

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL
DE LAS AMÉRICAS**

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**Diseño de un sistema fotovoltaico y propuesta de
modernización del sistema de iluminación de un edificio
administrativo**

Thomas Leandro Sandoval

SAN JOSÉ, JULIO 2017

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción	1
2. Título del seminario de graduación.....	3
3. Problema	3
4. Justificación	3
5. Objetivos	4
5.1 Objetivo general	4
5.2 Objetivos específicos	4
6. Alcances.....	5
7. Limitaciones	5
8. Antecedentes	7
CAPÍTULO I	12
DIAGNÓSTICO	12
1.1 Diagnóstico	13
CAPÍTULO II	18
MARCO TEÓRICO	18
2.1 Iluminación de oficinas	19
2.2 Organización de oficinas.....	19
2.2.1 Colmena	20
2.2.2 Celular	21
2.2.3 Reunión	22
2.2.4 Club	23
2.2.5 Lobby.....	23
2.3 Norma INTECO 31-08-2000. Segunda edición	24
2.3.1 Requerimientos.....	25
2.3.1.1 Para el empleador	25
2.3.1.2 Para el trabajador.....	26
2.3.2 Condiciones generales	26
2.3.2.1 Valor de servicio de iluminación artificial	26
2.3.2.2 Iluminación localizada.....	28
2.4 Concepto de iluminación eficiente	29

2.5	Diseño de iluminación interior.....	30
2.5.1	Datos de entrada.....	30
2.5.2	Elección del sistema de alumbrado.....	32
2.5.3	Elección de las fuentes luminosas.....	34
2.6	Diseño detallado	35
2.6.1	Selección de luminarias.....	35
2.6.2	Características fotométricas de las luminarias	38
2.6.2.1	Rendimiento luminoso	38
2.6.2.2	Curva de distribución luminosa.....	40
2.7	Cálculo de iluminación	40
2.7.1	Método de los lúmenes	41
2.7.1.1	Cálculo del flujo luminoso total necesario	41
2.7.1.2	Cálculo de los coeficientes	42
	Cálculo del índice del local	42
	Coeficiente de reflexión	42
	Factor de utilización	43
	Factor de mantenimiento	43
	Cálculo de la cantidad de luminarias.....	44
2.8	Control de la iluminación	44
2.9	Mantenimiento	47
2.10	Color.....	48
2.10.1	Intensidad lumínica	49
2.10.2	Dimensiones y reflexividad	49
2.11	Fuentes de luz	50
2.12	Tipos de tecnologías de iluminación.....	50
2.12.1	Tubos fluorescentes	50
2.12.2	<i>Led</i>	51
2.13	Comparación de tecnología fluorescente con led	53
2.13.1	Consideraciones técnicas para las propuestas de sustitución de lámparas fluorescentes.....	56
2.14	Tasa interna de retorno y valor actual neto	59
2.14.1	Cálculo	61

2.15	Inicios de los paneles fotovoltaicos	62
2.16	Libre acceso a la red.....	63
2.17	Sistemas fotovoltaicos	68
2.17.1	Sistemas aislados de la red eléctrica.....	68
2.17.2	Sistemas conectados a la red eléctrica	71
2.18	Diseño de una instalación fotovoltaica conectada a la red	73
2.18.1	Estudio de las necesidades por cubrir.....	73
2.18.2	Condiciones de irradiación solar	74
2.18.3	Ángulo de inclinación de los paneles solares.....	76
2.18.4	Cálculo del número de módulos fotovoltaicos	76
2.18.5	Cálculo del arreglo de paneles solares.....	77
2.18.6	Determinación del inversor.....	77
CAPÍTULO III		79
MARCO METODOLÓGICO		79
3.1	Métodos de investigación.....	80
3.1.1	Investigación descriptiva.....	80
3.1.2	Investigación cuantitativa	81
CAPÍTULO IV		84
DESARROLLO		84
4.1	Evaluación del sistema de iluminación existente	85
4.1.1	Datos de las luminarias	85
4.1.2	Cálculo de los costos de mantenimiento	87
4.2	Recálculo de la cantidad de luminarias necesarias.....	88
4.2.1	Análisis de primera propuesta (caso 1).....	89
4.2.1.1	Especificaciones técnicas (caso 1).....	89
4.2.1.2	Cálculo de la cantidad de luminarias con el método de los lúmenes (caso 1)...	90
4.2.1.3	Cálculo del consumo eléctrico esperado según datos de las luminarias sugeridas (caso 1)	95
4.2.2	Análisis de la segunda propuesta (caso 2)	96
4.2.2.1	Especificaciones técnicas (caso 2).....	97
4.2.2.2	Cálculo de la cantidad de luminarias por el método de los lúmenes (caso 2)...	98

4.2.2.3	Cálculo del consumo eléctrico esperado según los datos de las luminarias propuestas (caso 2)	101
4.2.3	Análisis de tercera propuesta (caso 3)	102
4.2.3.1	Especificaciones técnicas (caso 3)	102
4.2.3.2	Cálculo de la cantidad de luminarias con el método de los lúmenes (caso 3).	104
4.2.3.3	Cálculo del consumo eléctrico esperado según el dato de las luminarias propuestas (caso 3)	106
4.2.3.1	Análisis de la cuarta propuesta	107
4.2.4	Cálculos del VAN y la TIR de propuestas de modernización de la iluminación.....	107
4.2.4.1	Planteamiento general.....	107
4.2.4.2	Determinación de gastos y ahorros para cada caso	108
4.2.4.3	Determinación de los flujos netos de efectivo.....	113
4.2.4.4	Cálculo de la tasa interna de retorno (TIR)	114
4.2.4.5	Cálculo del valor actual neto (VAN)	116
4.3	Diseño del sistema fotovoltaico.....	119
4.3.1	Parámetros de cálculo.....	119
4.3.1.1	Estudio de las necesidades por cubrir.....	119
4.3.1.2	Horas pico solar.....	119
4.3.1.3	Cálculo de la cantidad de módulos fotovoltaicos	120
4.3.1.4	Cálculo del número óptimo de módulos fotovoltaicos.....	120
4.3.1.5	Cálculo del inversor	122
4.3.1.6	Cálculo del arreglo de paneles fotovoltaicos	124
4.3.1.7	Ángulo de inclinación	125
4.3.1.8	Cálculo estructural de los módulos	125
4.3.1.9	Cálculo del cableado	125
4.3.1.10	Cálculo de las protecciones.....	129
4.3.1.11	Diagrama de la instalación fotovoltaica.....	130
4.3.1.12	Diagrama de instalación de paneles solares	130
4.3.2	Soportería.....	131
4.4	Cálculo de los costos por mantenimiento	132
4.5	Cálculo de la cobertura mensual del sistema fotovoltaico.....	133
4.6	Costo del proyecto	142

4.7	Cálculo de los flujos netos de efectivo, VAN y TIR.....	143
4.7.1	Determinación de flujos netos de efectivo incluyendo un sistema de iluminación led 147	
4.8	Análisis de resultados	149
4.9.1	Evaluación del sistema de iluminación existente	149
4.8.2	Análisis caso 1	150
4.8.3	Análisis del caso 2.....	151
4.8.4	Análisis del caso 3	152
4.9	Sistema fotovoltaico	153
4.9.1	Parámetros de cálculo.....	153
4.9.2	Cálculo del inversor.....	154
4.9.3	Cálculo de los costos por mantenimiento.....	155
4.9.4	Cálculo de la cobertura mensual.....	156
4.9.5	Costo del proyecto	157
4.9.6	Cálculo de los flujos netos de efectivo, el VAN y la TIR	158
4.9.7	Determinación de flujos netos de efectivo excluido el consumo por iluminación..	159
	Conclusiones	160
	Recomendaciones	163
	ANEXOS	165
	Anexo 1.....	166
	Anexo 2.....	167
	Anexo 3.....	168
	Anexo 5.....	169
	Anexo 6.....	170
	Anexo 7.....	171
	Anexo 8.....	172
	Anexo 9.....	174
	Anexo 10	175
	Anexo 11	176
	Anexo 12	177
	Anexo 13	178
	Anexo 14	181

Anexo 15	182
Anexo 16	183
Anexo 17	186
Anexo 18	189
Anexo 19	191
Anexo 20	193
Anexo 21	194
Anexo 22	196

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Tipos de luminarias instaladas.	13
Tabla 2: Histórico de facturación eléctrica.	17
Tabla 3: Datos meteorológicos de la ubicación del edificio.....	17
Tabla 4: Categorías de trabajo	27
Tabla 5: Valores de servicios de iluminación, recomendados para diversas clases de tarea visual..	28
Tabla 6: Relación entre iluminación general y localizada.	29
Tabla 7: Valores mínimos de servicio de iluminación (LUX)	29
Tabla 8: Características más importantes de cada sistema de alumbrado.	34
Tabla 9: Factores de diseños por tener en cuenta para la selección del tipo de lámpara	35
Tabla 10: Criterios de clasificación de luminarias normalmente usados.....	37
Tabla 11: Calificación CIE de luminarias de acuerdo con la distribución del	39
Tabla 12: Factor de reflexión.	43
Tabla 13: Ejemplo de tabla para factor de utilización.....	43
Tabla 14: Factor de mantenimiento.....	44
Tabla 15: clasificación de los sistemas de control de luces.	45
Tabla 16: Identificación de los tubos fluorescentes según el diámetro.	51
Tabla 17: Tonalidad de color, lámparas fluorescentes.	51
Tabla 18: Comparación entre lámparas fluorescentes T8 y lámparas T8 con led tipo SMD 3528. .	58
Tabla 19: Comparación Lámparas fluorescentes T8 y lámparas T8 con led tipo SMD 3528.	58
Tabla 20: Comparación entre lámparas fluorescentes T8 y lámparas T8 con led tipo SMD 3528. .	59
Tabla 21: Comparación entre lámparas fluorescentes T8 y lámparas T8 con led tipo SMD 3528. .	59
Tabla 22: Cantidad y potencia de las luminarias instaladas.	86
Tabla 23: Estimación de costos del sistema de iluminación actual.	86
Tabla 24: Coeficiente de mantenimiento para el método de los lúmenes.....	90
Tabla 25: Tabla de corrección	91
Tabla 26: Tabla resumen cantidad de luminarias nivel 4 propuesta 1.	93
Tabla 27: Tabla resumen cantidad de luminarias nivel 3 propuesta 1.	94
Tabla 28: Tabla resumen cantidad de luminarias nivel 2 propuesta 1.	94
Tabla 29: Tabla resumen cantidad de luminarias nivel 1 propuesta 1.	95
Tabla 30: Estimación del consumo eléctrico propuesta 1	96
Tabla 31: Estimación del consumo eléctrico propuesta 1 con cantidad real	96
Tabla 32: Tabla de corrección	99
Tabla 33: Tabla resumen cantidad de luminarias nivel 4 propuesta 2.	100
Tabla 34: Tabla resumen cantidad de luminarias nivel 3 propuesta 2	100
Tabla 35: Tabla resumen cantidad de luminarias nivel 2 propuesta 2.	101
Tabla 36: Tabla resumen cantidad de luminarias nivel 1 propuesta 2.	101
Tabla 37: Estimación consumo eléctrico por iluminación, propuesta 2.	102
Tabla 38: Tabla de corrección	104
Tabla 39: Tabla resumen cantidad de luminarias nivel 4 propuesta 3.	105
Tabla 40: Tabla resumen cantidad de luminarias nivel 3 propuesta 3.	105
Tabla 41: Tabla resumen cantidad de luminarias nivel 2 propuesta 3.	106

Tabla 42: Tabla resumen cantidad de luminarias nivel 1 propuesta 3.	106
Tabla 43: Estimación del consumo eléctrico por iluminación, propuesta 3.	107
Tabla 44: Costo de propuesta 1 real, basado en oferta anexo 1	109
Tabla 45: Índice de precios de servicios: electricidad.....	111
Tabla 46: Inflación interanual calculada a partir del IPS: electricidad	112
Tabla 47: Índice de precios de servicios: salarios.	112
Tabla 48: Índice de precios de servicios: salarios.	112
Tabla 49: Flujo de efectivo para el caso 1.....	113
Tabla 50: Flujo de efectivo para el caso 1.1.....	113
Tabla 51: Flujo de efectivo para el caso 2.....	114
Tabla 52: Flujo de efectivo para el caso 3.....	114
Tabla 53: Tabla de energía producida por los módulos fotovoltaicos para el medidor 1.	122
Tabla 54: Tabla de energía producida por los módulos fotovoltaicos para el medidor 2.	122
Tabla 55: Comportamiento del medidor 1 a 100%	136
Tabla 56: Comportamiento del medidor 1 a 75%	137
Tabla 57: Comportamiento del medidor 1 al 50%.....	138
Tabla 58: Comportamiento del medidor 2 al 100%.....	139
Tabla 59: Comportamiento del medidor 2 al 75%.....	140
Tabla 60: Comportamiento del medidor 2 al 50%	141
Tabla 61: Flujo neto de efectivo, VAN y TIR. Proyecto a 100%.....	144
Tabla 62: Flujo neto de efectivo, VAN y TIR. Proyecto a 75%.....	145
Tabla 63: Flujo neto de efectivo, VAN y TIR. Proyecto a 50%.....	146
Tabla 64: Tabla resumen. Proyecto combinado de iluminación con paneles solares.	148

LISTA DE GRÁFICOS Y FIGURAS

Figura 1: Nivel 1, edificio administrativo.	14
Figura 2: Nivel 2. Edificio administrativo.	15
Figura 3: Nivel 3. Edificio administrativo.	15
Figura 4: Nivel 4. Edificio Administrativo.	16
Figura 5: Oficina tipo colmena 21	21
Figura 6: Oficina tipo celular 21	21
Figura 7: Oficina tipo reunión. 22	22
Figura 8: Oficina tipo club. 23	23
Figura 9: Oficina tipo lobby. 24	24
Figura 10: Sistema de alumbrado general; Sistema de alumbrado localizado; 32	32
Figura 11: Rendimiento luminoso y por hemisferios. 38	38
Figura 12: Representación polar de la distribución luminosa de una luminaria. 40	40
Figura 13: Calculo de índice del local. 42	42
Figura 14: Esquema de mantenimiento. 48	48
Figura 15: elementos que afectan la apariencia del color. 49	49
Figura 16: Clasificación de las fuentes luminosas. 50	50
Figura 17: Esquema de un sistema aislado de la red. 70	70
Figura 18: Esquema de sistema conectado a la red. 72	72
Figura 19: Diagrama de flujo Marco Metodológico 83	83
Figura 20: Luminarias instaladas de 2 tubos fluorescentes T8. 85	85
Figura 21: Luminarias instaladas de 3 tubos fluorescentes T8. 85	85
Figura 22: características del tubo led GELMA560A840AGE98460..... 89	89
Figura 23: características del balastro D-GELD36DMV70 GE66904 90	90
Figura 24: Especificaciones luminarias propuesta 2 (LED-ELC-24-BW) 97	97
Figura 25: Luminaria LED-ELC-24-BW 97	97
Figura 26: Especificaciones luminaria LDLG36L2SP40. 98	98
Figura 27: Luminaria LDLG36L2SP40. 98	98
Figura 28: Especificaciones panel led SQ 45W.....103	103
Figura 29: Luminaria panel led SQ 45W103	103
Figura 30: Gráfico costo de la iluminación.111	111
Figura 31: Tiempo recuperación de la inversión Caso 1.117	117
Figura 32: Tiempo recuperación de la inversión Caso 1.1.117	117
Figura 33: Tiempo recuperación de la inversión Caso 2.118	118
Figura 34: Tiempo recuperación de la inversión Caso 3.118	118
Figura 35: Tabla resumen del VAN y la TIR.118	118
Figura 36: Horas solares pico en San Pedro, Noviembre.120	120
Figura 37: Arreglo Fotovoltaico por cada inversor.124	124
Figura 38: Información técnica inversor TRIO-20.0-TL-OUTD126	126
Figura 39: Extracto de la tabla 310.16 NEC126	126
Figura 40: Extracto de la tabla 310.16 NEC128	128
Figura 41: Ejemplo de protecciones por utilizar.129	129

Figura 42: Diagrama de instalación fotovoltaica. -----	130
Figura 43: Diagrama instalación de paneles fotovoltaicos. -----	130
Figura 44. Ejemplo de instalación de panel sobre el techo. -----	131
Figura 45: Rieles para montaje en techo. -----	131
Figura 46: Tornillo universal para instalación de paneles. -----	132
Figura 47: Techo utilizable para instalación de paneles. -----	132
Figura 48: Gráfico del tiempo de recuperación de la inversión. Proyecto a 100 % -----	144
Figura 49: Grafico del tiempo de recuperación de la inversión. Proyecto al 75 %-----	145
Figura 50: Gráfico del tiempo de recuperación de la inversión. Proyecto a 50 %-----	146

RESUMEN EJECUTIVO

En el siguiente trabajo se realizó la evaluación del sistema de iluminación existente en un edificio administrativo ubicado en San Pedro, San José, con el objetivo conocer la rentabilidad de implementar luminarias de ahorro energético con mayor eficiencia. Se efectuó el diseño de iluminación interior por el método de los lúmenes con tres opciones y se calculó el ahorro que representaría cada propuesta en comparación con el consumo actual.

Con el costo de la inversión inicial y el ahorro proyectado se definieron los flujos de efectivo para utilizar las herramientas de valoración de proyectos VAN y TIR.

Luego se realizó el diseño óptimo de un sistema fotovoltaico para alimentar el edificio, para dicho diseño se utilizó el método del mes con menor radiación y se comprobó si cubre las condiciones en el resto del año. El sistema que se diseñó estará conectado a la red de servicio público de modo que se tenga un sistema de generación distribuida para auto consumo.

Se estudiaron las leyes vigentes en nuestro país encargadas de establecer las condiciones técnicas, contractuales, comerciales y tarifarias con las cuales se brindará acceso a la interconexión con el Sistema Eléctrico Nacional.

Se realizó un análisis de las cargas y el consumo diario y mensual promedio; con base en dicha información se procedió a realizar los cálculos para dimensionar el sistema que se deberá instalar; los módulos fotovoltaicos, los inversores, el cableado y las protecciones.

Se estudiaron las condiciones climáticas en la zona donde se desea implementar el sistema fotovoltaico y se utilizaron los valores brindados por estaciones meteorológicas para

el diseño de este, se vio cómo utilizar el concepto de radiación y de horas solar pico, los cuales son de suma importancia en términos de diseño de sistemas fotovoltaicos.

Se definió el número de módulos fotovoltaicos que deben interconectarse para lograr la potencia requerida por el sistema y se realizó el arreglo de módulos para alcanzar los valores de tensión e intensidad óptimos para la operación del inversor, para esto los cálculos fueron basados en los datos técnicos tanto de los módulos como del inversor seleccionado.

Por último, se realizó un análisis económico, utilizando los conceptos de valor actual neto y tasa interna de retorno, con base en esto se definió el tiempo que tomará recuperar la inversión. El análisis considerará las tarifas de la compañía de servicio público y el incremento en su facturación contra el ahorro generado por la implementación del sistema, considerando la inversión inicial, los gastos de mantenimiento y la vida útil del equipo.

1. Introducción

El edificio al que corresponde este estudio se ubica en el cantón de Montes de Oca, específicamente en el distrito de San Pedro. Es una estructura de cuatro niveles con un auditorio anexo en el costado oeste. Los niveles uno y cuatro son exclusivamente para labores administrativas, divididos en su mayoría en oficinas de tipo celular, con un horario de ocho de la mañana a cinco de la tarde de lunes a viernes y sábados de ocho de la mañana a doce medio día. En el nivel tres se encuentran tres aulas de 80 m^2 , aproximadamente, cada una con capacidad para sesenta personas y una sala de juntas también de 80 m^2 . Aparte de esto, el resto del piso está destinado a oficinas, igual que en los niveles antes mencionados. Estos tres pisos cuentan con sistemas de aire acondicionado en cada oficina de capacidades variables, los cuales permanecen encendidos durante el horario de oficina.

El segundo nivel es para uso exclusivo de un gimnasio del cual la mitad del área se utiliza para máquinas de ejercicio cardiovascular energizadas con voltajes variables de 120 V y 240 V, según los requerimientos de cada máquina. La otra mitad de este nivel está destinada a entrenamiento con pesas, en donde ninguno de los equipos requiere conexión eléctrica.

El edificio cuenta con un ascensor que se utiliza durante todo el día con constancia, ya que los funcionarios y visitantes se desplazan con regularidad entre los diferentes niveles y pocas veces lo hacen por las escaleras.

Por otro lado está el auditorio, el cual tiene un área de 385 m^2 , donde el mayor consumo que se presenta es por iluminación, pero no es de uso regular, sino más bien para eventos especiales como incorporaciones al colegio o graduaciones.

El inmueble cuenta con tres medidores eléctricos, uno de ellos para el llamado centro ejecutivo, que se ubica en el primer piso y que actualmente está fuera de funcionamiento por tiempo indefinido. Es por esta razón que se ha decidido dejarlo por fuera en este estudio.

Actualmente la mayor parte de la iluminación del edificio es con luminarias de lámparas fluorescentes tipo T8, por lo que se evaluará si cambiar a una tecnología más reciente es rentable económicamente, y si conviene la implementación de un sistema fotovoltaico conectado a la red para disminuir el monto por factura eléctrica.

2. Título del seminario de graduación

Diseño de un sistema fotovoltaico y propuesta de modernización del sistema de iluminación de un edificio administrativo.

3. Problema

¿Cuál es el diseño apropiado de un sistema fotovoltaico y la mejor propuesta de modernización del sistema de iluminación de un edificio administrativo ubicado en el cantón de Montes de Oca?

4. Justificación

De acuerdo con la tendencia actual a utilizar energías limpias y renovables para ayudar al ambiente a disminuir gases de efecto invernadero, como el CO_2 , y a su vez para obtener beneficios económicos con la reducción de la factura eléctrica, la administración del edificio en cuestión ha decidido sumarse a esa causa. Por tal motivo en el presente proyecto investigativo se evalúa la posibilidad de instalar paneles fotovoltaicos y de cambiar el sistema de iluminación por sistemas de mayor eficiencia, como la tecnología *led* o fluorescentes de más eficiencia, para lo cual se va a realizar un estudio de factibilidad y el diseño del proyecto.

