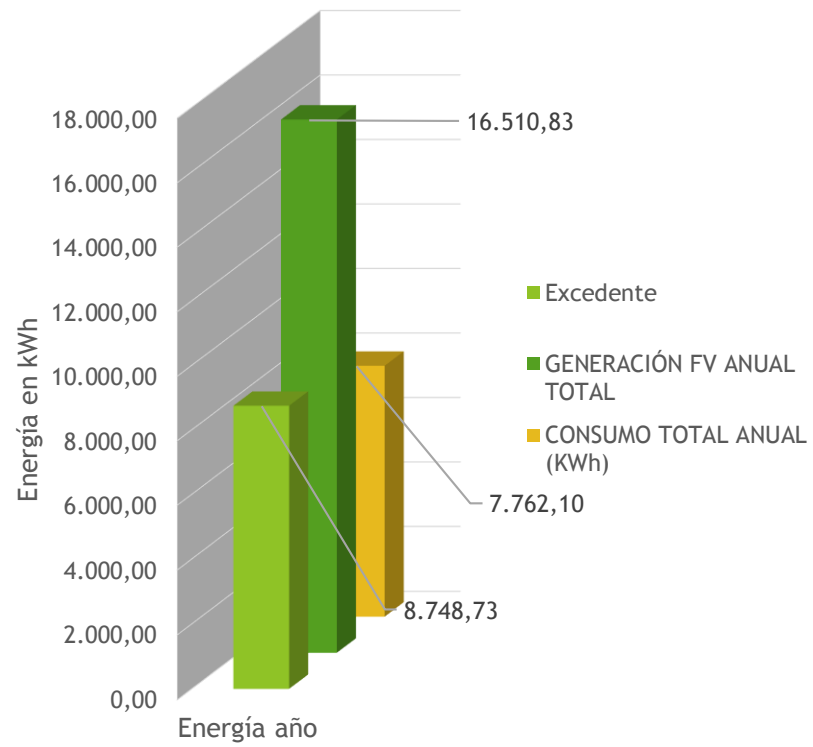
OPERACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO DE SÁBADOS Y DOMINGOS CUANDO LA UNIVERSIDAD ESTÁ EN CLASES NORMALES (BLOQUE DE AULAS C,D)



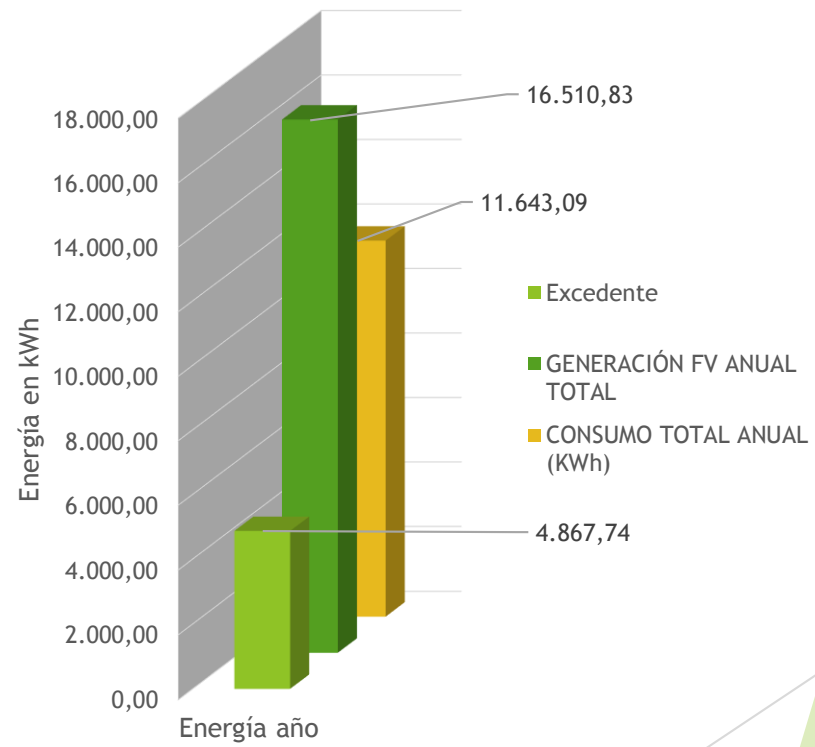
OPERACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO DE SÁBADOS Y DOMINGOS CUANDO LA UNIVERSIDAD ESTÁ EN CLASES NORMALES (BLOQUE DE AULAS A,B)



OPERACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO EN DÍAS FESTIVOS (BLOQUE DE AULAS C,D)



OPERACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO EN DÍAS FESTIVOS (BLOQUE DE AULAS A,B)