También es importante mencionar que con la nueva norma AR-NT-POASEN de interconexión al sistema eléctrico nacional se ha proliferado la instalación de sistemas fotovoltaicos, ya que este sistema se ha hecho más llamativo a modo de inversión para diferentes instituciones y comercios. Por ello este proyecto se enfoca en el cálculo del total de la inversión por realizar y en el tiempo de su recuperación, así como en el diseño más acertado para el requerimiento de cada institución.

5. Objetivos

5.1 Objetivo general

Efectuar el diseño de un sistema fotovoltaico y especificar la rentabilidad de cambiar el tipo de luminarias en un edificio administrativo ubicado en el cantón de Monte de Oca, en la provincia de San José.

5.2 Objetivos específicos

- Evaluar el tipo de luminarias instaladas y valorar si el cambio a *led* es rentable.
- Investigar sobre diferentes tipos de luminarias existentes en el mercado nacional y valorar cuál es la mejor opción en cuanto a costo-beneficio.
- Comparar el consumo de energía eléctrica actual con el proyectado para después de la instalación de luminarias de ahorro energético.
- Dimensionar el total de paneles fotovoltaicos requeridos y el espacio disponible, así como el tipo de inversor por utilizar en el diseño.
- Definir el costo del proyecto y la viabilidad por medio de recolección de información de diferentes proveedores, tanto con paneles fotovoltaicos como con luminarias.

6. Alcances

Como producto de esta investigación se entregará un diseño eléctrico de la interconexión de los paneles solares entre ellos, un diagrama unifilar del edificio y el diseño del sistema de iluminación propuesto; además de un estudio financiero en el que se desglosarán el costo total del proyecto, el ahorro que representará y el tiempo de recuperación de la inversión.

No se incluye lo relativo a la implementación del proyecto ni a su supervisión y tampoco lo correspondiente a compra de materiales.

7. Limitaciones

Para los análisis y rediseños propuestos se toma en cuenta la cantidad de luminarias requeridas para cada área que satisfaga los niveles de luminosidad que exige la norma; no así el cálculo del espaciamiento entre luminarias y la temperatura del color de ella.

El estudio se basa en la posibilidad de cambiar las luminarias existentes por alguna opción más eficiente, pero manteniendo o mejorando las condiciones actuales de luminosidad y, sobre todo, su rentabilidad. Esta propuesta no incluye ninguna mejora o intervención en el cableado o cambio de protecciones del sistema actual. Por el contrario, se busca que la cantidad de luminarias que se instale sea igual o inferior a la que ya existe, para utilizar los mismos retornos, interruptores y circuitos eléctricos.

El limitado acceso a la información sobre radiación solar en Costa Rica dificulta hacer un cálculo más completo con respecto a la cantidad de paneles fotovoltaicos requeridos. Por ejemplo, en países con más desarrollo en este campo existen aplicaciones que facilitan los datos por áreas correspondientes a la latitud y longitud, mientras que en Costa Rica para obtener este dato se debe pagar.

El edificio cuenta con tres mediciones eléctricas independientes pero se excluye de este proyecto el área correspondiente a centro de ejecutivo, ya que no está actualmente en uso y no genera consumo de importancia.

El espacio destinado a la instalación de los paneles solares es el techo del edificio, del cual solo es aprovechable la parte más alta que cuenta con alrededor de 630 m^2 , ya que hay dos techos más abajo pero estos no son viables por problemas con las sombras.

8. Antecedentes

Título: Diseño de un sistema eléctrico fotovoltaico para una comunidad aislada.

Autor: Carlos Roberto Prado

Año: 2008

Institución: Universidad de Costa Rica

El autor plantea como objetivo elaborar una propuesta para la implementación de un sistema fotovoltaico autónomo centralizado de generación eléctrica para la comunidad de la Isla Cartí, en el Golfo de San Blas, Panamá. El sistema deberá poder abastecer las cargas existentes, conectadas actualmente a un sistema eléctrico con una fuente térmica de generación. Dicha fuente se aprovechará como una fuente de respaldo para el sistema. En la primera parte se proponen como fuente de energía alternativa las celdas solares fotovoltaicas que producen electricidad a partir de la radiación solar, y se explican varias ventajas y desventajas de este tipo de tecnología.

En la segunda parte del trabajo se analizan los cálculos de dimensionamiento de los componentes necesarios para la implementación, como son el voltaje de la instalación, el consumo eléctrico real, los paneles solares, las estructuras de soporte, los reguladores de carga, los inversores y la topología del sistema.

Son importantes también los históricos de irradiación solar en la zona en donde se desean instalar los paneles. Esto es de vital importancia en los diseños de este tipo ya que la eficiencia depende directamente de la cantidad de sol y de maximizar la cantidad de horas de exposición este.

Este proyecto será de gran ayuda para el cálculo de los componentes del sistema y como guía de diseño. Se deben conseguir los históricos de irradiación solar para sacar la eficiencia real de cada panel y con base en eso hacer los cálculos de potencia.

Autor: Guillermo Gonzalo

Año: 2010

Institución: Universidad de Chile

Título: Plan de negocios para la implementación de energía solar fotovoltaica para la industria en Chile

En este caso el autor expone un plan de negocios que fue planteado como la venta de una solución energética para autoconsumo basada en tecnología solar, la cual será un complemento de la demanda eléctrica de clientes industriales que deseen incorporar en sus procesos productivos conceptos de producción limpia, sustentable y renovable. Hoy en día existen cada vez más restricciones para los productos exportados. La creciente preocupación por consumir productos elaborados en un proceso controlado, sostenible en el tiempo y amigable con el medioambiente es una de las nuevas exigencias. La incorporación de medios de generación de electricidad renovables, como la energía solar, se transforman en alternativas energéticas por evaluar e implementar. La posibilidad de producir bienes con un suministro de energía limpia genera inmediatamente cambios en la imagen de la empresa y mejora la percepción de los clientes, junto con el beneficio económico de producir energía a un precio razonablemente estable en el tiempo.

El actual déficit de generación eléctrica, la dependencia de combustibles fósiles y la tendencia al alza de los precios de la energía están haciendo a la industria menos

competitiva, por lo que las soluciones fotovoltaicas para autoconsumo se transforman en proyectos factibles de ser evaluados y construidos.

En el estudio de mercado de este plan de negocios se identificó un segmento de empresas con vocación exportadora, a saber, frutas, alimentos, vinos, pisco, leche y aceite de oliva, entre otras, potencialmente interesadas en este tipo de soluciones. Otras industrias no fueron consideradas, como las mineras, las productoras de cerdos, aves, celulosa, y las acuícolas, debido a que empresas proveedoras, locales e internacionales, y de soluciones solares de gran escala, han iniciado gestiones y negociaciones con este sector. Una vez segmentado el mercado de empresas exportadoras por atributos de ubicación geográfica, volumen de exportaciones y ventas al extranjero, se obtuvo un número de 120 empresas clasificadas como “grandes” y “grandes contribuyentes”, que son compañías integrantes del segmento objetivo de este plan. La oferta de valor propuesta se fundamenta en los conceptos de autoconsumo de energía renovable y limpia, lo que brinda adicionalmente un cambio en la imagen de la compañía y un cambio en la percepción de sus clientes, junto con una razonable estabilidad de precios debido a su baja variabilidad. Esta propuesta traspasa los atributos de sustentabilidad y producción limpia (propios de una planta fotovoltaica) a los procesos productivos, e incorpora así un elemento diferenciador y una ventaja competitiva a la compañía que adquiera la solución energética. Este plan de negocios se desarrolló con la metodología Canvas, poniendo énfasis en el análisis interno y del entorno. Se analizaron el plan de operaciones, el plan de adquisiciones, el plan financiero, el plan de recursos humanos y el plan de *marketing*. Los resultados generaron un programa de ventas para un horizonte de cinco años por la venta de una solución modular de 50 kWp escalable a 100 kWp. Para una participación de mercado de 33% del mercado objetivo el VAN estimado fue

de M\$ 24.263 y la TIR de 17%. Finalmente se llega a la conclusión de que existe factibilidad de incorporar la solución solar fotovoltaica para autoconsumo. El logro de este plan estará en captar la atención de los clientes industriales y seducir con la propuesta de valor concreta. En este sentido, el plan de *marketing* y el equipo de ventas son un factor importante de éxito del plan.

El trabajo presentado anteriormente se relaciona con este de manera directa, ya que aborda el estudio financiero de evaluación de proyectos y está enfocado en un sector del comercio dentro del cual se puede encasillar el edificio en estudio, así como por su similitud de carga eléctrica.

Autor: María Susana Benjumea Mesa

Año: 2009

Institución: Escuela de Ingeniería de Antioquia.

Título: Propuesta para la implementación del sistema LED para la iluminación pública en Antioquia

Esta tesis se refiere a que la iluminación a base de LED (*Light Emitting Diode*) se puede considerar una nueva tecnología de iluminación que presenta numerosos beneficios con respecto a los diferentes tipos de iluminación que se encuentran en el mercado.

Las luminarias *led* consumen aproximadamente 50% menos energía que las lámparas tradicionales. Tienen una vida útil aproximada de 100.000 horas (6 veces más que las lámparas de sodio tradicionales). La temperatura del color que emite es más blanca y agradable a los ojos y no posee elementos tóxicos y contaminantes que generen daños al ambiente.

El del alumbrado público es un tema de especial interés en todos los países del mundo ya que representa una gran porción del consumo energético, y su adecuada utilización asegura seguridad para los transeúntes y conductores.

Iluminar las vías de las ciudades del mundo con lámparas *led* resulta un buen negocio tanto para el ambiente como para los países, ya que aunque la inversión inicial de implementar este nuevo sistema de iluminación es sumamente alta, en ese caso se puede demostrar que la recuperación por el ahorro de energía se logrará en pocos años.

De acuerdo con la investigación realizada, en la cual se tomaron los valores requeridos de iluminación para dos tipos de vías, se demuestra que para una vía de poco tránsito, que usa lámparas de 70w de sodio de alta presión, el reemplazo adecuado es de una lámpara de 45w a base de *led*. Y para una avenida que utiliza lámparas de sodio de alta presión de 150w el reemplazo adecuado con lámparas *led* sería de 90w. Con estas sustituciones, y con proyecciones del precio de la energía, del precio de las lámparas y del precio de la mano de obra, se demostró que la recuperación de la inversión -dado el gran ahorro de energía que las lámparas *led* presentan-, se daría en un periodo de entre 6 y 8 años, y de ahí en adelante el ahorro se consideraría como utilidad para el Estado o el operador de la vía, si se trata de concesiones.

En el caso de realizarse la sustitución de las luminarias tradicionales por *led* se presenta una disminución del consumo de la energía de aproximadamente 50% y los costos por mantenimiento se reducen en 100%. La reducción del consumo energético representa para el ambiente una mejor conservación de los recursos naturales.

Estos resultados se utilizarán en el cálculo del ahorro de energía eléctrica con el cambio a iluminación *led* en el edificio de que trata esta tesis.

CAPÍTULO I

DIAGNÓSTICO

1.1 Diagnóstico

Este proyecto se divide en dos etapas, la primera de las cuales corresponde a la evaluación de las luminarias instaladas en el edificio actualmente. Se deben conocer su eficiencia, flujo luminoso y consumo eléctrico. Estos valores se deberán comparar con los de las luminarias más modernas, y evaluar si es rentable cambiarlas. Esto, midiendo el consumo eléctrico actual de iluminación con respecto al consumo previsto en diferentes escenarios y haciendo un cálculo financiero mediante el VAN y la TIR.

El edificio tiene actualmente instalados seis tipos de luminarias con diferentes características luminosas y eléctricas, distribuidas en todo el edificio. Se sugerirán al menos tres modelos para eventualmente sustituirlas.

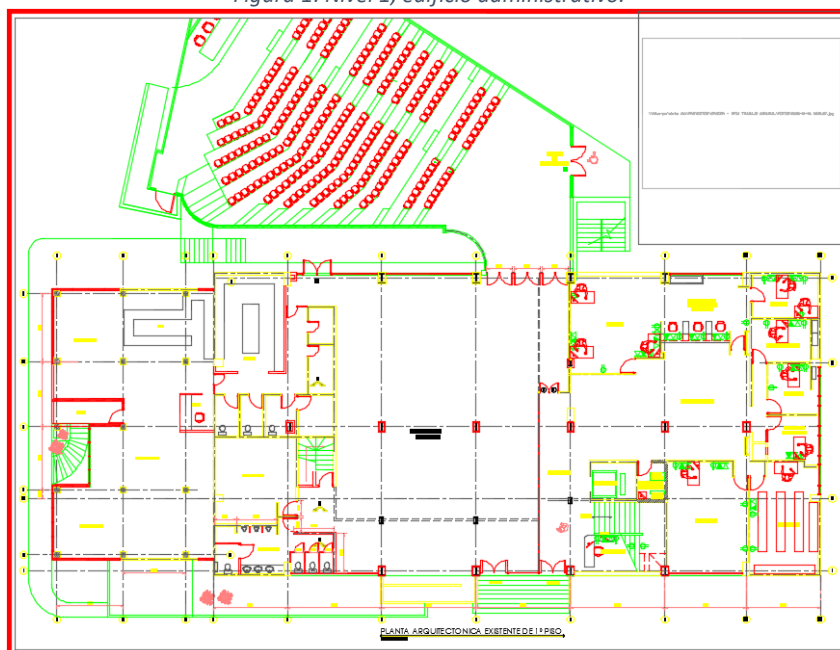
Tabla 1: Tipos de luminarias instaladas.

Tipo Luminaria	cantidad	Potencia (W)
2x2	113	80
2x4	242	112
CFL	99	15
MR16	7	84
T12	2	144
DOWN LIGHT	50	14,4

Fuente propia

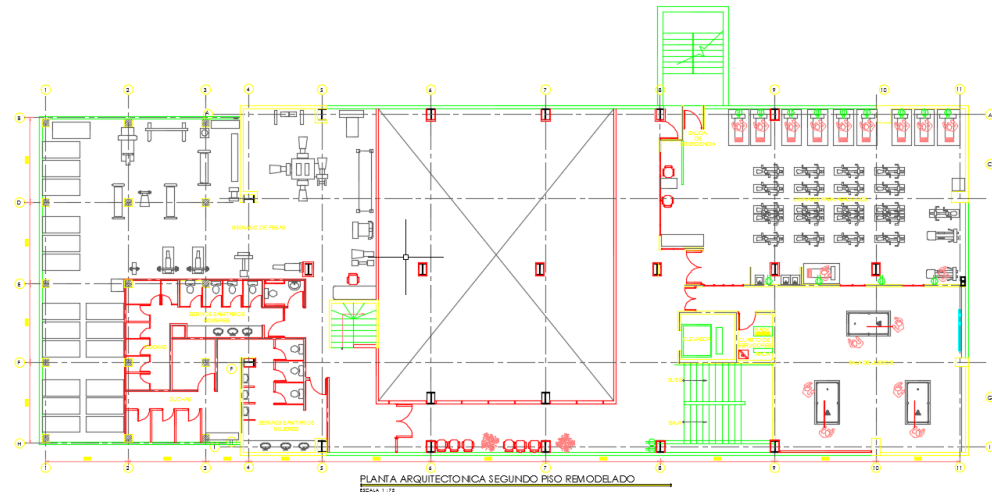
Se han conseguido las plantas arquitectónicas del edificio con el fin de mejorar la distribución y asignación de las áreas.

Figura 1: Nivel 1, edificio administrativo.



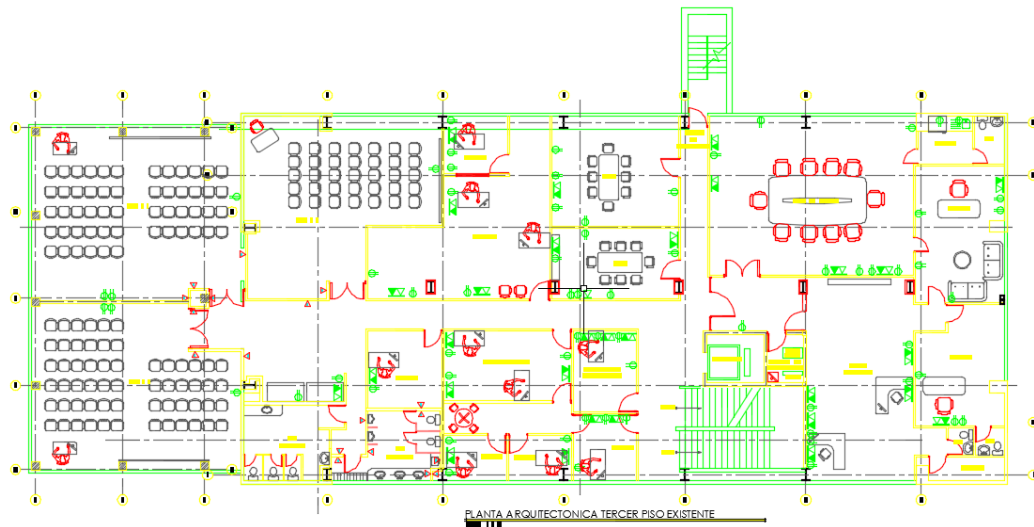
Fuente: Oficina de Administración General

Figura 2: Nivel 2. Edificio administrativo.



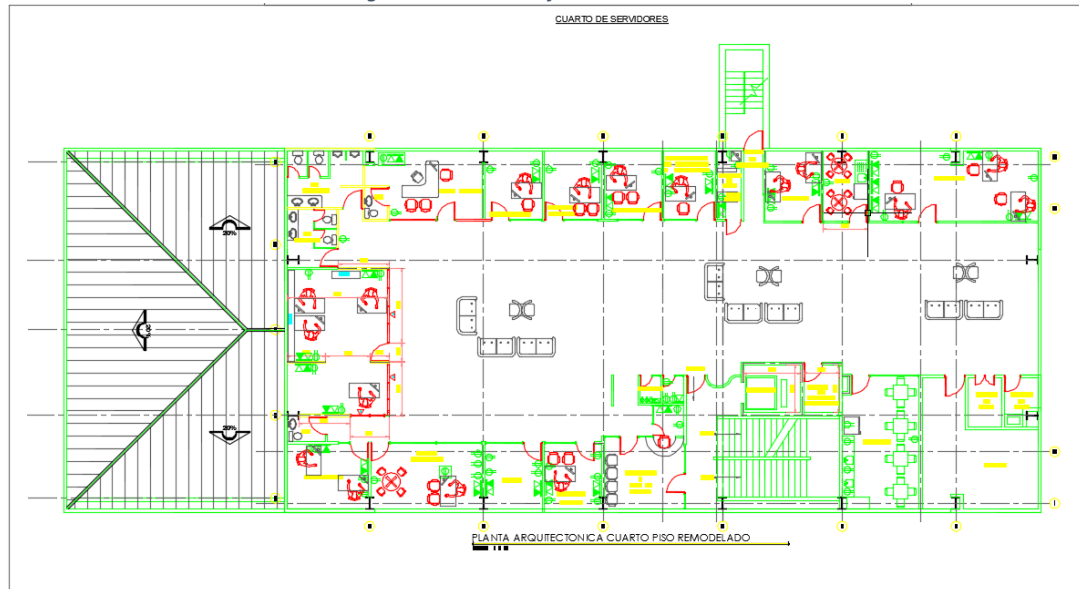
Fuente: Oficina de Administración General

Figura 3: Nivel 3. Edificio administrativo.



Fuente: Oficina de Administración General

Figura 4: Nivel 4. Edificio Administrativo.



Fuente: Oficina de Administración General

Habiendo finalizado la etapa anterior y con base en la propuesta final, se pasa a la segunda fase, que consiste en realizar el diseño de un sistema fotovoltaico conectado a la red, es decir, basado en la regulación de generación distribuida, con el objetivo de bajar los costos de la energía eléctrica. Para ello se ha conseguido el histórico de la facturación eléctrica del que se obtendrá el consumo en kWh del edificio. También es importante conocer el dato de cantidad de irradiación solar en la zona de San Pedro, por lo que se consultó una página de la NASA en la que se insertan los valores de latitud y longitud de la ubicación de interés. Así se obtiene un histórico anual de esta cantidad.

Otro dato que se debe tomar en cuenta es el área aprovechable del edificio para la instalación de paneles fotovoltaicos, en este caso el techo que tiene un área de aproximadamente 612 m^2 , según las mediciones realizadas.

Tabla 2: Histórico de facturación eléctrica.

Consumo Energetico del Año 2016					
312960			442445		
Mes	Energía (kWh)	Importe en Colones	Mes	Energía (kWh)	importe en colones
ene-16	10720	¢1.723.715	ene-16	4880	¢627.790
feb-16	11520	¢1.811.910	feb-16	4280	¢580.970
mar-16	12000	¢1.907.495	mar-16	4680	¢631.265
abr-16	12480	¢2.096.520	abr-16	5480	¢786.680
may-16	13920	¢2.126.250	may-16	6760	¢922.240
jun-16	14080	¢2.204.185	jun-16	5960	¢843.805
jul-16	12640	¢2.242.845	jul-16	5040	¢744.525
ago-16	11520	¢2.124.090	ago-16	4560	¢724.610
sep-16	13280	¢2.181.960	sep-16	5240	¢801.125
oct-16	12960	¢2.045.695	oct-16	5080	¢751.045
nov-16	12320	¢1.842.900	nov-16	4720	¢703.425
dic-16	11200	¢1.807.160	dic-16	3960	¢644.300
ene-17	7040	¢1.143.830	ene-17	3440	¢515.355
feb-17	11520	¢1.520.520	feb-17	4440	¢587.815
Anual			235720		
Pomedio KW			19643,33333		
Promedio ¢			¢3.053.669		

Fuente: Departamento de Contabilidad.

Tabla 3: Datos meteorológicos de la ubicación del edificio.

Month	Air temperature	Relative humidity	Daily solar radiation horizontal	Atmospheric pressure	Wind speed	Earth temperature	Heating degree-days	Cooling degree-days
	°C	%	kWh/m2/d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
January	23.4	78.8%	4.75	96.7	4.5	24.0	0	428
February	23.9	74.9%	5.25	96.7	4.3	24.9	0	403
March	24.4	73.0%	5.78	96.6	4.1	26.0	0	456
April	24.8	75.2%	5.16	96.6	3.4	26.5	0	451
May	24.6	83.9%	4.38	96.6	2.7	25.7	0	459
June	24.5	86.3%	4.35	96.6	2.7	25.6	0	441
July	24.3	86.0%	4.20	96.7	3.0	25.4	0	451
August	24.3	86.0%	4.09	96.7	3.0	25.4	0	451
September	24.2	85.8%	4.27	96.6	2.7	25.3	0	434
October	23.9	86.1%	3.90	96.6	2.7	24.9	0	440
November	23.7	85.2%	3.88	96.6	3.2	24.4	0	420
December	23.4	83.1%	4.33	96.6	4.2	23.8	0	428
Annual								
	24.1	82.0%	4.53	96.6	3.4	25.2	0	5262
Measured at (m)								
					10.0	0.0		

Fuente: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin>

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Iluminación de oficinas

En la industrializada sociedad actual, la tendencia a tener más trabajadores de oficina y menos obreros en las fábricas es bastante clara. En 1900, 20% de los empleados “profesionales” eran trabajadores de cuello duro y en la actualidad más de la mitad de la población activa trabaja en oficinas. La evolución de esta sociedad de oficinas no ha tenido lugar sin la aparición de nuevas ideas, en las cuales lo que predomina es crear un ambiente humano. En su mayor parte, estas ideas estaban influenciadas por el impulso económico, como por ejemplo la necesidad de incrementar la eficiencia y el desarrollo de una nueva tecnología para oficinas, con sus requisitos inherentes a procesos de información.¹

Según esta guía técnica, desde el punto de vista energético y medioambiental se puede destacar que, aunque el peso específico de la iluminación respecto al consumo total de energía de una oficina varía entre 20% y 40% según la zona geográfica donde se ubique, se puede estimar que esta tiene un potencial de ahorro energético de hasta 40%.

Por tanto, es muy importante la utilización de iluminación eficiente mediante luminarias de alto rendimiento, que incorporen equipos de bajo consumo y lámparas de alta relación lumen/watt, unidas al uso de sistemas de regulación y control adecuados a las necesidades del local por iluminar, lo que permitirá tener unos buenos niveles de confort sin sacrificar la eficiencia energética.

2.2 Organización de oficinas

¹ Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación. Oficinas.

Las oficinas se pueden organizar, estructurar y amueblar de muy diversas maneras. El concepto que se adopte en una oficina concreta dependerá en gran medida de la organización en cuestión, de la autonomía de los empleados (trabajo en solitario o en equipo), la autonomía del departamento, y la importancia y el impacto requeridos de las comunicaciones internas y externas.

Se han comparado numerosos conceptos de oficina diferentes de todo el mundo, e identificado una serie de patrones. En consecuencia, se propone un modelo conceptual en el que se definen cinco funciones de oficina básicamente distintas: colmena, celular, reunión, club y *lobby*.

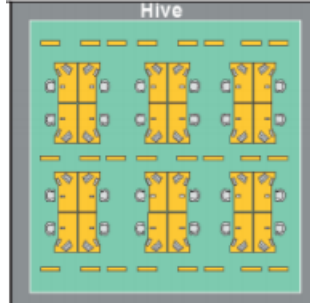
2.2.1 Colmena

La función colmena se caracteriza por el trabajo individual, de procesos sistemáticos, y por el carácter repetitivo de ellos. En general, los empleados disponen de una autonomía limitada, confirmada por la estructura jerárquica de la organización. La comunicación entre los individuos no es en absoluto esencial, ya que todos tienen su responsabilidad limitada y sus tareas claramente definidas. Ejemplos típicos son las oficinas de administración, las de atención o información al público y las salas de operaciones de los bancos. Las distribuciones arquetípicas son la planta abierta y la planta abierta con cabinas. La infraestructura de este tipo de oficina se orienta a la creación de puestos de trabajo con el mínimo gasto posible.

Debido a las dimensiones que tienen este tipo de oficinas los niveles de iluminación que se recomiendan serán más elevados que los correspondientes a oficinas más pequeñas; procurando que los planos verticales de las paredes no queden oscuros. Así, durante las horas en las que se cuenta con aporte de luz natural, las paredes próximas a lados

acristalados entran en este nivel asegurado; pero, debido a las grandes dimensiones de la sala, no ocurrirá lo mismo con los lados opuestos a las ventanas.

Figura 5: Oficina tipo colmena



Fuente: <http://www.idae.es/tecnologias/eficiencia-energetica>

2.2.2 Celular

La oficina de tipo celular acoge a empleados que desarrollan un trabajo individual que requiere un grado relativamente alto de concentración. La necesidad de comunicación entre compañeros no es demasiado importante. Las oficinas celulares están, por lo tanto, orientadas a favorecer la concentración de la gente en el trabajo. La inversión en infraestructura es considerablemente más alta que bajo el concepto colmena.

En ellas se debe tener especial precaución en alcanzar los niveles de iluminación requeridos para la realización de la tarea sin grandes esfuerzos visuales. Al contrario que en las oficinas tipo colmena, el tamaño normalmente reducido de las oficinas celulares hace que no aparezcan brillos molestos directos en el campo de visión de los trabajadores.

Figura 6: Oficina tipo celular



Fuente: <http://www.idae.es/tecnologias/eficiencia-energetica>

2.2.3 Reunión

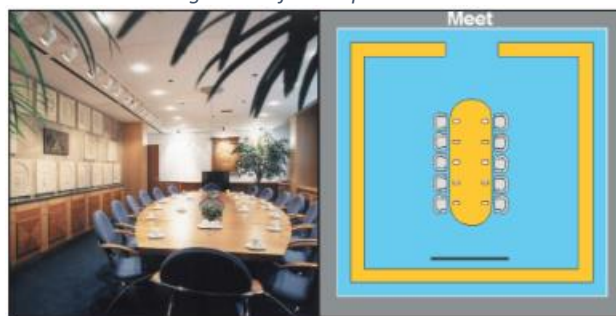
Casi todas las organizaciones de oficinas cuentan con áreas expresamente dedicadas a la función reunión. En estas zonas lo esencial es la comunicación interna de los equipos.

Se debe proporcionar al espacio la suficiente flexibilidad en el alumbrado para que las tareas que se llevarán a cabo en la sala se realicen según el grado de la actividad visual:

- Conversación
- Proyección de diapositivas
- Proyección de vídeo
- Lectura de documentos.

También se deberá tener en cuenta la iluminación de los paramentos verticales. Normalmente se encontrarán sobre ellos cuadros, fotos o incluso noticias de interés. Sin duda las pizarras, presentes en prácticamente todas las salas de reuniones, se han de tratar con especial atención: el plano que debe ser iluminado es un plano vertical, en muchas ocasiones con un alto índice de reflexión que puede hacer irrealizable la tarea.

Figura 7: Oficina tipo reunión.



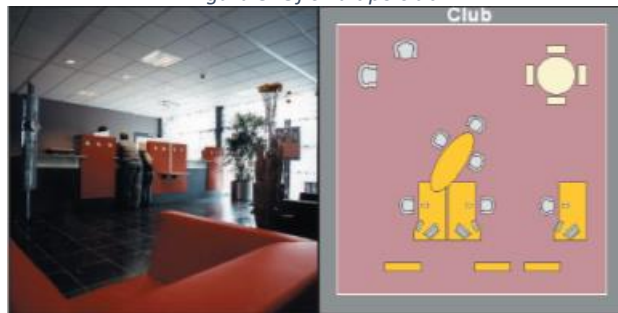
Fuente: <http://www.idae.es/tecnologias/eficiencia-energetica>

2.2.4 Club

Una de sus características es la integración de las tareas de comunicación y trabajo concentrado. Este modelo se suele caracterizar por la responsabilidad compartida de los trabajadores en el rendimiento de su departamento.

Las actividades que se realizan en este tipo de oficinas son una combinación de lo expresado en el caso de la oficina tipo colmena y de las salas de reunión. En lo que se refiere a la flexibilidad, según lo expresado en el caso de la sala de reunión (en lo referido a los posibles problemas de deslumbramiento directo y posibles brillos reflejados en las pantallas), se ha de tratar como en las oficinas del tipo colmena.

Figura 8: Oficina tipo club.



Fuente: <http://www.idae.es/tecnologias/eficiencia-energetica>

2.2.5 Lobby

Está presente en todos los edificios de oficinas. En este caso la importancia de la comunicación es escasa. El área sirve de canal de transporte entre varias salas y departamentos. Es un espacio compartido por todos los empleados y en ocasiones tiene una función representativa. Además de los pasillos ascensores y escaleras, el patio, el vestíbulo, la biblioteca y la cafetería también forman parte del *lobby* de un edificio de oficinas.

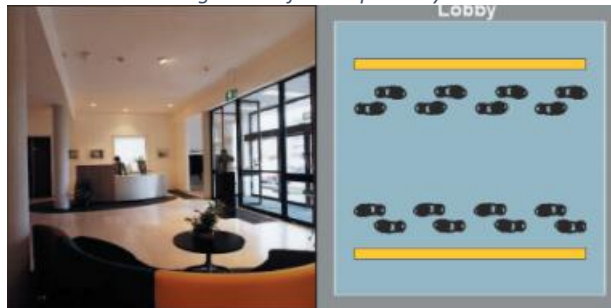
Dentro del *lobby* se encuentran lugares de actividad visual baja:

- Pasillos

- Hall
- Comedores
- Cafeterías
- Zonas de espera y paso
- Aseos
- Archivos.

En lo referido a vestíbulos, pasillos y escaleras se tiene que tener en cuenta que para muchas oficinas son como las tarjetas de presentación, pues es una de las zonas que más clientes visitan y de las que se llevan una grata o desagradable impresión de la empresa. La iluminación debe ser, por tanto, acorde con la imagen que se quiera dar de la oficina, prestando especial atención a elementos decorativos que se deseen destacar.

Figura 9: Oficina tipo lobby.



Fuente: <http://www.idae.es/tecnologias/eficiencia-energetica>

2.3 Norma INTECO 31-08-2000. Segunda edición

Se refiere a los niveles y condiciones de iluminación que deben tener los centros de trabajo, de tal forma que esta no sea un factor de riesgo y provoque daños a la salud de los

trabajadores al realizar sus actividades.² Establece el valor de servicio de iluminación artificial para distintos tipos de locales, tanto en función del destino del local como de la dificultad de la tarea visual por realizarse. Esta tiene su campo de aplicación en Costa Rica y es una adaptación de la norma argentina “iluminación artificial de interiores Niveles de iluminación” IRAM-AADL J 20-06.

2.3.1 Requerimientos

2.3.1.1 Para el empleador

- Efectuar el reconocimiento, la evaluación y el control de la iluminación del centro de trabajo.
- Cuantificar los niveles de iluminación aplicando los métodos establecidos en las normas nacionales o, en ausencia de estas, normas internacionales.
- Acondicionar la iluminación en los centros de trabajo de acuerdo con la presente norma e instalar las luminarias en una posición apropiada para permitir el proceso y los movimientos del personal.
- Conocer las características de su centro de trabajo y el tipo de actividades para proporcionar la iluminación apropiada como se establece en la tabla 3.
- Darle mantenimiento constante a los equipos con el fin de que el nivel de iluminación se conserve de acuerdo con lo establecido en esta norma.
- Cuando por las características de los procesos productivos de los centros de trabajo se empleen lámparas especiales, se debe cumplir con lo siguiente:

² Norma INTECO 31-08-2000, segunda edición, objeto.

a) En las instalaciones de lámparas localizadas con fines específicos (germicidas, bactericidas o que generen radiaciones que pudieran producir daños a la salud de los trabajadores), el empleador debe establecer las medidas adecuadas para proteger al trabajador.

b) La instalación de la iluminación debe ser de acuerdo con las necesidades del proceso y deben cumplir con las condiciones de seguridad para su instalación.

2.3.1.2 Para el trabajador

- Cumplir con las medidas de seguridad e higiene establecidas por el empleador.
- Colaborar con los exámenes médicos que se le practiquen por parte del empleador.

2.3.2 Condiciones generales

2.3.2.1 Valor de servicio de iluminación artificial

El valor de servicio de la iluminación artificial en un local, sobre el plano de trabajo, ya sea este horizontal, vertical o inclinado, debe ser el establecido en la tabla 1, de acuerdo con la dificultad de la tarea visual; o, en la tabla 3, de acuerdo con el destino del local.

La tabla 1 establece una clasificación de tarea en términos generales. Se debe usar para estimar los valores requeridos en el caso de tareas que no han sido incluidas en la tabla 3.

Para determinar el valor por utilizar de las tres iluminaciones se debe seguir el siguiente procedimiento.

Para establecer un valor apropiado de iluminación el diseñador debe estar familiarizado con el diseño interior y con las características de los futuros ocupantes. La reflectancia del fondo del trabajo, de 0 a 100%, es importante en la selección de la

iluminación. Además, el diseñador debe poder especificar la edad de los trabajadores y con el cliente la importancia de la velocidad y precisión para el desempeño de la tarea. Con esta información el diseñador puede determinar los factores de peso apropiados al aplicar el siguiente procedimiento:

Paso 1. Dado que la categoría de iluminación apropiada ha sido seleccionada, determine cada uno de los tres factores de peso (-1, 0, +1), para la edad de los trabajadores, la importancia de la velocidad y precisión, y la reflectancia del fondo del trabajo, según se establece a continuación:

Tabla 4: Categorías de trabajo
Para categorías de la Tabla 1

Características del trabajo y el trabajador	Factor de peso		
	-1	0	+1
Edad de los trabajadores	Debajo de los 40	40-55	Más de 55
Velocidad y precisión	No importante	Importante	Crítica
Reflectancia del fondo del trabajo	Mas del 70 %	30 a 70 %	Menos de 30%

Fuente: Norma INTECO INTE 31-08-06-00

Paso 2. Sume los tres factores de peso juntos.

Paso 3. Si la suma de los tres factores de peso es -2 ó -3 , use la menor de las tres iluminaciones en el rango; si es $+2$ o $+3$, use la más alta; si es -1 , 0 , $+1$, use la iluminación de la tabla 1.

Tabla 5: Valores de servicios de iluminación, recomendados para diversas clases de tarea visual.

Clase de tarea visual	Iluminación sobre el plano de trabajo (lux)	Ejemplos típicos de tareas visuales
Visión ocasional Solamente	100 –150-200	Para permitir movimientos seguros por ejemplo en lugares de poco tránsito; sala de calderas, depósito de materiales toscos y voluminosos y armarios;
Tareas intermitentes ordinarias y fáciles, con contrastes fuertes	200–300-500	Trabajos toscos, intermitentes y mecánicos, inspección general y contado de partes de inventario, colocación de maquinaria pesada;
Tareas moderadamente críticas y prolongadas, con detalles medianos	500-750-1000	Trabajos medianos, mecánicos y manuales, inspección y montajes. Trabajos comunes de oficina, tales como: lectura, escritura, archivo;
Tareas severas y prolongadas, y de poco contraste	1000-1500-2000	Trabajos finos, mecánicos y manuales, montaje e inspección; pintura extrafina, costura de ropa oscura;
Tareas muy severas y prolongadas, con detalles minuciosos o muy poco contraste	2000-3000-5000	Montaje e inspección de mecanismos delicados, fabricación de herramientas y matrices; inspección con calibre, trabajo de molienda fina;
Tareas excepcionales difíciles e importantes	5000-7500-10000	Trabajo fino de relojería y reparación;
	10000-15000- 20000	Casos especiales, como ejemplo: iluminación del lugar de operación en una sala de cirugía.

Fuente: Norma INTECO INTE 31-08-06-00

2.3.2.2 Iluminación localizada

Dentro de la zona de trabajo la iluminación localizada deberá tener una uniformidad de por lo menos 0,8 entre su nivel mínimo y su nivel máximo. Cuando se usan combinadas, iluminación general y localizada, los valores para cada una de ellas serán los indicados en la tabla siguiente:³

³ Norma INTECO 31-08-2000 segunda edición, Iluminación localizada.

Tabla 6: Relación entre iluminación general y localizada.

Iluminación localizada (lux)	Iluminación general (lux)
250	125
500	250
1000	300
2500	500
5000	600
10000	700

Fuente: Norma INTECO INTE 31-08-06-00

Tabla 7: Valores mínimos de servicio de iluminación (LUX)

Tipo de edificio, local y tarea visual	Valor mínimo de servicio de iluminación (lux)
Oficinas	
Halls para el público	200
Cartografía, proyecto, dibujos detallados	1000
Contaduría, tabulaciones, teneduría de libros, operaciones bursátiles, lectura de reproducciones, bosquejos rápidos	500
Trabajo general de oficinas, lectura de buenas reproducciones, lectura, transcripción de escritura a mano en papel y lápiz ordinario, archivo, índices de referencia, etc.	500
Trabajos especiales de oficina, por ejemplo, sistema de computación de datos	750
Sala de Conferencia	300
Circulaciones	200

Fuente: Norma INTECO INTE 31-08-06-00

2.4 Concepto de iluminación eficiente

Hasta no hace mucho el diseño de iluminación implicaba suministrar luz en cantidades apropiadas a fin de posibilitar la realización de las tareas con alto rendimiento visual. El aspecto cualitativo se limitaba, eventualmente, a eliminar o reducir posibles efectos de deslumbramiento. Sin embargo, el descubrimiento de que la luz no solo afecta las capacidades visuales de las personas sino también su salud y bienestar, por un lado, y el vertiginoso desarrollo tecnológico de fuentes luminosas, dispositivos ópticos y sistemas de

control y la necesidad de utilizar los recursos energéticos de manera más eficiente, por otro, le dieron al concepto de diseño un perfil notablemente más cualitativo.

Teniendo en cuenta ese nuevo enfoque se puede decir que un sistema de iluminación eficiente es aquel que, además de satisfacer necesidades visuales, crea también ambientes saludables, seguros y confortables; posibilita a los usuarios disfrutar de atmósferas agradables, emplea apropiadamente los recursos tecnológicos (fuentes luminosas, luminarias, sistemas ópticos, equipos de control, etc.), y hace un uso racional de la energía para contribuir a minimizar el impacto ecológico y ambiental; todo esto, por supuesto, dentro de un marco de costos razonables, que no solamente deben incluir las inversiones iniciales sino también gastos de explotación y mantenimiento.⁴

2.5 Diseño de iluminación interior

2.5.1 Datos de entrada

- Dimensiones del local.
- Altura del plano de trabajo.
- Reluctancias.
- Niveles de iluminación.

A continuación se describe brevemente cada uno, indicando el orden del procedimiento:

a) Dimensiones del local:

⁴ Raitelli, M. *Diseño de la Iluminación de Interiores*.

Se debe disponer de los planos del (de los) ambiente (s) por iluminar para obtener toda la información de las medidas del área, que son la longitud (l), el ancho (a) y la altura total (H) de dicho ambiente.

b) Altura del plano de trabajo

El plano de trabajo es la superficie real o imaginaria situada a una cierta distancia del piso. En ella estará situado el objetivo por iluminar o se realizará la actividad principal del local.

Por lo general para los efectos de diseño, mientras no se indique lo contrario, se establecerá un plano de trabajo “tipo” a una altura de 0,75 metros del piso.

c) Reflectancias

La reflexión de una superficie es el porcentaje de la cantidad de luz que se refleja de la superficie.

Las superficies con colores claros tendrán reflexiones mayores que las superficies con acabados oscuros. Por lo tanto, se deben determinar las reflexiones del piso, pared y techo según sus colores o acabados.

d) Nivel de iluminación

Un adecuado nivel de iluminación dependerá de la actividad y de la demanda visual. Los niveles de iluminación pueden seleccionarse por medio de tablas recomendadas realizadas por varias sociedades y estudios de luminotecnia. Son aquellos que definen los

valores principales para los distintos tipos de cálculo por realizar en el proceso de diseño detallado.

Para el caso de iluminación de interiores habrá algunas diferencias respecto a los puntos de diseño en comparación con el diseño de exteriores.⁵

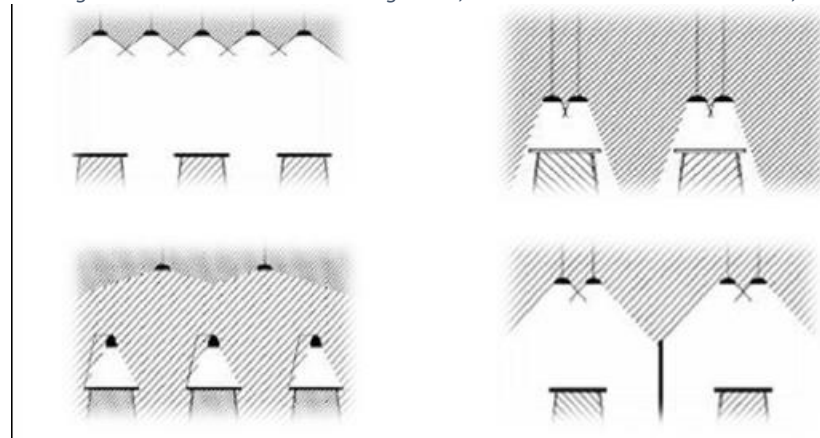
2.5.2 Elección del sistema de alumbrado

La principal función de definir un sistema de alumbrado consiste en determinar cómo y en qué forma el diseñador va a tomar en cuenta la distribución y el emplazamiento de las luminarias y la luz.

En este proceso no hay un procedimiento específico, ya que depende totalmente del criterio o de la arquitectura del área por iluminar.

En la figura 10 se muestran los principales sistemas de alumbrado utilizados en instalaciones de iluminación de interiores.

Figura 10: Sistema de alumbrado general; Sistema de alumbrado localizado;



Fuente: Raitelli, M. *Diseño de la Iluminación de Interiores*.

⁵ Raitelli, M. *Diseño de la Iluminación de Interiores*.

El sistema de alumbrado general (figura 10) se caracteriza por proveer una iluminación uniforme en todo el espacio, ya que las luminarias se distribuyen en planta en forma regular y equidistante. Esto conduce a un mayor consumo de energía por alumbrado, en especial en instalaciones de grandes dimensiones, como por ejemplo locales de planta abierta.

Este tipo de iluminación brinda al ambiente un aspecto ordenado y produce efectos de modelado bastante blandos, es simple de diseñar y no requiere coordinación con el esquema de distribución de los puestos de trabajo. Si se trata de salas en donde se prevé utilizar paneles divisorios o muebles de altura considerable, puede ser necesario modularizar también el arreglo de luminarias (figura 10), a fin de minimizar los efectos de proyección de sombras sobre el plano de trabajo.