Cálculo de las Baterías

$$Bat_{paralelo} = \frac{\frac{Prom.Diario Ah * Dias Autonomia}{Lim Descarga}}{Capacidad Ah Bateria}$$

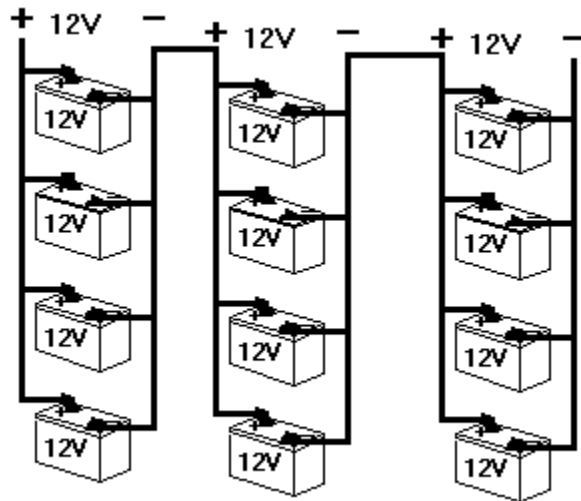
$$Bat_{paralelo} = \frac{\frac{953 Ah * 1 dia}{0,8}}{198Ah}$$

$$Bat_{paralelo} = 6$$

$$Bat_{serie} = \frac{V_{CC Sistema}}{V_{Baterias}}$$

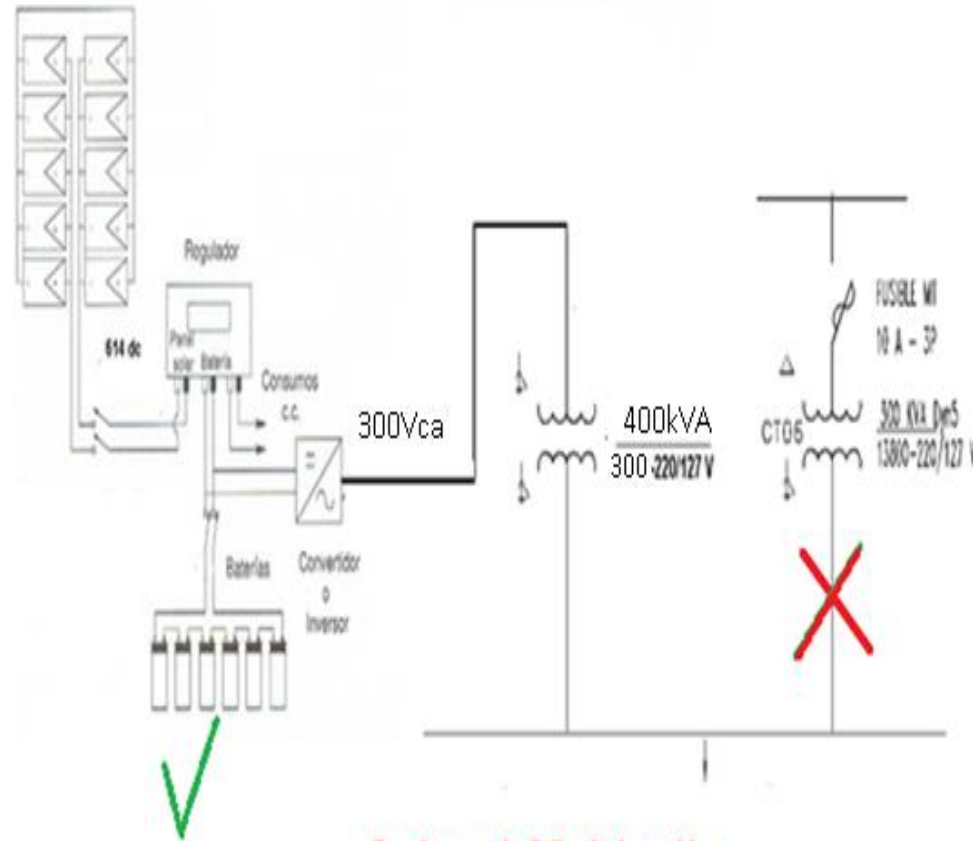
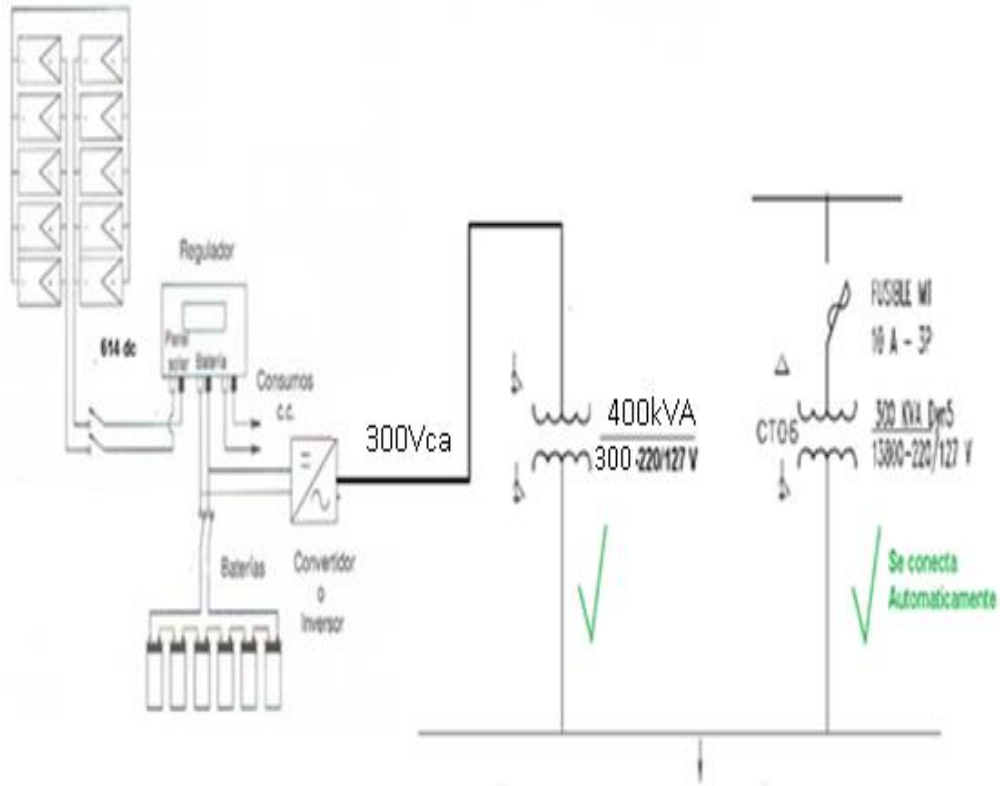
$$Bat_{serie} = \frac{614V}{12V}$$