En el caso de alumbrado localizado (figura 10) el arreglo de luminarias se diseña para proveer valores de iluminación altos solamente en las áreas de trabajo, y en sectores que interesa destacar, tales como accesos, áreas con riesgo de accidentes, lugares en donde se quiere crear efectos decorativos, etc., y se deja el resto de la instalación con niveles menores. Esto reduce considerablemente la carga energética en comparación con el sistema de alumbrado general, pero el diseño es más complejo puesto que se necesita coordinar con el esquema de ocupación del espacio y, además, hay que cuidar que el desbalance de iluminancias no produzca efectos distractivos, cansancio visual, o que afecte la estética del espacio.

Tabla 8: Características más importantes de cada sistema de alumbrado.

Sistema de alumbrado	Disposición de luminarias	Características luminotécnicas
General	Uniforme	Altos niveles de iluminación en todo el espacio. Excelente uniformidad. Reducción de contrastes y brillos. Minimiza la proyección de sombras.
Modularizado	Uniforme por sectores	Alto nivel de iluminación en cada sector. Excelente uniformidad. Reducción de contrastes. Minimiza la proyección de sombras.
Localizado	Irregular	Nivel alto de iluminación solo en áreas de interés. Uniformidad baja. Contrastes elevados. Puede causar proyecciones de sombra.
General y localizado	Uniforme (general) e irregular (localizado)	Iluminación relativamente alta en áreas de interés. Uniformidad baja. Contrastes elevados. Puede causar proyecciones de sombras.

Fuente: Raitelli, M. Diseño de la Iluminación de Interiores.

2.5.3 Elección de las fuentes luminosas

Para la selección de lámparas hay que tener en cuenta todos sus parámetros y características funcionales. Sin embargo, es suficiente considerar solo los factores de diseño relacionados con el rendimiento luminoso, las características cromáticas, la vida útil y el tiempo de encendido.

En la tabla 8 se indican los requerimientos del diseño por tener en cuenta en relación con cada uno de esos parámetros.

Tabla 9: Factores de diseños por tener en cuenta para la selección del tipo de lámpara

Características de las fuentes luminosas	Requerimientos o factores de diseño por tener en cuenta
Rendimiento luminoso [lm/W]	Tiempo diario de funcionamiento
	Uso racional de la energía
Temperatura de color [°K]	Necesidades de ambientación
	Demandas psicológicas
Índice de respuesta al color	Demandas estéticas
	Reproducción de colores
	Apariencia de objetos
Vida útil [horas]	Tiempo diario de funcionamiento
	Frecuencia de encendido-apagado
	Requerimientos de apagado
Tiempo de encendido	Tiempo de puesta de la iluminación
	Demandas de seguridad
	Requerimientos de mantenimiento

Fuente: Raitelli, M. *Diseño de la Iluminación de Interiores*.

2.6 Diseño detallado

2.6.1 Selección de luminarias

El tipo más conveniente se determina sobre la base de consideraciones técnicas, estéticas y, por supuesto, económicas. Aunque siempre deben considerarse los tres factores, hay que establecer prioridades en función de los requerimientos del diseño.

El mercado ofrece una amplia variedad de luminarias que permiten satisfacer prácticamente cualquier tipo de demanda. Sin embargo, hay que tener en cuenta que las luminarias se diseñan para funcionar con determinados tipos de lámparas. Esto significa que

una vez definido el tipo de fuente el universo de artefactos disponibles se reduce. Lo mismo ocurre con las lámparas si primero se define el tipo de luminaria, de manera que la elección debe hacerse en forma conjunta. En la tabla 10 se indican los distintos criterios que normalmente se utilizan para identificar los tipos de luminarias.

En instalaciones de alumbrado, y con el propósito de ahorrar energía, se reduce con bastante frecuencia al reemplazo de lámparas por otras más eficientes, pero sin cambiar la luminaria. Por ejemplo, es común sustituir lámparas de mercurio por sodio de alta presión o fuentes incandescentes por fluorescentes compactas de menor potencia pero con similar flujo luminoso. Se puede demostrar fácilmente que esta estrategia es muy conveniente económicamente.

De manera que hay que tener un análisis fotométrico y colorimétrico con las nuevas fuentes a fin de verificar que la distribución espacial de la luz y la reproducción de colores no se modifiquen, de tal modo que afecten las condiciones de iluminación y visión. Por otro lado, es importante también controlar que el eventual cambio en la apariencia del espacio no produzca efectos negativos a las personas.

Tabla 10: Criterios de clasificación de luminarias normalmente usados.

Criterio de clasificación	Tipo de luminaria	Ejemplos típicos
Uso	Alumbrado general	Luminarias fluorescentes (lineales o compactas), campanas.
	Alumbrado localizado	Lámparas de mesa, <i>spots</i> p/iluminación de obras de arte.
	Alumbrado decorativo	Luminarias de estilo, colgantes, apliques.
	Señalización y emergencia	Letreros luminosos, luces de emergencia.
	Especiales	Luminarias estancas (sumergibles), capsuladas (p/ambientes explosivos)
	Incandescentes (convencionales y halógenas de bajo voltaje)	Luminarias de mesa, <i>spots</i> , apliques y colgantes.
Tipo de fuente de luz	Fluorescentes (lineales y compactas)	Plafones y colgantes, <i>downlights</i> , <i>uplights</i> , bañadores.
	Descarga en gas (tubulares y elipsoidales)	Proyectores, campanas.
	Conductores de luz	Fibras ópticas, lumiductos.
Dimensiones	Puntual	<i>Spots</i> p/lámparas halógenas de baja tensión
	Extensa	Fluorescentes lineales
Tipo de montaje	Fijo	Módulos lineales fluorescentes integrados, cielorrasos luminosos, pozos de luz, gargantas y molduras
	Móvil	Proyectores, luminarias p/rieles electrificados
	Sin cerramiento	plafones y colgantes abiertos, campanas

Fuente: Raitelli, M. *Diseño de la Iluminación de Interiores*.

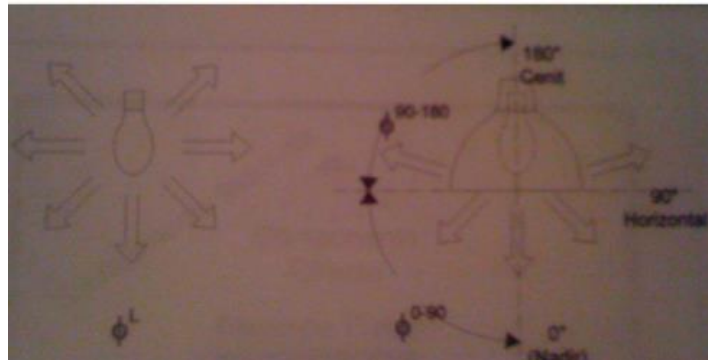
2.6.2 Características fotométricas de las luminarias

Desde el punto de vista fotométrico, los aspectos que interesan para la selección de una luminaria son el rendimiento luminoso y la distribución luminosa.

2.6.2.1 Rendimiento luminoso

Este factor expresa la relación entre el flujo luminoso emitido por el artefacto y el flujo de las lámparas que contiene. En general, interesa el rendimiento total y por hemisferios. El hemisferio inferior comprende desde la posición de nadir (0°) hasta la horizontal (90°), mientras que el superior, desde la horizontal (90°) hasta la posición del cenit (180°), según se puede ver en la figura 11.

Figura 11: Rendimiento luminoso y por hemisferios.



Fuente: Raitelli, M. *Diseño de la Iluminación de Interiores*.

El rendimiento luminoso total es una medida de la eficiencia energética de una luminaria, pero no ofrece mucha información acerca de cómo es la distribución espacial de la luz. Cuando se aplican estrategias de ahorro de energía basadas en reemplazo de lámparas, como se indicó en la sección anterior, se debe analizar la influencia de la modificación en el rendimiento de la luminaria.

Tabla 11: Calificación CIE de luminarias de acuerdo con la distribución del Flujo luminoso hacia el inferior y superior, respectivamente.

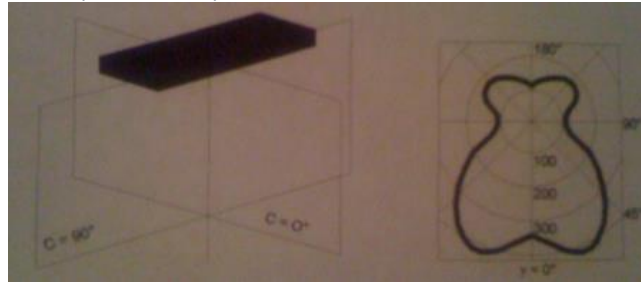
Tipo de luminaria	Distribución del flujo por hemisferios % superior % inferior	Características
Directa	 0 – 10 90 – 100	Alta eficiencia energética. Posibilita buena uniformidad y balance de claridades en el campo visual. Con distribución concentrada puede requerir alumbrado suplementario para aumentar la iluminancia en superficies verticales. El cielorraso o la cavidad sobre el plano de montaje pueden resultar poco iluminados.
Semi-directa	 10 – 40 60 – 90	Reduce el contraste de luminancias con el cielorraso. No deben instalarse demasiado cerca del cielorraso para evitar áreas de alta luminancia que podrían resultar distractivas, perturbadoras y afectar la estética del ambiente.
Difusa	 40 – 60 40 – 60	Combinadas entre tipos directa y semi-directa pero con menor eficiencia energética. Produce buenas relaciones de claridad y suavizado de sombras. Puede ocasionar deslumbramiento aunque su efecto es compensado por la componente reflejada (difusa). Requiere altas reflectancias de paredes y cielorraso.
Directa-indirecta	 40 – 60 40 – 60	Es un caso especial del tipo difusa pero con una eficiencia energética un poco mayor. Estas luminarias emiten poco flujo en ángulos próximos a la horizontal, lo cual reduce las luminancias en la zona de deslumbramiento.
Semi-indirecta	 60 – 90 10 – 40	Similares al tipo semi-directo pero con una eficiente energética un poco mayor. Estas luminarias emiten poco flujo en ángulos próximos a la horizontal, lo cual reduce las luminancias deslumbrantes y el contraste de claridades.
Indirecta	 90 – 100 0 – 10	Elimina virtualmente las sombras y el deslumbramiento directo y reflejado pero tiene baja eficiencia energética. Requiere altas reflectancias de paredes y cielorraso y un adecuado programa de mantenimiento de artefactos y superficies.

Fuente: Raitelli, M. *Diseño de la Iluminación de Interiores*

2.6.2.2 Curva de distribución luminosa

La representación espacial de las intensidades luminosas de una luminaria permite determinar cómo se distribuye el flujo luminoso en un local. Esta información se presenta en forma gráfica (normalmente utilizando coordenadas polares) y también tabular para distintos planos, como se indica en la figura 12.

Figura 12: Representación polar de la distribución luminosa de una luminaria.



Fuente: Raitelli, M. *Diseño de la Iluminación de Interiores*.

Como generalmente las luminarias de alumbrado interior tienen distribución espacial de intensidades con simetría de rotación, para su representación es suficiente un solo plano.

La distribución de intensidades luminosas se utiliza, fundamentalmente, para realizar cálculos de iluminación, pero también en la selección de luminarias es muy útil.⁶

2.7 Cálculo de iluminación

El cálculo de la iluminación de interiores comprende la determinación del flujo luminoso total que incide en un punto o en una superficie. Este flujo se compone de dos partes, la primera de las cuales corresponde a la fracción que llega directamente desde las luminarias (componente directa); la otra involucra la cantidad de luz proveniente de las múltiples reflexiones que tienen lugar en los objetos y las superficies que delimitan el

⁶ Raitelli, M. *Diseño de la Iluminación de Interiores*.

espacio, y que pueden considerarse como fuentes secundarias (componente indirecta o interreflejada).

2.7.1 Método de los lúmenes

Existen múltiples métodos para calcular la iluminación pero es de principal interés este método por simplicidad y exactitud.

Procedimiento empleado en iluminación para determinar el número y el tipo de luminarias o lámparas que se necesitan para proveer un nivel medio de iluminación deseada sobre el plano de trabajo, teniendo en cuenta tanto el flujo luminoso directo como el reflejado. También es llamado método de la cavidad zonal.⁷

Este método es el más sencillo de entender y utilizar con resultados muy coherentes. Se basa en conceptos básicos y normas según en donde se aplique.

2.7.1.1 Cálculo del flujo luminoso total necesario

La fórmula que se debe emplear es la siguiente:⁸

$$\Phi_T = \frac{E_m * S}{C_u * C_m}$$

Donde:

E_m = nivel de iluminación medio (en LUX). Se debe tomar de la norma INTE 31-08-06-2000, niveles y condiciones de iluminación que deben tener los centros de trabajo, para el caso de Costa Rica.

Φ_T = flujo luminoso que un determinado local o zona necesita (en LÚMENES)

⁷ Diccionario de arquitectura y construcción, definiciones y traducciones.

⁸ Blanca Jiménez, Vicente; Aguilar Rico, Mariano. Iluminación y color.

S = superficie por iluminar (en m^2).

Este flujo luminoso se ve afectado por unos coeficientes de utilización (C_u) y de mantenimiento (C_m), que se definen a continuación:

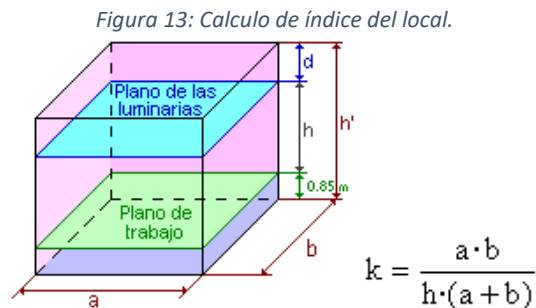
C_u = Coeficiente de utilización. Es la relación entre el flujo luminoso recibido por un cuerpo y el flujo emitido por la fuente luminosa. Lo proporciona el fabricante de la luminaria.

C_m = Coeficiente de mantenimiento. Es el cociente que indica el grado de conservación de una luminaria.

2.7.1.2 Cálculo de los coeficientes

Cálculo del índice del local

A partir de la geometría de este se calcula como:



Fuente: <http://recursos.citcea.upc.edu/llum/interior>

Donde k es un número comprendido entre 1 y 10. A pesar de que se pueden obtener valores mayores de 10 con la fórmula no se consideran, pues la diferencia entre usar diez o un número mayor en los cálculos es despreciable.

Coeficiente de reflexión

Estos valores se encuentran normalmente tabulados para los diferentes en techo, paredes y suelo de tipos de materiales, superficies y acabado.

Tabla 12: Factor de reflexión.

	Color	Factor de reflexión (ρ)
Techo	Blanco o muy claro	0.7
	claro	0.5
	medio	0.3
Paredes	claro	0.5
	medio	0.3
	oscuro	0.1
Suelo	claro	0.3
	oscuro	0.1

Fuente: <http://recursos.citcea.upc.edu/llum>

Factor de utilización

A partir del índice del local y de los factores de reflexión, este valor se encuentra tabulado y lo suministran los fabricantes. En las tablas se encuentran para cada tipo de luminaria los factores de iluminación en función de los coeficientes de reflexión y el índice del local.

Tabla 13: Ejemplo de tabla para factor de utilización.

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (η)								
		Factor de reflexión del techo								
		0.7			0.5			0.3		
		Factor de reflexión de las paredes								
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1
	1	.28	.22	.16	.25	.22	.16	.26	.22	.16
	1.2	.31	.27	.20	.30	.27	.20	.30	.27	.20
	1.5	.39	.33	.26	.36	.33	.26	.36	.33	.26
	2	.45	.40	.35	.44	.40	.35	.44	.40	.35
	2.5	.52	.46	.41	.49	.46	.41	.49	.46	.41
	3	.54	.50	.45	.53	.50	.45	.53	.50	.45
	4	.61	.56	.52	.59	.56	.52	.59	.56	.52
	5	.63	.60	.56	.63	.60	.56	.62	.60	.56
	6	.68	.63	.60	.66	.63	.60	.65	.63	.60
	8	.71	.67	.64	.69	.67	.64	.68	.67	.64
	10	.72	.70	.67	.71	.70	.67	.71	.70	.67

Fuente: <http://recursos.citcea.upc.edu>

Factor de mantenimiento

También es conocido como factor de conservación de la instalación. Este coeficiente dependerá del grado de suciedad ambiental y de la frecuencia de la limpieza del local.

Tabla 14: Factor de mantenimiento.

Ambiente	Factor de mantenimiento (f_m)
Limpio	0.8
Sucio	0.6

Fuente: <http://recursos.citcea.upc.edu/llum/interior/iluint2.html>

Cálculo de la cantidad de luminarias

La fórmula por utilizar es la siguiente:⁹

$$NL = \frac{\Phi_T}{n * \Phi_L}$$

Donde:

N_L = número de luminarias

Φ_T = flujo luminoso total necesario en la zona o local

Φ_L = flujo luminoso de una lámpara (se toma del catálogo)

n = número de lámparas que tienen las luminarias

2.8 Control de la iluminación

El control de luces responde a dos tipos de demandas. La primera, el uso racional de la energía, es una condición indispensable para cualquier proyecto que tenga como objetivo la iluminación eficiente y se satisface ajustando la cantidad de luz por niveles de iluminancia o por tiempo de uso (preferiblemente ambos), de acuerdo con los requerimientos de cada momento. La otra exigencia surge de la necesidad de dar flexibilidad en la iluminación de locales con funciones variadas, por ejemplo, en salas de conferencias.

⁹ Blanca Jiménez, Vicente; Aguilar Rico, Mariano. Iluminación y color.

Para implementar un control eficaz hay que programar las escenas de luz, es decir, los esquemas funcionales de encendido o regulación del flujo de grupos de luminarias que permiten satisfacer las diferentes demandas de iluminación. Para ello deben determinarse claramente las necesidades de iluminación. Estas pueden variar por las distintas funciones del local.

Tabla 15: clasificación de los sistemas de control de luces.

Tipo de control	Estrategia de control	Dispositivo de comando	Características
Manual	Regulación escalonada	Interruptor de montaje sobre pared	Posibilita el ajuste por pasos del nivel de iluminación.
	Regulación continua	Atenuador (<i>dimer</i>)	Permite ajuste continuo del nivel de iluminación. Generalmente incorpora la función interruptor. Puede tener montaje fijo (sobre pared) o móvil (remoto).
	Programable	Unidad de control multicanal	Permite programar escenas de luz que se conectan accionando pulsadores locales o remotos.
Automático	Local	Unidad de control multicanal	Automatiza el control de un solo local o zona del edificio.
	Central	Unidad de control multicanal	Integra el control de varias zonas. Se puede incorporar a un sistema de gestión integral de energía y servicios (edificios inteligentes).

Fuente: Raitelli, M. Diseño de la Iluminación de Interiores.

El sistema de control automático puede ser local o central, según controle una o varias zonas, respectivamente.

En el primer caso el sistema se integra con los siguientes componentes:

- Sistemas de sensores: generan señales en función del valor de la magnitud de censado.
- Canal de comunicación (bus de sensores): transportan las señales de los sensores hacia la unidad de control.

- Unidad local de control: contiene un procesador que recibe las señales de los sensores y, en función de los niveles de operación preestablecidos, determina el estado de actuación (conexión o dimerizado o retardo o desconexión) de los dispositivos de comando (interruptores, *dimers* y *relays*).
- Canal de operación: sirve para energizar las lámparas o para transportar una señal de operación en caso de que el dispositivo de comando esté incorporado a la luminaria.

Los sensores utilizados en estos sistemas de control pueden ser de distintos tipos, por ejemplo de niveles de iluminación (fotoeléctricos), de presencia (infrarrojo) o relojes para conectar o desconectar luces de acuerdo con las estrategias de ocupación de las instalaciones.

Para determinar el tipo de control más conveniente hay que realizar un análisis comparativo de los costos del sistema y con respecto a las posibilidades de ahorro de energía.

El control manual es la alternativa más simple y de menor costo de instalación, pero también menos eficaz en lo que a racionalización energética se refiere. Esto, en muchos casos, se explica por el diseño inadecuado, por ejemplo cuando los controles de iluminación no están bien identificados o son de acceso complicado. Pero, fundamentalmente, la ineficacia se debe a factores humanos, ya que las luces casi nunca se apagan.

El control automático de luces es el medio más eficaz para ahorrar energía, dado que ajusta la iluminación a las necesidades de cada momento. Sin embargo, hay que tener en

cuenta que también es el que demanda mayores costos, no solo de instalación sino también de mantenimiento, pues generalmente requiere mano de obra especializada.¹⁰

2.9 Mantenimiento

Los niveles de iluminancia en cualquier instalación siempre experimentan una reducción progresiva como consecuencia de la depreciación de los componentes; esto es, del envejecimiento de las lámparas, equipos auxiliares y luminarias, y, además, por la acumulación de polvo y suciedad en las superficies de local. Este efecto se compensa de dos maneras, aumentando el nivel inicial e implementando un programa de mantenimiento.

Para elaborar el plan de mantenimiento hay que hacer un análisis de costos que permita determinar la frecuencia óptima de realización de las distintas operaciones: limpieza de luminarias, mantenimiento del local, reemplazo de lámparas, equipos auxiliares y componentes eléctricos, ajustes de sistemas de control y regulación, reenfoque de luminarias, etc. Por supuesto, cuanto más espaciadas en el tiempo son estas operaciones, menor es el costo del mantenimiento, lo que en muchos casos puede justificar la mayor inversión inicial que se necesita realizar.

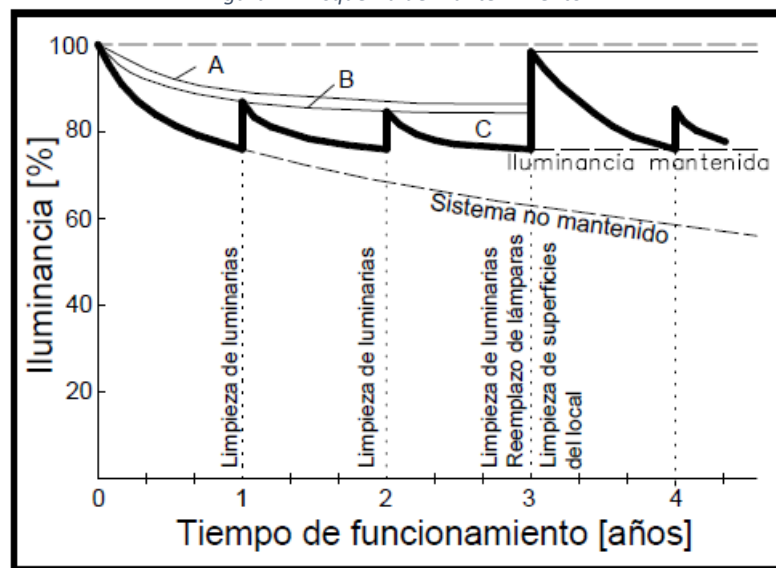
Un aspecto muy importante del programa de mantenimiento es la definición de la estrategia para el reemplazo de lámparas. Esta puede ser: por grupos, individual o una combinación de ambas. En el primer caso todas las lámparas de la instalación o de un sector se recambian simultáneamente en un momento por definir, que se conoce como vida económica, mientras que en el segundo se sustituyen a medida que las fuentes fallan. La

¹⁰ Raitelli, M. *Diseño de la Iluminación de Interiores*.

decisión sobre cuál estrategia conviene aplicar surge de un análisis económico-técnico-operativo.

El mantenimiento es un factor de suma importancia para el objetivo de una iluminación eficiente y su problemática debe formar parte del proyecto de iluminación, es decir, comenzar a resolverse durante el diseño y, en lo posible, prever su emplazamiento en lugares que sean de fácil acceso y para trabajar.¹¹

Figura 14: Esquema de mantenimiento.



Fuente: Raitelli, M. *Diseño de la Iluminación de Interiores*.

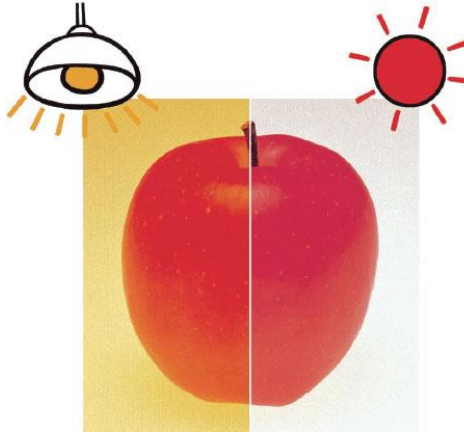
2.10 Color

El ojo humano responde de diferente manera a los distintos colores. Para entender cómo el ojo humano ve los colores es necesario aclarar dos conceptos: la apariencia y el rendimiento del color.

¹¹ Raitelli, M. *Diseño de la Iluminación de Interiores*.

La apariencia del color se refiere a la temperatura, es decir, a la percepción del ojo humano de la fuente de luz. El rendimiento del color se refiere a la apariencia que la fuente lumínica le da a un objeto. Los tipos de lámparas tienen diferentes rendimientos de color, por lo que es importante conocer la aplicación específica para escoger la lámpara más adecuada.

Figura 15: elementos que afectan la apariencia del color.



Fuente: <http://sensing/elementos-que-afectan-la-apariencia-de-color>.

2.10.1 Intensidad lumínica

La intensidad lumínica mide la cantidad de luz emitida en una dirección particular. Es de gran importancia al diseñar iluminación con reflectores, y en este caso se mide en candelas de potencia. En el caso de otras fuentes de luz normalmente se expresa la cantidad total de flujo luminoso, la cual se mide en lúmenes.¹²

2.10.2 Dimensiones y reflexividad

Es necesario conocer las dimensiones y la reflexividad de los lugares por iluminar para obtener el ambiente deseado. Las dimensiones permiten determinar las áreas por

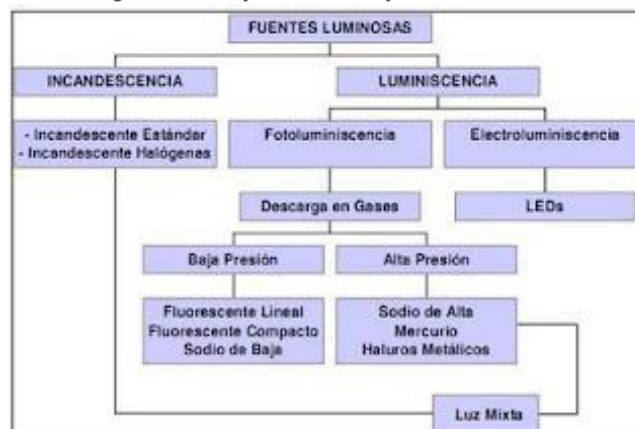
¹² Catalogo Sylvania, Ecuador, 2016

iluminar, así como las distancias a las que se encontrarán las fuentes de iluminación del plano de trabajo. La reflexividad es una variante esencial del área por iluminar, puesto que se refiere al color y al acabado de las paredes, cielorraso y piso.

2.11 Fuentes de luz

Artificialmente existen varias formas de producir radiación luminosa y están divididas por los procesos de incandescencia y por la luminiscencia. Esta última, a su vez, se divide principalmente en descarga en gases, fotoluminiscencia y electroluminiscencia.

Figura 16: Clasificación de las fuentes luminosas.



Fuente: Manual de procedimientos para la Ingeniería de Interiores.

2.12 Tipos de tecnologías de iluminación

2.12.1 Tubos fluorescentes

Se basan en la emisión de radiación ultravioleta producida por el vapor de mercurio que al chocar contra las sustancias fluorescentes se transforma en energía luminosa visible.

Un equipo fluorescente está formado por un tubo, reactancia, cebador y porta-tubo.

Las lámparas fluorescentes son de descarga eléctrica y de mercurio de baja presión, en las que un recubrimiento de fósforo transforma en luz parte de la energía ultravioleta generada por la descarga. Las partes principales de una lámpara fluorescente son: bombilla, electrodos, gas de relleno, recubrimiento de fósforo y bases.

Las lámparas de fluorescentes tienen ventajas importantes, como que aportan más luminosidad con menos Watt. Esto las hace de bajo consumo eléctrico y por ello tienen una vida útil prolongada de entre 5 000 y 7 000 horas.

La vida útil de la lámpara de este tipo se ve perturbada por el desgaste normal de la sustancia que recubre el filamento, pérdida de la eficacia de los polvos fluorescentes que recubren el tubo interior y un excesivo número de veces de encendido y apagado (ciclos).

La mayoría de los tubos fabricados hoy en día corresponden al tipo T8, el cual corresponde a una designación por diámetro del tubo. De esta manera el "T" se refiere a la cantidad de octavos de pulgada del diámetro.

Tabla 16: Identificación de los tubos fluorescentes según el diámetro.

T-8	1 pulgada	25,4 mm
T-5	5/8 pulgada	15,87 mm

Fuente: Propia

De acuerdo con la temperatura de color en grados Kelvin se clasifican de la siguiente manera:

Tabla 17: Tonalidad de color, lámparas fluorescentes.

Tonalidades de color	Temperatura de color (°K)
Blanco cálido (WW) (Warm White)	3 000
Blanco (W) (White)	3 500
Natural (N) (Natural)	3 400
Blanco Frio (CW) (Cool White)	4 100
Blanco Frio Deluxe (CWX) (Cool White Deluxe)	4 200
Luz del Día (D) (Daylight)	6 500

Fuente: Así funciona, lámparas fluorescentes.

2.12.2 Led

Es importante optimizar el consumo de energía y utilizar equipamientos eléctricos más eficientes con el fin de reducir costos. Cambia a la iluminación led y empieza a reducir gastos que generan ahorro en tu factura. Gracias a la iluminación led es posible reducir el consumo eléctrico hasta 80% sin renunciar a la cantidad ni a la calidad de la luz. Mientras

que el rendimiento energético de una bombilla tradicional es de 10% (solo una décima parte de la energía consumida genera luz), los diodos led aprovechan 90%.

Los led no tienen filamentos u otras partes mecánicas sujetas a roturas ni a fallos por "fundido". No existe un punto en el que dejan de funcionar, sino que su degradación es gradual a lo largo de su vida. Los led pueden llegar a disfrutar de una vida de 10.000 horas. Aproximadamente a los seis años (24h /día - 365 días al año) es cuando paulatinamente empiezan a perder intensidad por debajo de 70%.

Una lámpara led se alimenta de baja tensión por lo que consume muy poca potencia y, por lo tanto, emite muy poco calor, según lo cual ahorra en espacios climatizados. También se adapta perfectamente a la mayoría de fuentes de alimentación de los equipos y con ello se reduce al máximo el riesgo de electrocución.

La luz led es mucho más brillante y nítida que la del halógeno y el fluorescente. Además, tiene un encendido inmediato (microsegundos) y no tiene fallos, parpadeos ni variaciones de intensidad en la iluminación.

Gracias a su tamaño se puede integrar en objetos. Con la led se puede hacer que los propios objetos sean los que emitan su propia luz o proyecten imágenes.

Los dispositivos led no contienen mercurio, ahorran gran cantidad de energía, no producen irradiaciones de infrarrojos y no producen contaminación lumínica. Además, 99% de sus componentes son reciclables y son ideales para la combinación con la energía solar.

Los tubos led son los sustitutos naturales de los tubos fluorescentes. Además de durar más y consumir menos, los tubos led son mejores que los fluorescentes porque no requieren ni cebadores ni reactancias.

Además, los tubos led no usan vapor de mercurio, lo cual puede resultar peligroso para los usuarios en casos de accidente. Son soluciones ecológicas que no parpadean, lo que asegura la seguridad del usuario y una iluminación muy estética, tanto en tonos fríos como en cálidos. Los tubos led producen una luz perfectamente uniforme sin mostrar "puntos" de luz antiestéticos en el cuerpo del tubo. Son la mejor solución para sustituir a los fluorescentes convencionales ya que proporcionan una mayor luminosidad y reducen el consumo energético.

Consumen hasta 80% menos, además de tener un encendido inmediato, ser totalmente ecológicos y ofrecer la posibilidad de crear diferentes efectos. Están contruidos sobre un disipador de aluminio que garantiza una correcta disipación del calor. No emiten radiaciones UV, no parpadean y el arranque es inmediato. Los tubos led aseguran una luminosidad constante durante toda su vida, sin una pérdida de intensidad apreciable.

Son ideales para la iluminación tanto de zona de tránsito como en zonas residenciales.

2.13 Comparación de tecnología fluorescente con led

Para poder realizar una comparación objetiva es necesario conocer las ventajas que tienen las diferentes tecnologías de iluminación. Para este caso específico se van a comparar los tubos fluorescentes más modernos, como el T8 y el T5, con la tecnología led en tubos equivalentes a los anteriores y a paneles de iluminación. En general, se presentan las ventajas de los fluorescentes y de los led.

Entre las ventajas de la iluminación fluorescentes están:

Menor precio: tienen un precio menor al de los de tecnología led.

Gran luminosidad: es importante realizar una buena comparación en el momento de escoger de entre una tecnología y otra, ya que en algunos casos los fluorescentes tienen mejor luminosidad que los led.

Entre los beneficios de la tecnología led están:

Mayor duración: uno de los aspectos más importantes que hay que tomar en cuenta a la hora de decidir cuál tubo de iluminación es más eficiente, es el de su tiempo de duración. En el caso del tubo led su vida útil alcanza más de 50.000 horas, mientras que la opción fluorescente solo llega a las 15.000 horas (*promedio de la vida útil reportada por los fabricantes Osram, Philips y Sylvania*).

Menor consumo: la diferencia considerable de mayor consumo energético que tienen los tubos fluorescentes por sobre los led se debe a que los primeros poseen dos dispositivos para su encendido que gastan energía por sí mismos. Es así como un modelo fluorescente de 60cm de 18W puede llegar a consumir el doble de su potencia normal, es decir, unos 36W, mientras que un tubo led del mismo largo consume solo 12W.

Resistencia: los tubos de iluminación led son desmontables y reparables. También pueden aguantar mucho más los golpes o vibraciones que sus pares fluorescentes.

Poca generación de calor: además de economizar en electricidad por iluminación al ser tubos “fríos” no generan el calor que el sistema de aire acondicionado tenga que expulsar.

Encendido inmediato: tienen un arranque instantáneo que no afecta su estimado en vida útil, lo cual sí ocurre con los fluorescentes que se degradan conforme se encienden y apagan.

Ambiente: compuesto de mercurio y el vapor de mercurio, compuestos altamente peligrosos para la salud humana y el ambiente están presentes en los tubos fluorescentes, mientras que en los led no.¹³

Actualmente se tienen alternativas de sustitución (por consumo de energía eléctrica) de las tradicionales lámparas fluorescentes lineales T8 por lámparas tubulares lineales con led tipo SMD 3528.

Estas lámparas están compuestas de varios materiales y características. Sus aplicaciones abarcan toda una variedad de inmuebles y cada tipo puede representar soluciones específicas.

La identificación de cada tipo y la evaluación para la toma de decisiones es fundamental para hacer una inversión y un diseño inteligentes. Las lámparas tubulares lineales con led tipo SMD 3528 se presentan como una solución para el mercado.

Los compuestos de este tipo de luminarias incluyen tubo con una carcasa semicircular posterior fabricada de aluminio extruido con un refractor superior de policarbonato con acabado opalino, claro liso o claro ranurado; disipador ranurado fabricado de aluminio extruido dentro del tubo para controlar la temperatura de operación del arreglo o arreglos de tiras de led tipo SMD 3528.

¹³<http://cuadroscomparativos.com/diferencias-entre-bombillas-led-y-lamparas-fluorescentes-cuadros-comparativos-e-infografias>

También cuenta con controlador electrónico integrado dentro del diseño de construcción de la lámpara tubular lineal T8, con led tipo SMD 3528; arreglo lineal de una o más tiras continuas internas de led tipo SMD 3528, con ángulo de apertura del flujo luminoso de 120°, ensambladas sobre una placa de circuito impreso (PCB), y diámetro del tubo lineal T8 (1 pulgada o 2.54 cm.)

Además, tienen base tipo G-13 de dos pines para usarse con porta-lámpara no prepunteada (base para operar con balastro magnético), dimensiones disponibles tubo lineal T8 led más comerciales de 60-61 cm y 120-122 cm (dependiendo del fabricante). Cuentan con una vida útil de 30 mil-50 mil horas en promedio.

2.13.1 Consideraciones técnicas para las propuestas de sustitución de lámparas fluorescentes

Las lámparas tubulares T8 con led tipo SMD 3528 con base G-13 deben utilizarse en luminarios con base del tipo G-13 medio no prepunteado. Se debe tener en cuenta la altura (peralte) del luminario, sobre todo en los que operan lámparas fluorescentes lineales T5. También, en algunos tipos de luminarios se deben hacer ajustes respecto de la colocación de los portalámparas dentro del luminario, de acuerdo con su longitud.

Los flujos luminosos de las lámparas tubulares con led tipo SMD 3528 respecto de las lámparas fluorescentes lineales T8 son de hasta 40% menores, en promedio.

En luminarios con reflectores especulares, su utilización no tiene ninguna función cuando se utilizan lámparas tubulares con led tipo SMD, debido a que estos cuentan con un ángulo de apertura del flujo luminoso de 120° como máximo.

Los flujos luminosos iniciales y promedio entre lámparas tubulares fluorescentes lineales T8 y lámparas tubulares lineales con led tipo SMD 3528 deben considerar su

respectiva depreciación de flujo luminoso. Este es direccional y concentrado de alta luminancia (naturaleza propia de cualquier led).

Los coeficientes de utilización, relaciones de espaciamiento y eficiencias son los luminarios que utilicen lámparas fluorescentes tubulares lineales T8 y lámparas tubulares lineales T8 con led tipo SMD 3528; flujos luminosos iniciales y promedio entre lámparas tubulares fluorescentes lineales T8 y lámparas tubulares lineales con led tipo SMD 3528.

Otras de las consideraciones técnicas que se deben tener en cuenta son la vida útil, las temperaturas de color y el índice de rendimiento de color de las lámparas entre lámparas tubulares fluorescentes lineales T8 y lámparas tubulares lineales con led tipo SMD 3528.

También se deben considerar los niveles de iluminación requeridos en función de las alturas de montaje, las reflectancias y la colocación actual o por proyectar de los luminarios.

Otro aspecto es el de los costos de inversión inicial y mantenimiento, así como la recuperación de la inversión efectuada al sustituir las lámparas tubulares fluorescentes lineales T8 por las lámparas tubulares lineales con led tipo SMD 3528.

Algunas de las aplicaciones para este tipo de luminarias son oficinas públicas y privadas; escuelas públicas y privadas; hospitales públicos y privados; bancos e instituciones financieras; almacenes y bodegas; tiendas de autoservicio; tiendas departamentales.

También pueden instalarse en maquiladoras y centros de manufactura, estacionamientos cubiertos, talleres, centros de almacenamiento, laboratorios, gimnasios y centros recreativos.

Tabla 18: Comparación entre lámparas fluorescentes T8 y lámparas T8 con led tipo SMD 3528.

Característica de la operación	Lámpara fluorescente T8 de 17 W	Lámpara tubular T8 con led SMD 10 W	Lámpara fluorescente T8 de 32 W	Lámpara tubular T8 con led SMD 19 W
Potencia de la lámpara	17 W	10 W	32 W	19 W
Flujo luminoso inicial	1 mil 500 lúmenes	825 lúmenes	2 mil 850 lúmenes	1 mil 650 lúmenes
Vida útil promedio	24 mil a 30 mil horas	40 mil horas	24 mil a 30 mil horas	40 mil horas
Temperatura de color	3 mil, 3 mil 500 y 4 mil 100 K	3 mil 500 y 4 mil K	3 mil, 3 mil 500 y 4 mil 100 K	3 mil 500 y 4 mil K
Índice de rendimiento de color	85	85	85	85
Potencia total	19 W	11 W	35 W	21 W
Ahorro de energía	0%	42.10%	0	0.4

Fuente: <https://constructorelectrico.com/lamparas-lineales-tubulares-caracteristicas-para-elegi>

Tabla 19: Comparación Lámparas fluorescentes T8 y lámparas T8 con led tipo SMD 3528.

Característica de la operación	Lámpara fluorescente T8 de 32 W	Lámpara tubular T8 con led SMD 20 W	Lámpara fluorescente T8 de 17 W	Lámpara tubular T8 con led SMD 10 W
Potencia de la lámpara	32 W	20 W	17 W	10 W
Flujo luminoso inicial	2 mil 850 lúmenes	1 mil 650 lúmenes	1 mil lúmenes	850 lúmenes
Vida útil promedio	24 mil a 30 mil horas	40 mil horas	24 mil a 30 mil horas	40 mil horas
Temperatura de color	3 mil, 3 mil 500 y 4 mil 100 K	3 mil, 4 mil 100 y 5 mil K	3 mil, 3 mil 500 y 4 mil 100 K	3 mil, 4 mil 100 y 5 mil K
Índice de rendimiento de color	85	85	85	85
Potencia total	35 W	22 W	19 W	11 W
Ahorro de energía	0%	37.14%	0%	42.10%

Fuente: <https://constructorelectrico.com/lamparas-lineales-tubulares-caracteristicas-para-elegi>

Tabla 20: Comparación entre lámparas fluorescentes T8 y lámparas T8 con led tipo SMD 3528.

Característica de la operación	Lámpara fluorescente T8 de 32 W	Lámpara tubular T8 con led SMD 18 W	Lámpara fluorescente T8 de 17 W	Lámpara tubular T8 con led SMD 9 W
Potencia de la lámpara	32 W	18 W	17 W	9 W
Flujo luminoso inicial	2 mil 850 lúmenes	1 mil 700 lúmenes	1 mil 500 lúmenes	900 lúmenes
Vida útil promedio	24 mil a 30 mil horas	40 mil horas	24 mil a 30mil horas	50 mil horas
Temperatura de color	3 mil, 3 mil 500 y 4 mil 100 K	4 mil 100 K	3 mil, 3 mil 500 y 4 mil 100 K	4 mil 100 K
Índice de rendimiento de color	85	> 75	85	> 75
Potencia total	35 W	20 W	19 W	10 W
Ahorro de energía	0%	42.85%	0%	47.36%

Fuente: <https://constructorelectrico.com/lamparas-lineales-tubulares-caracteristicas-para-elegi>

Tabla 21: Comparación entre lámparas fluorescentes T8 y lámparas T8 con led tipo SMD 3528.

Característica de la operación	Lámpara fluorescente T8 de 32 W	Lámpara tubular T8 con led SMD 16 W
Potencia de la lámpara	32 W	16 W
Flujo luminoso inicial	2 mil 850 lúmenes	1 mil 681 lúmenes
Vida útil promedio	24 mil a 30 mil horas	50 mil horas
Temperatura de color	3 mil, 3 mil 500 y 4 mil 100 K	2 mil 800, 3 mil 200 K, 4 mil 250, 4 mil 750 K, 5 mil 550 y 6 mil 500 K
Índice de rendimiento de color	85	> 84
Potencia total	35 W	17.5 W

Fuente: <https://constructorelectrico.com/lamparas-lineales-tubulares-caracteristicas-para-elegi>

2.14 Tasa interna de retorno y valor actual neto

La tasa interna de retorno o tasa interna de rentabilidad (TIR) de una inversión está definida como el promedio geométrico de los rendimientos futuros esperados de dicha inversión, y que implica, por cierto, el supuesto de una oportunidad para "reinvertir". En

términos simples, diversos autores la conceptualizan como la tasa de interés (o la tasa de descuento) con la cual el valor actual neto o valor presente neto (VAN) es igual a cero. El VAN es calculado a partir del flujo de caja anual, trasladando todas las cantidades futuras al presente. Es un indicador de la rentabilidad de un proyecto: a mayor TIR, mayor rentabilidad.

Se utiliza para decidir sobre la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión. Para ello la TIR se compara con una tasa mínima o tasa de corte, que es el costo de oportunidad de la inversión (si la inversión no tiene riesgo el costo de oportunidad utilizado para comparar la TIR será la tasa de rentabilidad libre de riesgo). -Si la tasa de rendimiento del proyecto -expresada por la TIR- supera la tasa de corte, se acepta la inversión; en caso contrario se rechaza.

Es la tasa real que proporciona un proyecto de inversión y es aquella que al ser utilizada como tasa de descuento en el cálculo de un VAN dará como resultado 0.

Como ya se ha comentado, la TIR o tasa de rendimiento interno es una herramienta de toma de decisiones de inversión utilizada para conocer la factibilidad de diferentes opciones de inversión.

El criterio general para saber si es conveniente o no realizar un proyecto es el siguiente:

- Si $TIR > r$ se aceptará el proyecto. La razón es que el proyecto da una rentabilidad mayor que la rentabilidad mínima requerida (el costo de oportunidad).
- Si $TIR < r$ se rechazará el proyecto. La razón es que el proyecto da una rentabilidad menor que la rentabilidad mínima requerida.