$$Bat_{serie} = 51$$





OPERACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO ANTE LA AUSENCIA DE LA EMPRESA ELÉCTRICA



En el caso de falla de la red las baterías alimentarán la carga por un periodo de dos horas





ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis económico del proyecto fotovoltaico constituye una técnica a través de la cual se determinan los beneficios o pérdidas en los que se puede incurrir al pretender realizar una inversión u otro movimiento en donde uno de sus objetivos es obtener resultados que apoyen la toma de decisiones para los escenarios que se presenten.

Como herramienta de análisis se utiliza la (Tasa Interna de Retorno) TIR y el (Valor Actual Neto VAN) las que son usadas para evaluar proyectos de forma financiera.



ESCENARIOS



ESCENARIO 1

Inversión (USD)	-
	1.787.307,20
Interés (%)	10%
Año1	\$ 57.394,78
Año 2	\$ 57.394,78
Año 3	\$ 57.394,78
Año 4	\$ 57.394,78
Año 5	\$ 57.394,78
Año 6	\$ 57.394,78
Año 7	\$ 57.394,78
Año 8	\$ 57.394,78
Año 9	\$ 57.394,78
Año 10	\$ 57.394,78
Año11	\$ 57.394,78
Año 12	\$ 57.394,78
Año 13	\$ 57.394,78
Año 14	\$ 57.394,78
Año 15	\$ 57.394,78
VAN(USD)	-1.350.757,92
TIR (%)	-8%
FRC	13%

ESCENARIO 2

Inversión (USD)	1.787.307,20
Interés (%)	10%
Año1	\$ 229.579,13
Año 2	\$ 229.579,13
Año 3	\$ 229.579,13
Año 4	\$ 229.579,13
Año 5	\$ 229.579,13
Año 6	\$ 229.579,13
Año 7	\$ 229.579,13
Año 8	\$ 229.579,13
Año 9	\$ 229.579,13
Año 10	\$ 229.579,13
Año11	\$ 229.579,13
Año 12	\$ 229.579,13
Año 13	\$ 229.579,13
Año 14	\$ 229.579,13
Año 15	\$ 229.579,13
VAN(USD)	-41.110,08
TIR (%)	10%
FRC	13%

ESCENARIO 3

Inversión (USD)	-
	1.304.900,00
Interés (%)	10%
Año1	\$ 172.184,35
Año 2	\$ 172.184,35
Año 3	\$ 172.184,35
Año 4	\$ 172.184,35
Año 5	\$ 172.184,35
Año 6	\$ 172.184,35
Año 7	\$ 172.184,35
Año 8	\$ 172.184,35
Año 9	\$ 172.184,35
Año 10	\$ 172.184,35
Año11	\$ 172.184,35
Año 12	\$ 172.184,35
Año 13	\$ 172.184,35
Año 14	\$ 172.184,35
Año 15	\$ 172.184,35
VAN(USD)	4.747,84
TIR (%)	10%
FRC	13%