“r” representa el costo de oportunidad.

- Criterio de aceptación o rechazo. El criterio general solo es cierto si el proyecto es del tipo "*prestar*", es decir, si los primeros flujos de caja son negativos y los siguientes positivos. Si el proyecto es del tipo "*pedir prestado*" (con flujos de caja positivos al principio y negativos después), la decisión de aceptar o rechazar el proyecto se toma justamente al revés.
- Comparación de proyectos excluyentes. Dos proyectos son excluyentes si solo se puede llevar a cabo uno de ellos. Generalmente, la opción de inversión con la TIR más alta es la preferida, siempre que los proyectos tengan el mismo riesgo, la misma duración y la misma inversión inicial. Si no, será necesario aplicar el criterio de la TIR de los flujos incrementales.
- Proyectos especiales, también llamados el problema de la inconsistencia de la TIR. Son proyectos especiales aquellos que en su serie de flujos de caja tienen más de un cambio de signo. Estos pueden tener más de una TIR, tantas como cambios de signo tengan. Esto complica el uso del criterio de la TIR para saber si conviene aceptar o no la inversión. Para solucionar este problema se suele utilizar la TIR corregida.

2.14.1 Cálculo

El cálculo del VAN y la TIR se hace bajo la siguiente fórmula:

$$VPN = 0 = \left(\frac{FE_1}{(1+K)^1} \right) + \left(\frac{FE_2}{(1+K)^2} \right) \dots + \left(\frac{FE_N}{(1+K)^N} \right) - Inversion$$

Donde:

FE: flujo neto de efectivo

K: valores porcentuales.

Para el VAN se tienen los datos y se calcula para obtener el valor del proyecto y para la TIR se busca encontrar el valor de K igualando a cero la ecuación.

2.15 Inicios de los paneles fotovoltaicos

Aunque las celdas solares eficientes han estado disponibles recién desde mediados de los años cincuenta, la investigación científica del efecto fotovoltaico comenzó en 1839, cuando el científico francés Henri Becquerel descubrió que una corriente eléctrica podría ser producida haciendo brillar una luz sobre ciertas soluciones químicas.

El efecto fue observado primero en un material sólido (el metal selenio) en 1877. Este material fue utilizado durante muchos años para los fotómetros, que requerían cantidades muy pequeñas de energía. Una comprensión más profunda de los principios científicos fue provista por Albert Einstein en 1905 y por Schottky en 1930, la cual fue necesaria antes de que se pudieran confeccionar celdas solares eficientes. Una célula solar de silicio que convertía el 6% de la luz solar que incidía sobre ella en electricidad fue la desarrollada por Chapin, Pearson y Fuller en 1954. Esta es la clase de célula que fue utilizada en usos especializados tales como satélites orbitales, a partir de 1958.

En la actualidad las células de silicio más comúnmente empleadas para los paneles fotovoltaicos se pueden dividir en tres subcategorías:

Las células de silicio monocristalino están constituidas por un único cristal de silicio. Este tipo de células presenta un color azul oscuro uniforme.

Las células de silicio policristalino (también llamado multicristalino) están constituidas por un conjunto de cristales de silicio, lo que explica que su rendimiento sea algo inferior al de las células monocristalinas. Se caracterizan por un color azul más intenso.

Las células de silicio amorfo. Son menos eficientes que las células de silicios cristalinos, pero también menos costosas. Este tipo de células es, por ejemplo, el que se emplea en aplicaciones solares, como relojes o calculadoras.

2.16 Libre acceso a la red

El artículo 123 de la Norma Técnica POASEN actualmente propone:

“El acceso a la red de distribución nacional, para efectos de interconectar y operar micro o mini generadores para autoconsumo a partir de fuentes de energía renovable es libre para cualquier abonado o usuario, siempre y cuando la red de distribución cuente con las condiciones técnicas para tal efecto y el interesado cumpla con las condiciones técnicas, comerciales y requisitos establecidos en esta norma, que con fundamento en ella establezcan las empresas distribuidoras. Además deberá contar con la concesión respectiva de conformidad con la legislación vigente.”

Se solicita aclarar en el texto del artículo que la concesión de servicio público se necesita únicamente para la medición neta compleja, pues actualmente el texto es omiso y se podría interpretar que para la medición neta sencilla también se requiere concesión.

Ello no es necesario de conformidad con la legislación vigente, ya que con la medición neta sencilla no hay venta ni reconocimiento económico de energía, por cuanto no se configura el servicio de generación de energía regulado en el artículo 5 de la Ley N.º 7543.

Se propone la siguiente redacción:

“El acceso a la red de distribución nacional, para efectos de interconectar y operar micro o mini generadores para autoconsumo a partir de fuentes de energía renovable es libre para cualquier abonado o usuario, siempre y cuando la red de distribución cuente con las condiciones técnicas para tal efecto y el interesado cumpla con las condiciones técnicas, comerciales y requisitos establecidos en esta norma que -con fundamento en ella- establezcan las empresas distribuidoras. Además, para la medición neta compleja se deberá contar con la concesión respectiva de conformidad con la legislación vigente.

Artículo 131. Modalidades de régimen contractual

Para la conexión y operación de un micro o mini generador en paralelo con la red de distribución y que suministre energía a la red de la empresa, se establecen dos modalidades:

- Medición neta sencilla, con compensación física de excedentes (intercambio).

Página 96 de 108. Cuando el generador “acumula” el excedente mensual de energía producida, si existiese, para utilizarlo en el mes o meses siguientes en el mismo año calendario, tras el cual el excedente no será reconocido por la empresa distribuidora.

- Medición neta completa, con liquidación anual (venta de excedentes).

Cuando el generador “acumula” el excedente mensual de energía producida para utilizarlo en el mes o meses siguientes, vendiendo el saldo anual de excedentes a la empresa distribuidora mediante una liquidación el día 1° de diciembre de cada año. Para tal efecto el periodo de liquidación comprende del 1° de diciembre del año anterior al 30 de noviembre del año de la liquidación.

Artículo 132. Costo de acceso a la red.

En ambas modalidades de régimen contractual, tanto en el caso de excedentes de producción como en el caso en que el consumo iguale a la producción, el generador a pequeña escala deberá cancelar mensualmente a la empresa el costo de acceso a la red de distribución, de acuerdo con el pliego tarifario vigente.

Según se indica en las cláusulas contractuales mínimas, “capítulo XII” -ubicado en el artículo 133 de la norma POASEN-, se citan los requerimientos mínimos para que sea posible conectar un micro o mini generador en paralelo a la red:

Artículo 133. Cláusulas contractuales mínimas

El contrato para la conexión y operación de un micro o mini generador en paralelo con la red de la empresa distribuidora deberá contemplar al menos las cláusulas siguientes:

- Definición de la terminología utilizada y la forma como debe interpretarse en el contrato.
- Objeto y alcance contractuales incluidas las obligaciones que se impongan a las partes.
- Normas jurídicas que forman parte del contrato y rigen para su aplicación y alcances, con mención al menos de la Ley N.º 7593 y sus reformas, los reglamentos y las leyes conexas, así como de las normativas técnicas y económicas emitidas por la Autoridad Regulatoria, específicamente la presente norma.
- Régimen contractual elegido por el abonado-usuario, de acuerdo con el artículo 131 de esta norma.
- Obras y equipos que forman parte de la conexión, así como los límites físicos de propiedad y responsabilidad.

- Los aspectos operacionales de la conexión y operación del generador en condiciones normales y de contingencia.
- Convenio de responsabilidad y de condiciones técnicas de operación y mantenimiento.
- Derechos y condiciones de acceso de personal de la empresa distribuidora a las instalaciones del generador.
- Especificaciones de duración, terminación, modificaciones y cancelaciones del contrato.
- Cualquier otro aspecto importante que regule los deberes y derechos de las partes.

Artículo 151. Obligaciones de los generadores en pequeña escala para autoconsumo.

Será responsabilidad de los generadores:

- Cumplir con las disposiciones técnicas establecidas en esta norma que le competan.
- Construir y mantener en buen estado las instalaciones de interconexión.
- Operar y mantener sus equipos de acuerdo con los requisitos establecidos en esta norma y con los que las empresas eléctricas establezcan con base en las disposiciones de esta norma.
- Adquirir y mantener la póliza de responsabilidad civil indicada en el artículo 149 de esta norma.
- Permitir a las empresas eléctricas, en forma debidamente coordinada, inspeccionar las instalaciones y equipos del generador en aras de la seguridad operativa y del resguardo de la calidad del suministro eléctrico.

Artículo 156. Precios para la compensación de excedentes.

El precio aplicable para la compensación económica de los excedentes de producción, en el régimen contractual “Medición neta completa con liquidación anual” , será el correspondiente al precio y estructura tarifaria que establezca la Autoridad Reguladora oportunamente.

Artículo 157. Facturación. Modalidad contractual. “Medición neta sencilla” .

Para el caso de los generadores bajo la modalidad contractual de “Medición neta sencilla” , en la facturación mensual, de existir un excedente de producción con respecto al consumo (consumo neto menor a cero) la empresa eléctrica deberá indicarlo en la facturación (kWh excedentes), a efectos de compensar al generador por dicho excedente en las facturaciones subsiguientes y facturar el costo de acceso indicado en el artículo 132 de esta norma. El cierre para la liquidación de excedentes se hará en la facturación correspondiente al mes de diciembre de cada año.

En el caso de una igualdad entre el consumo y la producción (consumo neto igual a cero), la empresa eléctrica debe facturar al generador el monto correspondiente al costo de acceso indicado en el artículo 132 de esta norma.

Artículo 158. Facturación. Modalidad contractual “Medición neta completa” .

En la modalidad contractual “Medición neta completa” , en la facturación mensual, de existir un excedente de producción con respecto al consumo (consumo neto menor a cero), la empresa deberá indicarlo en la facturación y acumular el exceso de producción a efecto de descontar dicha energía en el mes o meses siguientes.

En cada mes la empresa deberá descontar del consumo del interesado la energía acumulada del mes o meses anteriores, y cobrar al generador el costo de acceso indicado en

el artículo 132 de esta norma, independientemente de que el consumo neto del mes facturado sea cero, o de que exista un consumo neto menor a cero o un consumo neto mayor a cero que pueda compensarse del excedente de producción acumulado de meses anteriores.

Artículo 159. Liquidación anual

Para la modalidad contractual “Medición neta completa” , en la facturación del mes de diciembre la empresa eléctrica deberá compensar económicamente al generador los posibles excedentes de energía acumulados a la fecha, y aplicarles el precio de la energía correspondiente con la estructura tarifaria vigente al momento en que estos se produjeron.¹⁴

2.17 Sistemas fotovoltaicos

Hay dos formas de utilizar la energía eléctrica generada a partir del efecto fotovoltaico:¹⁵

- En instalaciones aisladas de la red eléctrica.
- En instalaciones conectadas a la red eléctrica convencional.

Mientras que en las primeras la energía generada se almacena en baterías para así disponer de su uso cuando sea preciso, en las segundas toda la energía generada se envía a la red eléctrica convencional para su distribución donde sea demandada.

2.17.1 Sistemas aislados de la red eléctrica

¹⁴ <http://www.acesolar.org/mapa>

¹⁵ <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/7538/Anexo>

Estos sistemas se emplean sobre todo en aquellos lugares en los que no se tiene acceso a la red eléctrica y resulta más económico instalar un sistema fotovoltaico que tender una línea entre la red y el punto de consumo.

Como los paneles solo producen energía en las horas de sol y la energía se necesita durante las 24 horas del día, es necesario un sistema de acumulación.

Durante las horas de luz solar hay que producir más energía de la que se consume, para acumularla y posteriormente poder utilizarla cuando no se esté generando. La cantidad de energía que se necesita acumular se calcula en función de las condiciones climáticas de la zona y el consumo de electricidad. De tal manera que en una zona en donde haya muchos días soleados al año habrá que acumular poca energía. Si el periodo sin luz no es suficientemente largo, hay que acumular más energía.

El número de paneles por instalar debe calcularse teniendo en cuenta:

- La demanda energética en los meses más desfavorables.
- Las condiciones técnicas óptimas de orientación e inclinación, dependiendo del lugar de la instalación.

Para optimizar el sistema es necesario calcular correctamente la demanda con el fin de no sobredimensionar la instalación.

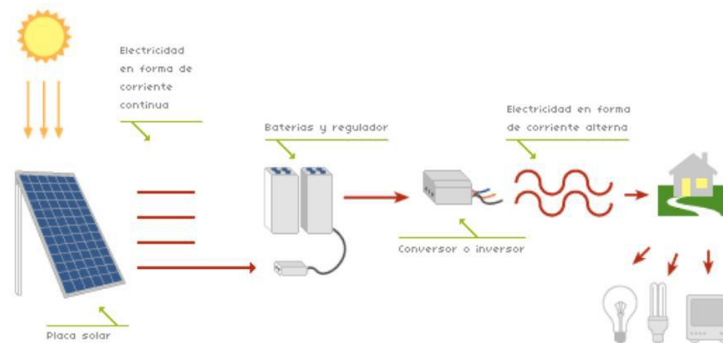
Básicamente, estos sistemas fotovoltaicos constan de los siguientes elementos:

- **Generador fotovoltaico:** transforma la energía del sol en energía eléctrica y carga las baterías.
- **Regulador de carga:** controla la carga de la batería y evita que se produzcan sobrecargas o descargas excesivas que disminuyan la vida útil del acumulador.

Puede incorporar un sistema de seguimiento del punto de máxima potencia, que es un dispositivo que aumenta el rendimiento de la instalación.

- **Sistemas de acumulación (baterías):** acumulan la energía entregada por los paneles. Cuando hay consumo, la electricidad la proporciona directamente la batería, no los paneles. Los acumuladores de plomo ácido son los más utilizados en sistemas fotovoltaicos autónomos.
- **Inversor:** la corriente que entrega la batería es corriente continua y la mayoría de los electrodomésticos que se comercializan funcionan con corriente alterna. Por este motivo se utilizan inversores que convierten la corriente continua en alterna.

Figura 17: Esquema de un sistema aislado de la red.



Fuente: <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle>

Aplicaciones

Las principales aplicaciones de los sistemas aislados de la red eléctrica son:

- Aplicaciones espaciales.
- Telecomunicaciones.
- Sistemas centralizados para poblaciones rurales aisladas.
- Señalización.
- Alumbrado de calles y carreteras.

- Electrificación de viviendas aisladas.

2.17.2 Sistemas conectados a la red eléctrica

Esta aplicación se ajusta muy bien a la curva de demanda de la electricidad. El momento en que más energía generan los paneles, cuando hay luz solar, es cuando más electricidad se demanda.

Al instalar un sistema fotovoltaico conectado a la red se dispone de una mini-central eléctrica que inyecta kWh verdes a la red, para que se consuman allí donde sean demandados.

Para que estas instalaciones sean técnicamente variables es necesario que se dé lo siguiente:

- La existencia de una línea de distribución eléctrica cercana con capacidad para admitir la energía producida por la instalación fotovoltaica.
- La determinación, con la compañía distribuidora, del punto de conexión.
- La proyección de un sistema que incluya equipos de generación y transformación de primera calidad, con las protecciones establecidas y debidamente verificados y garantizados por los fabricantes, de acuerdo con la legislación vigente.
- Una instalación realizada por un instalador cualificado.

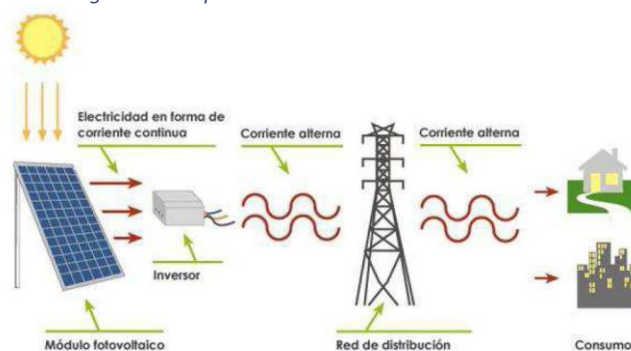
En las instalaciones conectadas a red el tamaño de la instalación no depende del consumo de electricidad de la vivienda o edificio, lo que simplifica enormemente su diseño. Para dimensionar la instalación es necesario conocer la inversión inicial, el espacio disponible y la rentabilidad que se quiere obtener.

Es importante recordar que el consumo de electricidad es independiente de la energía generada por los paneles fotovoltaicos. El usuario sigue comprando la electricidad que consume a la distribuidora al precio establecido y, además, es propietario de una instalación generadora de electricidad que puede facturar los kWh producidos.

Los elementos que componen la instalación son:

- **Generador fotovoltaico:** transforma la energía del sol en energía eléctrica que se envía a la red.
- **Cuadro de protecciones:** contiene alarmas, desconectores y protecciones.
- **Inversor-ondulador:** transforma la corriente continua producida por los paneles en corriente alterna de las mismas características que las de la red eléctrica.
- **Contadores:** un contador principal mide la energía producida (kWh) y enviada a la red para que pueda ser facturada por la compañía a los precios autorizados. Un contador secundario mide los pequeños consumos de los equipos fotovoltaicos (kWh) para descontarlos de la energía producida.

Figura 18: Esquema de sistema conectado a la red.



Fuente: <http://upcommons.upc.edu/bitstream>

Aplicaciones

Las principales aplicaciones de los sistemas conectados a la red eléctrica son:

- Viviendas.
- Plantas de producción.
- Integración en edificios.

2.18 Diseño de una instalación fotovoltaica conectada a la red

La primera operación que se debe efectuar es dimensionar la instalación que permita cubrir la demanda de energía eléctrica.¹⁶

El punto de partida es determinar la potencia eléctrica necesaria para cubrir las necesidades y la energía disponible para satisfacer la demanda. El dimensionado se enfoca en evaluar la demanda para cubrir el suministro eléctrico: un repetidor de telefonía ha de tener asegurada su energía durante los 365 días del año, mientras que en la electrificación de una vivienda se puede optar por reducir el consumo en determinados días del año, antes que instalar más módulos, ya que asegurar la energía, aun en las peores condiciones climatológicas, conlleva un elevado costo del conjunto de la instalación.

2.18.1 Estudio de las necesidades por cubrir

Un estudio eficiente debe contemplar una tabla con los consumos que se producen a lo largo del año, ya sean de corriente continua (E_{cc}) o alterna (E_{ac}). En este sentido, hay que tener en cuenta que los equipos que funcionen por medio del inversor se verán afectados por él.

¹⁶ Diseño y mantenimiento de una instalación fotovoltaica – Funiber

Dicha tabla recogerá claramente la descripción de cada elemento de consumo, alimentación, potencia (W) y horas de funcionamiento previstas por el usuario, con el fin de evaluar el consumo total (E_{et}), que será especificado en watt-hora [Wh].

Como última premisa se deben tener en cuenta una serie de consumos de corriente debidos, una parte a la instalación en el cableado y sus conexiones, al consumo interno de todo el sistema fotovoltaico, y a las potencias de equipos que consumen más de lo inicialmente previsto; y, por otra parte, a las pérdidas en el campo de paneles ocasionadas por un decrecimiento de la energía producida por la acumulación de suciedad en la superficie o por su degradación a lo largo de los años de trabajo.

Por todos estos motivos y para prevenir una falta de energía por un cálculo demasiado ajustado, al hacer el dimensionado se incrementará el consumo total de la instalación, con un factor de seguridad (F_s), que se puede estimar en 15%.

2.18.2 Condiciones de irradiación solar

Para conocer la disponibilidad de energía solar en un lugar determinado hace falta consultar la tabla de radiación solar, que es una extrapolación de los datos de la energía recibida en cada mes a lo largo de una serie de años. Dicha tabla depende directamente de la latitud, así como de las condiciones meteorológicas predominantes y de las particularidades climatológicas del lugar, como nieblas, nevadas, lluvias y temperaturas máximas y mínimas. Las tablas de radiación solar suelen estar expresadas en kilojulios por metro cuadrado [kJ/m^2], o en kilowatt hora por metro cuadrado [kWh/m^2]. Su confección se realiza en los observatorios meteorológicos. Estos datos se consideran válidos aunque las condiciones particulares del lugar, siempre y cuando se puedan conocer, serán de suma importancia.

Hora pico solar

Los paneles solares fotovoltaicos no son capaces de producir su potencia máxima en cualquier condición. Los factores que pueden alterar dicha potencia son de carácter climatológico, de inclinación, de orientación, y dependerán de las horas de radiación solar (HSP) de las que dispongan, según el lugar en donde estén instalados.¹⁷

La hora solar pico (HSP) se podría definir como una unidad encargada de medir la irradiación solar y definirla como el tiempo (en horas) de una hipotética irradiación solar constante de 1.000 W/m²

$$HSP = \frac{H}{1kW/m^2}$$

Una hora solar pico equivale a 3,6 MJ/m² o, lo que es lo mismo, 1 kWh/m², tal y como se muestra en la siguiente conversión:

$$1 \text{ HSP} = \frac{1000 \text{ W} \cdot 1 \text{ h}}{m^2} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \cdot \frac{1 \text{ J/s}}{1 \text{ W}} = 3,6 \text{ MJ/m}^2$$

La irradiación no será la misma en ningún mes del año, y para instalaciones en donde su uso sea anual, es imposible obtener un resultado satisfactorio al calcular según los meses de más alta irradiación, ya que de este modo en los meses de más baja irradiación la instalación no cubriría las necesidades reales.

¹⁷ https://es.wikipedia.org/wiki/Hora_solar_pico

2.18.3 Ángulo de inclinación de los paneles solares

La energía que es capaz de absorber el campo de paneles depende, no tan solo de la climatología o de la radiación en sí, sino también del ángulo de inclinación que tengan respecto a los rayos solares y a su orientación.¹⁸

Con el fin de favorecer la incidencia de la radiación solar sobre la superficie de los paneles, estos deben estar inclinados hacia el sur en el hemisferio norte, porque es la única posición aprovechable de la radiación solar a lo largo del año.

Para determinar el ángulo de inclinación adecuado de los paneles solares para maximizar la radiación se utiliza la siguiente ecuación:

$$Im = (|\varphi| + 10^\circ)$$

Donde:

Im: es la inclinación máxima en grados.

φ : es la latitud del lugar donde se deben instalar los paneles.