ESCENARIO 4

Inversión (USD)	-
	1.304.900,00
Interés (%)	7%
Año1	\$ 143.486,96
Año 2	\$ 143.486,96
Año 3	\$ 143.486,96
Año 4	\$ 143.486,96
Año 5	\$ 143.486,96
Año 6	\$ 143.486,96
Año 7	\$ 143.486,96
Año 8	\$ 143.486,96
Año 9	\$ 143.486,96
Año 10	\$ 143.486,96
Año11	\$ 143.486,96
Año 12	\$ 143.486,96
Año 13	\$ 143.486,96
Año 14	\$ 143.486,96
Año 15	\$ 143.486,96
VAN(USD)	1.966,86
TIR (%)	7%
FRC	11%



PRESENTACIÓN DEL SOFTWARE

- ▶ Este software es el PVsyst 6.1.2. y es una herramienta que sirve para diseñar, simular, y analizar instalaciones fotovoltaicas. Este software permite dimensionar el tamaño de las instalaciones teniendo en cuenta la radiación solar que recibiría en función de su ubicación gracias a su base de datos meteorológica, y que toma en cuenta la proyección de sombras gracias a la simulación del movimiento del sol durante el día.

	Cálculos realizados	Software PVSYST 6.1.4
Modulo fotovoltaico seleccionado	SM660 250W	SM660 250W
Número de módulos fotovoltaicos	2000	2000
Inclinación del arreglo	10 ⁰	10 ⁰
Área efectiva	3253 m ²	3274 m ²
Inversor seleccionado	PVS800 -57-0250kW-A	PVS800 -57-0250kW-A
Número de inversores	2	2
Cálculo de la energía generada	459 Mwh	573 MWh
Inversión ESCENARIO 1	1.787.307,20	1.787.307,20
Inversión ESCENARIO 2	1.787.307,20	1.787.307,20
Inversión ESCENARIO 3	1.304.900,00	1.304.900,00
Inversión ESCENARIO 4	1.304.900,00	1.304.900,00





CONCLUSIONES

- ▶ El atlas 2008 sirve como referencia para instalaciones fotovoltaicas y tiene un margen de error del 10 %.
- ▶ Mediante la estimación realizada los edificios (A,B)(C,D), consumirá una energía anual de 854,75 MWh, estos poseen un área efectiva de 3253 m² en la misma que se puede instalar 500 kW de generación fotovoltaica y produciría una energía anual de 573,95 MWh, la cual desplazara 57.394 USD de la proyección del pago de la factura que consumirá la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE - Extensión Latacunga, para que el sistema fotovoltaico sirva como un sistema de reserva se decide colocar 612 baterías de 250Ah y 12V.
- ▶ Obtenida la potencia fotovoltaica instalada de 500 kW se necesita un total de 2000 paneles fotovoltaicos, 2 inversores distribuidos en 1000 paneles por cada inversor de 250 kw de acuerdo al diseño planteado.
- ▶ Se realizó un manual que contiene una metodología para el dimensionamiento de instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red.



- ▶ En el transcurso del presente proyecto se nota innecesario la elaboración de un manual de impacto ambiental en la zona de Belisario Quevedo, ya que el sistema fotovoltaico no contamina el medio ambiente, en su lugar se realiza el cálculo de cuantas tC_{O_2} se deja de emitir al ambiente, y como resultado el sistema fotovoltaico de 500 kW instalados deja de emitir $338,05 tC_{O_2}$ anual la atmósfera.
- ▶ En base al estudio de viabilidad económica se deberían presentar las siguientes condiciones para que el proyecto resulte favorable 25 ctvs el kWh, por el uso de energía renovable Esto conlleva a tener un ingreso anual de 143.486,96 USD, con una inversión 1.304.900,00 USD, una TIR de 7% y una VAN 1.966,86 USD con un Factor de Recuperación del 11 % .



RECOMENDACIONES

- ▶ Seguir con la toma de medidas de radiación en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE - Extensión Latacunga
- ▶ En un futuro se debería realizar el análisis de las protecciones del sistema fotovoltaico
- ▶ Retomar el análisis de la implementación del sistema fotovoltaico como mínimo en 10 años
- ▶ Es recomendable estudiar las regulaciones y precios preferenciales dadas por el CONELEC respecto a energía solar fotovoltaica para su correcta interpretación



Gracias

The background features abstract, overlapping geometric shapes in various shades of green, ranging from light lime to dark forest green. These shapes are primarily located on the right side of the frame, creating a dynamic, layered effect. The rest of the background is plain white.