2.18.4 Cálculo del número de módulos fotovoltaicos

Para calcular el número de paneles solares, esto se hace por medio del concepto de horas-solar-pico (HSP), que es el promedio de horas de sol diarias a las condiciones estándar de prueba de los módulos fotovoltaicos. Por ejemplo, si en un determinado lugar se reciben 5.45kWh/día el resultado sería equivalente a una energía total incidente de intensidad 1kW durante 5.45 horas. Se dice entonces que HSP es igual a 5.45.

¹⁸ <http://www.grupoelektra.es/blog/wp-content/uploads/2014/10/como-somos-los-delektra-que-son-las-HSP.pdf>

$$N_p = \frac{ET}{0.9 \times W_p \times HSP}$$

Donde:

NP: el número de módulos necesarios.

ET: es el consumo energético real.

W_p : es la potencia pico del panel.

HSP: hora solar pico.

2.18.5 Cálculo del arreglo de paneles solares

Para calcular el número de filas de módulos en serie que se van a conectar para un inversor, se toma el valor de tensión nominal de entrada del inversor y se divide entre la tensión de cada panel, como muestran las siguiente fórmulas.

$$\text{Número de filas en serie} = \frac{V_{inv}}{V_m}$$

$$\text{Número de columnas en paralelo} = \frac{I_{inv}}{I_m}$$

2.18.6 Determinación del inversor

Las características del inversor que han de permitir su compatibilidad con la instalación se elegirá en función de:

- **La tensión nominal de entrada.**
- **El rango de tensión de entrada.** La tensión de entrada del inversor fluctúa por variaciones del nivel del acumulador. Existe un porcentaje de 10% a 20% en el cual dichas fluctuaciones no se ven reflejadas en el voltaje de salida.

- **Potencia nominal.** Es la potencia a la que puede estar sometida el inversor ininterrumpidamente. La potencia del inversor elegido se deberá ajustar a la del número de aparatos eléctricos conectados al mismo tiempo.
- **Potencia pico.** El inversor puede estar sometido a sobrecargas, por ejemplo a la puesta en marcha de un motor.
- **Eficiencia.** Es la regulación entre la potencia que entrega y la que absorbe en función de su carga.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Métodos de investigación

3.1.1 Investigación descriptiva

Una investigación del tipo descriptivo se reconoce porque en ella se describe una situación y se caracterizan propiedades importantes del objeto de estudio. También se miden de manera independiente las variables relacionadas con el estudio. Por la forma en que se desarrolla este proyecto se puede decir que es una investigación de tipo descriptivo.

Los datos descriptivos se expresan en términos cualitativos y cuantitativos. Se puede utilizar un tipo de ellos o ambos a la vez.

Cualitativos. Se usan en estudios cuyo objetivo es examinar la naturaleza general de los fenómenos. Los estudios cualitativos proporcionan una gran cantidad de información valiosa pero su grado de precisión es limitado, pues en ellos se emplean términos cuyo significado varía para las diferentes personas, épocas y contextos. Los estudios cualitativos contribuyen a identificar los factores importantes que deben medirse.

Cuantitativo. Los símbolos numéricos que se utilizan para la exposición de los datos provienen de un cálculo o medición. Se pueden medir las diferentes unidades, elementos o categorías identificables.

Recolección de datos

En el informe de la investigación se señalan los datos obtenidos y la naturaleza exacta de la población de la que fueron extraídos. Una vez identificada esta, entonces se decide si se recogerán datos de la población total o de una muestra representativa de ella. El método elegido dependerá de la naturaleza del problema en estudio y de la finalidad para la que se deseen utilizar los datos.

Las visitas al sitio, junto con la recaudación de la información de manuales, revisión bibliográfica e internet traen como resultado una mejor apreciación de los componentes principales de esta investigación.

3.1.2 Investigación cuantitativa

En el enfoque cuantitativo se hace uso de técnicas de contar, de medir y de razonamiento abstracto, destinadas a la comprobación de teorías mediante estudios muestrales representativos y por la aplicación de medidas objetivas con el uso de instrumentos, para así obtener datos fiables y repetibles. La finalidad del estudio es determinar si es viable instalar un sistema fotovoltaico conectado a la red y modernizar la iluminación con nueva tecnología, mediante realización de diversos cálculos y el diseño propuesto.

En cuanto al procedimiento metodológico seguido, esta investigación se desarrolló en las siguientes cuatro etapas, las cuales buscan el cumplimiento de los objetivos planteados y corresponden a la puesta en acción de actividades con el uso de distintas herramientas:

Etapas I: Planteamiento del problema

En esta etapa se plantearon el problema, los objetivos, el alcance y las limitaciones encontradas.

Etapas II: Investigación

Se realizó una búsqueda de información bibliográfica sobre generación distribuida y tecnologías de generación de electricidad fotovoltaica y convencional. Además, se estudió la normativa legal vigente en el país para el caso.

Referente a la iluminación, se investigó sobre el avance de tecnologías más eficientes y su disponibilidad en el mercado nacional y sobre el diseño de iluminación de interiores.

Etapas III. Desarrollo

Se obtuvieron los datos de facturación eléctrica de los años 2016 y 2017 para obtener el consumo en kWh y calcular la potencia requerida por los módulos fotovoltaicos según el arreglo seleccionado.

Para esta etapa se hizo uso de fórmulas conocidas y de textos reglamentarios como el NEC, en su última versión en español, y el INTECO para cálculo y diseño del sistema de iluminación así como de los paneles fotovoltaicos.

Se valoró también la incidencia de la radiación solar por medio de diferentes medios informativos, como la página de la NASA, y la información que proporcionan medios nacionales.

En cuanto a la iluminación, se realizaron pruebas con diferentes luminarias y con un proceso de recolección de datos por medio de los fabricantes.

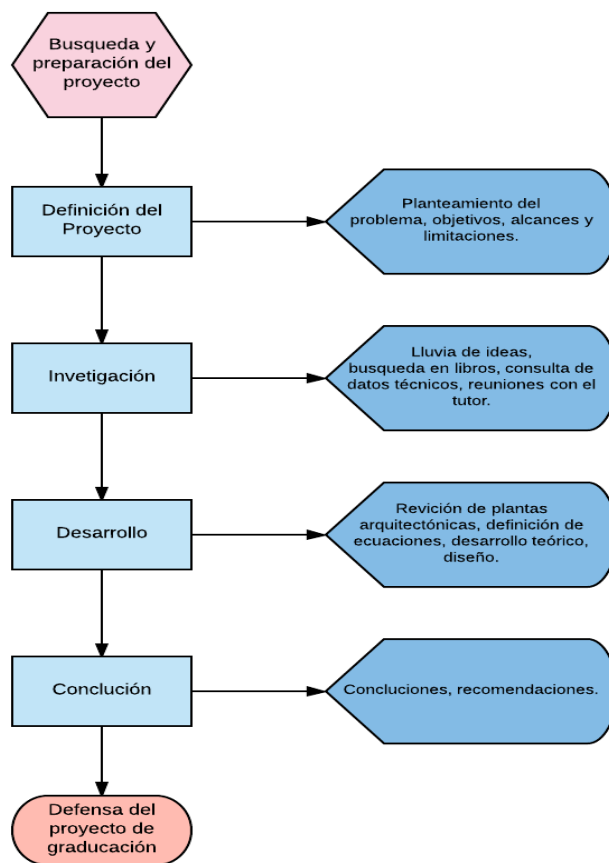
Para el cálculo de la inversión se hicieron varias cotizaciones a diferentes empresas en el país, para obtener de ellas el tiempo de retorno de la inversión.

Se especificaron los diferentes dispositivos y las herramientas necesarias para el funcionamiento de los paneles solares.

Etapas IV: Conclusión

Al finalizar todas las fases anteriores se procedió a emitir conclusiones acerca del trabajo y las recomendaciones pertinentes.

Figura 19: Diagrama de flujo Marco Metodológico



Fuente propia

CAPÍTULO IV

DESARROLLO

4.1 Evaluación del sistema de iluminación existente

4.1.1 Datos de las luminarias

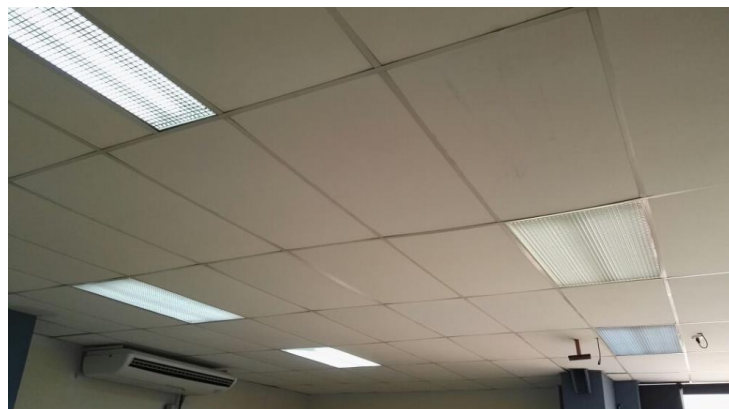
Mediante visitas al sitio se revisaron y contabilizaron las luminarias que actualmente se encuentran instaladas en el edificio. El horario de trabajo promedio es de 7 de la mañana a 7 de la noche de lunes a viernes y sábado de 7 de la mañana a la 1 de la tarde, según se indicó en la administración del edificio, para un total de 12 horas entre semana y 7 horas el sábado. Se estima un promedio de 9 horas por 30 días al mes para efectos prácticos de calcular el consumo de energía mensual.

Figura 20: Luminarias instaladas de 2 tubos fluorescentes T8.



Fuente propia

Figura 21: Luminarias instaladas de 3 tubos fluorescentes T8.



Fuente propia

Tabla 22: Cantidad y potencia de las luminarias instaladas.

Tipo Luminaria	cantidad	Consumo (A)	Watts Luminaria
2x4 de tres tubos	113,0	0,9	106,8
2x4 de dos tubos	242,0	0,7	88,8
CFL	99,0	0,1	13,2
MR16	7,0	0,1	14,4
T12	2,0	0,7	78,0
DOWN LIGTH	50,0	0,1	14,4

Fuente: propia

Según la tabla 22, en el edificio predominan las luminarias tipo fluorescente T8 con un total de 355 unidades.

Se deben separar los kWh/mes que se gastan en iluminación del total del consumo eléctrico, ya que será el dato que se usará como referencia cuando se comparen con otras propuestas y se evalúe el ahorro mensual esperado. Para esto se usa la siguiente fórmula.

$$\frac{kWh}{mes} = W * \frac{horas}{día} * \frac{día}{mes} * cantidad\ de\ luminarias$$

Así, por ejemplo, para las luminarias 2x4 de tres tubos:

$$\frac{kWh}{mes} = 106,8\ W * \frac{9\ horas}{día} * \frac{30\ día}{mes} * 113\ luminarias = 3258,47\ kWh/mes$$

Así se calcula para las demás luminarias y se obtiene la siguiente tabla resumen:

Tabla 23: Estimación de costos del sistema de iluminación actual.

Tipo Luminaria	cantidad	Consumo (A)	Watts Luminaria	L / Lámpara	L / Watt	Total Watts	de kWh/mes
						0	Total (Watts)
2x4 de tres tubos	113,0	0,9	106,8	2520,0	70,8	12068,4	3258,5
2x4 de dos tubos	242,0	0,7	88,8	2520,0	56,8	21489,6	5802,2
CFL	99,0	0,1	13,2	580,0	43,9	1306,8	352,8
MR16	7,0	0,1	14,4	850,0	59,0	100,8	27,2
T12	2,0	0,7	78,0	2600,0	33,3	156,0	42,1
DOWN LIGTH	50,0	0,1	14,4	800,0	55,6	720,0	194,4
TOTAL							9677,232

Fuente propia

Además, con el fabricante se consiguió el dato de la luminosidad por cada lámpara. Con este se multiplica la cantidad por luminaria que luego se divide entre la cantidad de Watts para obtener la referencia de Lumen/Watt.

El total en energía eléctrica por mes es de 9677.232 kWh/ mes.

$$\frac{kWh}{año} = \frac{kWh}{mes} * 12 \frac{mes}{año}$$

$$\frac{kWh}{año} = \frac{9677.232}{mes} * 12 \frac{mes}{año} = 116\,127 \frac{kWh}{año}$$

Considerando que el kWh tiene un costo de ¢63,36¹⁹ después de los 3000 kWh, el total al año son ¢7 357 793,034.

4.1.2 Cálculo de los costos de mantenimiento

Para los costos por mantenimiento del sistema actual no existe un histórico formal en cuanto a iluminación, dado que hay una persona de mantenimiento general, por lo cual se calculará sacando los costos separados y luego sumando.

Según indica el personal de manteamiento, se utilizan alrededor de dos horas semanales para cambiar o reparar luminarias. Así se obtiene el salario mínimo de un técnico electricista ¢326 312²⁰ y las cargas sociales, que representan 26%, es decir, ¢84 841.30, para un total de ¢411 153.30.

$$\frac{¢411153.30}{48 h * 4} = ¢2141.42 * 2 \frac{h}{semana} * 52 semana = ¢227\,707.68 al año$$

¹⁹ Dato tomado de la página oficial de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL)

²⁰ Dato tomado de la página oficial del Ministerio de Trabajo.

Se debe agregar el costo de los repuestos. Según indica el encargado de mantenimiento, en promedio se cambian dos tubos o bombillos por semana y un balastro al mes.

$$1 \text{ tubo} = \text{¢}1\,897,16^{21}$$

$$\text{¢}1\,897,16 * 2 \frac{\text{tubos}}{\text{semana}} * 52 \text{ semana} = \text{¢}197\,304.64$$

$$1 \text{ balastro} = \text{¢}10\,960,01^{22}$$

$$\text{¢}10\,960,01 * 12 \text{ meses} = \text{¢}131\,520,12$$

Sumando, se obtiene que el costo de mantenimiento anual es de ¢556 532.44

4.2 Recálculo de la cantidad de luminarias necesarias

A continuación se presentan cuatro propuestas de rediseño, en las que se evalúan diferentes opciones de luminarias que puedan satisfacer los requerimientos de modernizar el sistema de iluminación, manteniendo o mejorando las condiciones actuales de luminosidad y, sobre todo, su rentabilidad. Ninguna de estas propuestas incluye mejora alguna o intervención de algún tipo en el cableado o cambio de protecciones del sistema actual. Por el contrario, se busca que la cantidad de luminarias que se instale sea igual o inferior a las que ya existen para utilizar los mismos retornos, interruptores y circuitos eléctricos.

²¹ <https://www.ellagar.com/tienda/5606-ellagar-5606>

²² <https://www.ellagar.com/tienda/balastro&results>

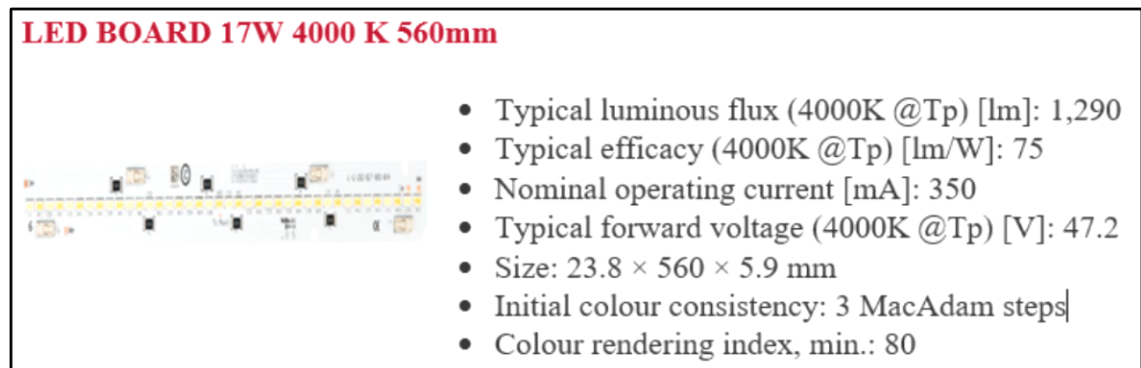
4.2.1 Análisis de primera propuesta (caso 1)

La propuesta en este caso se basa en el planteo de una renovación que consiste en el suministro e instalación de 451 balastos, 902 tubos led y 232 luminarias empotrables circulares. Se propone mantener las carcadas de las luminarias actuales (retro fit), pero se deben cambiar el balastro, las patillas de sujeción y los tubos ahora con tecnología led. Un detalle importante de tomar en cuenta es que no se ofrece instalar más luminarias de las que ya existen.

4.2.1.1 Especificaciones técnicas (caso 1)

El modelo de los tubos que se instalaría es el *GELMA560A840AGE98460* el cual presenta las siguientes características:

Figura 22: características del tubo led GELMA560A840AGE98460



Fuente: <https://www.helvar.com/en/products/c-2/>

El modelo de los balastos es *D-GELD36DMV70 GE66904* y presenta las siguientes características:

Figura 23: características del balastro D-GELD36DMV70 GE66904



Fuente: <http://commercial.gelighting.com/catalog/p/66904>

4.2.1.2 Cálculo de la cantidad de luminarias con el método de los lúmenes (caso 1)

Para validar esta opción se procede a analizarla con el método de lúmenes, buscando la cantidad de luminarias requerida para lograr el nivel de iluminación óptimo. Como ejemplo representativo se va a tomar la sala funcional del gimnasio del segundo piso, en donde actualmente hay instaladas 10 luminarias. Se esperaría que esta propuesta cumpla con los requerimientos lumínicos con un máximo de 10 luminarias.

Con este método lo primero es establecer los factores de corrección.

Se define un factor de mantenimiento de 0,8 por ser un ambiente limpio.

Tabla 24: Coeficiente de mantenimiento para el método de los lúmenes.

Ambiente	C_m
Limpio	0.8
Sucio	0.6

Fuente: Iluminación y color.

El índice K se obtiene de:

$$K = \frac{a * b}{h * (a + b)}$$

Donde:

a: ancho del aposento.

b: largo del aposento.

h: altura del aposento.

$$\frac{9,8 * 8,7}{2,5 * (9,8 + 8,7)} = 1.84$$

El factor de utilización se obtiene interpolando en la tabla:

Donde se han escogido los valores de reflectancia para el piso 0,20, para el techo 0,70 y para las paredes 0,70.

Tabla 25: Tabla de corrección

Tabla de corrección						
Techo	0.70	0.70	0.70	0.50	0	
Pared	0.70	0.50	0.20	0.20	0	
Suelo	0.50	0.20	0.20	0.10	0	
k	0.6	77	58	49	48	45
k	1.0	100	77	69	67	63
k	1.5	116	91	84	80	77
k	2.5	129	100	95	90	86
k	3.0	133	103	99	93	89

Interpolando los datos:

$$0,91 + \frac{1,84 - 1,5}{2,5 - 1,5} (0,1 - 0,91) = 94,06$$

Se llega a un factor de utilización de:

$$f_u = 0.9406$$

Cálculo del flujo luminoso requerido.

$$\Phi_T = \frac{E_m * S}{C_u * C_m}$$

$$\Phi_T = \frac{300 \text{ Lux} * 85.26 \text{ m}^2}{0.94 * 0.8} = 34013,3 \text{ lm}$$

Y para obtener la cantidad de luminarias:

$$NL = \frac{\Phi_T}{n * \Phi_L}$$

$$NL = \frac{34013,3}{2 * 1290} = 13.18 \simeq 14 \text{ Luminarias}$$

A continuación se presenta un cuadro resumen con la estimación de luminarias que se requerirían bajo esta configuración:

Tabla 26: Tabla resumen cantidad de luminarias nivel 4 propuesta 1.

Nivel	Aposento	E _m	a	b	h	K	S	C _u	C _m	Φ _T	Φ _L	NL
4	Proveeduría	500	4	3,32	2,5	0,72568306	13,28	0,77	0,8	10779,22078	2580	4
	Financiero	500	5,53	3,27	2,5	0,821959091	18,0831	0,77	0,8	14677,84091	2580	6
	Oficina	500	2,81	3,47	2,5	0,621063694	9,7507	0,77	0,8	7914,529221	2580	3
	Auditoría	500	2,78	3,29	2,5	0,602714992	9,1462	0,77	0,8	7423,863636	2580	3
	Sala de espera	200	3,98	4,46	2,5	0,841270142	17,7508	0,77	0,8	5763,246753	2580	2
	Copiado	100	2	1,5	2,5	0,342857143	3	0,77	0,8	487,012987	1100	1
	Tableros	200	2,38	1,8	2,5	0,409952153	4,284	0,77	0,8	1390,909091	1100	1
	Comedor	100	3,79	6,74	2,5	0,970355176	25,5446	0,77	0,8	4146,850649	2580	2
	Aseo	100	1,67	2,48	2,5	0,399190361	4,1416	0,77	0,8	672,3376623	1100	1
	Aseo	100	1,67	2,48	2,5	0,399190361	4,1416	0,77	0,8	672,3376623	1100	1
	Tesorería	500	8,46	3,5	2,5	0,990301003	29,61	0,77	0,8	24034,09091	2580	9
	Computo	500	5,14	3,55	2,5	0,83990794	18,247	0,77	0,8	14810,87662	2580	6
	Rack	200	1,2	3,5	2,5	0,357446809	4,2	0,77	0,8	1363,636364	1100	1
	Tecnología	500	2,58	3,5	2,5	0,594078947	9,03	0,77	0,8	7329,545455	2580	3
	Comunicaciones	500	2,95	3,5	2,5	0,640310078	10,325	0,77	0,8	8380,681818	2580	3
	RRHH	500	2,7	3,5	2,5	0,609677419	9,45	0,77	0,8	7670,454545	2580	3
	Planificación	500	2,9	3,5	2,5	0,634375	10,15	0,77	0,8	8238,636364	2580	3
	S.S	100	1,35	1,35	2,5	0,27	1,8225	0,77	0,8	295,8603896	1100	1
	Dirección	500	6	3,5	2,5	0,884210526	21	0,77	0,8	17045,45455	2580	7
	S.S hombres	100	2,8	3,8	2,5	0,644848485	10,64	0,77	0,8	1727,272727	1100	2
	S.S mujeres	100	2,5	2,8	2,5	0,528301887	7	0,77	0,8	1136,363636	1100	1
	S.S	100	2,55	1,3	2,5	0,344415584	3,315	0,77	0,8	538,1493506	1100	1
	oficina	500	5,05	3,74	2,5	0,859476678	18,887	0,77	0,8	15330,35714	2580	6
	Oficina	500	2,68	5,05	2,5	0,700336352	13,534	0,77	0,8	10985,38961	2580	4
	Area comun	200	7,73	20	2,5	2,23007573	154,6	0,77	0,8	50194,80519	2580	19
	Area comun	200	11,2	12,2	2,5	2,335726496	136,64	0,77	0,8	44363,63636	2580	17
	Escaleras	200	8	4	2,5	1,066666667	32	0,77	0,8	10389,61039	2580	4

Fuente propia

Tabla 27: Tabla resumen cantidad de luminarias nivel 3 propuesta 1.

Nivel	Aposento	Em	a	b			S	Cu	Cm	Φ τ	Φ L	NL
3	Aula #2	500	8,5	10,38	2,5	1,869279661	88,23	0,77	0,8	71615,25974	2580	28
	Aula #1	500	8,5	10,26	2,5	1,859488273	87,21	0,77	0,8	70787,33766	2580	27
	Aula #3	500	9,7	9	2,5	1,867379679	87,3	0,77	0,8	70860,38961	2580	27
	Fiscalia	500	5,25	9	2,5	1,326315789	47,25	0,77	0,8	38352,27273	2580	15
	Sala	400	6,28	5,44	2,5	1,165979522	34,1632	0,77	0,8	22183,8961	2580	9
	Sala	400	6,28	3,47	2,5	0,894014359	21,7916	0,77	0,8	14150,38961	2580	5
	Sala de juntas	500	10,2	7,87	2,5	1,776956281	80,274	0,77	0,8	65157,46753	2580	25
	Presidente	500	4,43	6,78	2,5	1,07173595	30,0354	0,77	0,8	24379,38312	2580	9
	Direccion	500	4,41	6,16	2,5	1,02802649	27,1656	0,77	0,8	22050	2580	9
	S.S	100	4,43	2,35	2,5	0,614188791	10,4105	0,77	0,8	1690,016234	1100	2
	S.S	100	1,35	1,35	2,5	0,27	1,8225	0,77	0,8	295,8603896	1100	1
	S.S	100	1,35	1,35	2,5	0,27	1,8225	0,77	0,8	295,8603896	1100	1
	Bodega	400	3,7	1,16	2,5	0,353251029	4,292	0,77	0,8	2787,012987	1100	3
	Junta directiva	500	9,9	5,29	2,5	1,379091508	52,371	0,77	0,8	42508,92857	2580	16
	Pasillos	200	35	2,5	2,5	0,933333333	87,5	0,77	0,8	28409,09091	2580	11
	Escaleras	200	4	8	2,5	1,066666667	32	0,77	0,8	10389,61039	2580	4
	S.S mujeres	100	4,18	3,9	2,5	0,807029703	16,302	0,77	0,8	2646,428571	1100	2
	S.S hombres	100	3,48	3,76	2,5	0,722917127	13,0848	0,77	0,8	2124,155844	1100	2
	Nutricion	500	3,77	3,89	2,5	0,76581201	14,6653	0,77	0,8	11903,6526	2580	5
	Oficina	500	6,31	3,9	2,5	0,964113614	24,609	0,77	0,8	19974,83766	2580	8
	Desarrollo	500	2,9	3,8	2,5	0,657910448	11,02	0,77	0,8	8944,805195	2580	3
	Oficina	500	3,11	3,23	2,5	0,633772871	10,0453	0,77	0,8	8153,652597	2580	3
	Rack	400	1,73	2,38	2,5	0,400720195	4,1174	0,77	0,8	2673,636364	1100	2

Fuente: propia

Tabla 28: Tabla resumen cantidad de luminarias nivel 2 propuesta 1.

Nivel	Aposento	Em	a	b			S	Cu	Cm	Φ τ	Φ L	NL
2	Sala Funcional	300	9,8	8,7	2,5	1,843459459	85,26	0,77	0,8	41522,72727	2580	16
	Pasillo	200	4,5	1,5	2,5	0,45	6,75	0,77	0,8	2191,558442	2580	1
	Rack	400	2,45	1,8	2,5	0,415058824	4,41	0,77	0,8	2863,636364	1100	3
	Aerobicos	300	16	9	2,5	2,304	144	0,77	0,8	70129,87013	2580	27
	pasillos	200	35	2,35	2,5	0,88085676	82,25	0,77	0,8	26704,54545	2580	10
	Pesas	300	4,5	16,5	2,5	1,414285714	74,25	0,77	0,8	36160,71429	2580	14
	Pesas	300	13	8,5	2,5	2,055813953	110,5	0,77	0,8	53814,93506	2580	21
	S.S	100	10,3	2,4	2,5	0,778582677	24,72	0,77	0,8	4012,987013	2580	2
	S.S	100	9	3	2,5	0,9	27	0,77	0,8	4383,116883	2580	2
	Escaleras	200	8	4	2,5	1,066666667	32	0,77	0,8	10389,61039	2580	4

Fuente propia.

Tabla 29: Tabla resumen cantidad de luminarias nivel 1 propuesta 1.

Nivel	Aposento	E _m	a	b			S	C _u	C _m	Φ _T	Φ _L	NL
1	Lobby	400	18	13	2,5	3,019354839	234	0,77	0,8	151948,0519	2580	59
	Sala espera	200	11	7	2,5	1,711111111	77	0,77	0,8	25000	2580	10
	Pasillo	200	11	3	2,5	0,942857143	33	0,77	0,8	10714,28571	2580	4
	Archivo	300	10	7	2,5	1,647058824	70	0,77	0,8	34090,90909	2580	13
	Escaleras	200	8	4	2,5	1,066666667	32	0,77	0,8	10389,61039	2580	4
	Oficina	500	6	6	2,5	1,2	36	0,77	0,8	29220,77922	2580	11
	Atencion Publico	400	4	5,5	2,5	0,926315789	22	0,77	0,8	14285,71429	2580	6
	Oficina	500	4,31	2,96	2,5	0,701931224	12,7576	0,77	0,8	10355,19481	2580	4
	Mutual	500	4,31	2,96	2,5	0,701931224	12,7576	0,77	0,8	10355,19481	2580	4
	Seguros	500	4,31	2,96	2,5	0,701931224	12,7576	0,77	0,8	10355,19481	2580	4
	Tribunal	500	4,31	2,96	2,5	0,701931224	12,7576	0,9	0,8	8859,444444	2580	3
	auditorio	300	443	1	2,5	0,399099099	443	0,8	0,8	207656,25	2580	80
Total luminarias												609,0
Total 12 W Spot LED												25,0

Fuente propia.

Según el método de los lúmenes el cálculo determina que se requieren 609 luminarias en esta configuración para cumplir con el flujo luminoso recomendado en la norma.

4.2.1.3 Cálculo del consumo eléctrico esperado según datos de las luminarias sugeridas (caso 1)

Para determinar el consumo del sistema de iluminación del caso 1 se aplica la metodología siguiente, en la cual se parte de una potencia de 16w, con un tiempo promedio de utilización de 9 horas y con 30 días al mes.

$$\frac{kWh}{mes} = W * \frac{horas}{día} * \frac{día}{mes} * cantidad\ de\ balastros$$

$$\frac{kWh}{mes} = 16\ W * \frac{9\ horas}{día} * \frac{30\ día}{mes} * 451\ balastros = 1948,32kWh/mes$$

Este procedimiento anterior se aplica igualmente para encontrar el consumo eléctrico por mes de los 902 tubos led y las 232 empotrables, de lo que se obtiene la siguiente tabla resumen:

Tabla 30: Estimación del consumo eléctrico propuesta 1

Luminaria	Cantidad	Potencia	Horas/día	kWh/mes	Lúmen Lm/W	
DRIVER LED 36 W 120 – 277 V	451	16	64944	1948,32	na	na
LED BOARD 17W 4000 K 560mm	902	17	138006	4140,18	1290	75,8824
HOUSING BLANCO LED 12 W 4000 K	232	12	25056	751,68	900	75
Total				6840,18		

Fuente propia

$$\frac{kWh}{año} = \frac{6840,18}{mes} * 12 \frac{mes}{año} = 82\,082,2 \frac{kWh}{año}$$

Ahora para la cantidad real necesaria de luminarias se hacen los mismos cálculos y se obtiene la siguiente tabla resumen:

Tabla 31: Estimación del consumo eléctrico propuesta 1 con cantidad real

Luminaria	Cantidad	Potencia	Horas/día	kWh/mes	Lúmen Lm/W	
DRIVER LED 36 W 120 – 277 V	609	16	87696	2630,88	na	na
LED BOARD 17W 4000 K 560mm	1218	17	186354	5590,62	1290	75,8824
HOUSING BLANCO LED 12 W 4000 K	25	12	2700	81	900	75
Total				8302,5		

Fuente propia

$$\frac{kWh}{año} = \frac{8302,5}{mes} * 12 \frac{mes}{año} = 99\,630 \frac{kWh}{año}$$

Esta oferta tiene un costo de total por materiales sin mano de obra de \$47 360 .37, según la factura pro forma N.º 13764 de la empresa Iluminaciones Técnicas de Costa Rica. En el anexo 5 se adjunta la oferta.

4.2.2 Análisis de la segunda propuesta (caso 2)

La propuesta en este caso se basa en el planteo de una renovación que consiste en el suministro e instalación de 270 paneles de iluminación led y 232 luminarias empotrables circulares. Un detalle importante de tomar en cuenta es que no se ofrece instalar más luminarias de las que ya existen. Pero sí se necesita hacer las instalaciones nuevas para la alimentación de las nuevas luminarias.

4.2.2.1 Especificaciones técnicas (caso 2)

Las siguientes especificaciones corresponden a las luminarias sugeridas:

Figura 24: Especificaciones luminarias propuesta 2 (LED-ELC-24-BW)

ELC LED Troffer (Driver and Boards from LG Innotek)		
Specification	ELC22-3735-1	ELC24-4835-1
Output Wattage*	28.73	48.04
Delivered Lumens*	2699.3	4739.1
Efficacy*	94	98.7
Color Rendering Index*	83.7	83.8
Color Temperature	3610	3601
Minimum Ambient Temp	-4F	-4F
Maximum Ambient Temp	140F	140F
Dimming	0-10V	0-10V
THD	<20	<20
Rated Life (L70)	50,000 hrs	50,000 hrs
Warranty	5 Years	5 Years
Voltage	120-277V	120-277V
Operating Freq	50/60	50/60
UL	Yes	Yes
FCC	Compliant	Compliant

* Values taken from LM-79 reports. For additional options, please contact A.L.P

Fuente: <http://www.alplighting.com/images/products/pdf>

Figura 25: Luminaria LED-ELC-24-BW



Fuente: <http://www.led-troffer-light.com/indoor-led-lighting>

Figura 26: Especificaciones luminaria LDLG36L2SP40.

NUEVO

Downlight Hemisphere - GEN 3

SKU	Descripción	Acabado	Pulgadas	Voltaje (V)	Potencia (W)	Flujo	TTC	Vida L70 (hrs)	Clasificación movilidad
39310	LDLG34L1SP30	Metal	4	100-240V	7.5W	3,000	600	40,000	MTO
39315	LDLG34L1SP40	Metal	4	100-240V	7.5W	4,000	650	40,000	MTS
39344	LDLG34L1SP65	Metal	4	100-240V	7.5W	6,500	650	40,000	MTO
39417	LDLG36L2SP30	Metal	6	100-240V	12W	3,000	1,050	40,000	MTS
39420	LDLG36L2SP40	Metal	6	100-240V	12W	4,000	1,100	40,000	MTS
39432	LDLG36L2SP65	Metal	6	100-240V	12W	6,500	1,100	40,000	MTS
39500	LDLG38L1SP30	Metal	8	100-240V	18W	3,000	1,500	40,000	MTO
39504	LDLG38L1SP40	Metal	8	100-240V	18W	4,000	1,600	40,000	MTS
39508	LDLG38L1SP65	Metal	8	100-240V	18W	6,500	1,600	40,000	MTO
39531	LDLG38L3SP30	Metal	8	100-240V	30W	3,000	2,500	40,000	MTS

Fuente: <http://www.gelighting.com/LightingWeb/la/north/images/Guia-Rapida-Lamparas-LED-2016>.

Figura 27: Luminaria LDLG36L2SP40.



Fuente: <http://www.lg.com/us/led-lights/lg-D6AN131ECC0.BUAAWAA-led-retrofit-downlight>

4.2.2.2 Cálculo de la cantidad de luminarias por el método de los lúmenes (caso 2)

Para validar esta opción se procede a analizarla con el método de lúmenes, buscando la cantidad de luminarias requerida para lograr el nivel de iluminación óptimo. Como ejemplo representativo se toma la oficina de dirección en el nivel 3:

Se estable un factor de mantenimiento de 0,8 por ser un ambiente limpio.

El índice K se obtiene de:

$$\frac{4,41 * 6,16}{2,5 * (4,41 + 6,16)} = 1,02$$

El factor de utilización se obtiene interpolando en la tabla:

Tabla 32: Tabla de corrección

Tabla de corrección						
Techo	0.70	0.70	0.70	0.50	0	
Pared	0.70	0.50	0.20	0.20	0	
Suelo	0.50	0.20	0.20	0.10	0	
k	0.6	77	58	49	48	45
k	1.0	100	77	69	67	63
k	1.5	116	91	84	80	77
k	2.5	129	100	95	90	86
k	3.0	133	103	99	93	89

Fuente: <http://grlum.dpe.upc.edu/manual/diseñoProyecto-ejercicios.php>

$$f_u = 1$$

Cálculo del flujo luminoso requerido.

$$\Phi_T = \frac{500 \text{ Lux} * 27,16 \text{ m}^2}{1 * 0.8} = 16\,975 \text{ lm}$$

Donde:

$$NL = \frac{16\,975}{4739} = 3,58 \simeq 4 \text{ Luminarias}$$

A continuación se presenta un cuadro resumen con la estimación de luminarias que se requerirían bajo esta configuración:

Tabla 33: Tabla resumen cantidad de luminarias nivel 4 propuesta 2.

Nivel	Aposento	Em	a	b	h	K	S	Cu	Cm	Φ T	Φ L	NL
4	Proveeduría	500	4	3,32	2,5	0,726	13,28	0,8	0,8	10779,2208	4739	2
	Financiero	500	5,53	3,27	2,5	0,822	18,0831	0,8	0,8	14677,8409	4739	3
	Oficina	500	2,81	3,47	2,5	0,621	9,7507	0,8	0,8	7914,52922	4739	2
	Auditoría	500	2,78	3,29	2,5	0,603	9,1462	0,8	0,8	7423,86364	4739	2
	Sala de espera	200	3,98	4,46	2,5	0,841	17,7508	0,8	0,8	5763,24675	4739	1
	Copiado	100	2	1,5	2,5	0,343	3	0,8	0,8	487,012987	1100	1
	Tableros	200	2,38	1,8	2,5	0,41	4,284	0,8	0,8	1390,90909	1100	1
	Comedor	100	3,79	6,74	2,5	0,97	25,5446	0,8	0,8	4146,85065	4739	1
	Aseo	100	1,67	2,48	2,5	0,399	4,1416	0,8	0,8	672,337662	1100	1
	Aseo	100	1,67	2,48	2,5	0,399	4,1416	0,8	0,8	672,337662	1100	1
	Tesosería	500	8,46	3,5	2,5	0,99	29,61	0,8	0,8	24034,0909	4739	5
	Computo	500	5,14	3,55	2,5	0,84	18,247	0,8	0,8	14810,8766	4739	3
	Rack	200	1,2	3,5	2,5	0,357	4,2	0,8	0,8	1363,63636	1100	1
	Tecnología	500	2,58	3,5	2,5	0,594	9,03	0,8	0,8	7329,54545	4739	2
	Comunicación	500	2,95	3,5	2,5	0,64	10,325	0,8	0,8	8380,68182	4739	2
	RRHH	500	2,7	3,5	2,5	0,61	9,45	0,8	0,8	7670,45455	4739	2
	Planificación	500	2,9	3,5	2,5	0,634	10,15	0,8	0,8	8238,63636	4739	2
	S.S	100	1,35	1,35	2,5	0,27	1,8225	0,8	0,8	295,86039	1100	1
	Dirección	500	6	3,5	2,5	0,884	21	0,8	0,8	17045,4545	4739	4
	S.S hombres	100	2,8	3,8	2,5	0,645	10,64	0,8	0,8	1727,27273	1100	2
	S.S mujeres	100	2,5	2,8	2,5	0,528	7	0,8	0,8	1136,36364	1100	1
	S.S	100	2,55	1,3	2,5	0,344	3,315	0,8	0,8	538,149351	1100	1
	oficina	500	5,05	3,74	2,5	0,859	18,887	0,8	0,8	15330,3571	4739	3
	Oficina	500	2,68	5,05	2,5	0,7	13,534	0,8	0,8	10985,3896	4739	2
	Area comun	200	7,73	20	2,5	2,23	154,6	0,8	0,8	50194,8052	4739	11
	Area comun	200	11,2	12,2	2,5	2,336	136,64	0,8	0,8	44363,6364	4739	9
	Escaleras	200	8	4	2,5	1,067	32	0,8	0,8	10389,6104	4739	2

Fuente: Propia

Tabla 34: Tabla resumen cantidad de luminarias nivel 3 propuesta 2

Nivel	Aposento	Em	a	b			S	Cu	Cm	Φ T	Φ L	NL
3	Aula #2	500	8,5	10,38	2,5	1,869	88,23	0,8	0,8	71615,2597	4739	15
	Aula #1	500	8,5	10,26	2,5	1,859	87,21	0,8	0,8	70787,3377	4739	15
	Aula #3	500	9,7	9	2,5	1,867	87,3	0,8	0,8	70860,3896	4739	15
	Fiscalía	500	5,25	9	2,5	1,326	47,25	0,8	0,8	38352,2727	4739	8
	Sala	400	6,28	5,44	2,5	1,166	34,1632	0,8	0,8	22183,8961	4739	5
	Sala	400	6,28	3,47	2,5	0,894	21,7916	0,8	0,8	14150,3896	4739	3
	Sala de juntas	500	10,2	7,87	2,5	1,777	80,274	0,8	0,8	65157,4675	4739	14
	Presidente	500	4,43	6,78	2,5	1,072	30,0354	0,8	0,8	24379,3831	4739	5
	Dirección	500	4,41	6,16	2,5	1,028	27,1656	0,8	0,8	22050	4739	5
	S.S	100	4,43	2,35	2,5	0,614	10,4105	0,8	0,8	1690,01623	1100	2
	S.S	100	1,35	1,35	2,5	0,27	1,8225	0,8	0,8	295,86039	1100	1
	S.S	100	1,35	1,35	2,5	0,27	1,8225	0,8	0,8	295,86039	1100	1
	Bodega	400	3,7	1,16	2,5	0,353	4,292	0,8	0,8	2787,01299	1100	3
	Junta directiva	500	9,9	5,29	2,5	1,379	52,371	0,8	0,8	42508,9286	4739	9
	Pasillos	200	35	2,5	2,5	0,933	87,5	0,8	0,8	28409,0909	4739	6
	Escaleras	200	4	8	2,5	1,067	32	0,8	0,8	10389,6104	4739	2
	S.S mujeres	100	4,18	3,9	2,5	0,807	16,302	0,8	0,8	2646,42857	1100	2
	S.S hombres	100	3,48	3,76	2,5	0,723	13,0848	0,8	0,8	2124,15584	1100	2
	Nutrición	500	3,77	3,89	2,5	0,766	14,6653	0,8	0,8	11903,6526	4739	3
	Oficina	500	6,31	3,9	2,5	0,964	24,609	0,8	0,8	19974,8377	4739	4
	Desarrollo	500	2,9	3,8	2,5	0,658	11,02	0,8	0,8	8944,80519	4739	2
	Oficina	500	3,11	3,23	2,5	0,634	10,0453	0,8	0,8	8153,6526	4739	2
	Rack	400	1,73	2,38	2,5	0,401	4,1174	0,8	0,8	2673,63636	1100	2

Fuente propia

Tabla 35: Tabla resumen cantidad de luminarias nivel 2 propuesta 2.

Nivel	Aposento	Em	a	b			S	Cu	Cm	Φ T	Φ L	NL
2	Sala Funciona	300	9,8	8,7	2,5	1,843	85,26	0,8	0,8	41522,7273	4739	9
	Pasillo	200	4,5	1,5	2,5	0,45	6,75	0,8	0,8	2191,55844	4739	1
	Rack	400	2,45	1,8	2,5	0,415	4,41	0,8	0,8	2863,63636	1100	3
	Aerobicos	300	16	9	2,5	2,304	144	0,8	0,8	70129,8701	4739	15
	pasillos	200	35	2,35	2,5	0,881	82,25	0,8	0,8	26704,5455	4739	6
	Pesas	300	4,5	16,5	2,5	1,414	74,25	0,8	0,8	36160,7143	4739	8
	Pesas	300	13	8,5	2,5	2,056	110,5	0,8	0,8	53814,9351	4739	11
	S.S	100	10,3	2,4	2,5	0,779	24,72	0,8	0,8	4012,98701	4739	1
	S.S	100	9	3	2,5	0,9	27	0,8	0,8	4383,11688	4739	1
	Escaleras	200	8	4	2,5	1,067	32	0,8	0,8	10389,6104	4739	2

Fuente propia

Tabla 36: Tabla resumen cantidad de luminarias nivel 1 propuesta 2.

Nivel	Aposento	Em	a	b			S	Cu	Cm	Φ T	Φ L	NL
1	Lobby	400	18	13	2,5	3,019	234	0,8	0,8	146433,041	4739	31
	Sala espera	200	11	7	2,5	1,711	77	0,8	0,8	24092,6158	4739	5
	Pasillo	200	11	3	2,5	0,943	33	0,8	0,8	10325,4068	4739	2
	Archivo	300	10	7	2,5	1,647	70	0,8	0,8	32853,567	4739	7
	Escaleras	200	8	4	2,5	1,067	32	0,8	0,8	10012,5156	4739	2
	Oficina	500	6	6	2,5	1,2	36	0,8	0,8	28160,2003	4739	6
	Atencion Publ	400	4	5,5	2,5	0,926	22	0,8	0,8	13767,209	4739	3
	Oficina	500	4,31	2,96	2,5	0,702	12,7576	0,8	0,8	9979,34919	4739	2
	Mutual	500	4,31	2,96	2,5	0,702	12,7576	0,8	0,8	9979,34919	4739	2
	Seguros	500	4,31	2,96	2,5	0,702	12,7576	0,8	0,8	9979,34919	4739	2
	Tribunal	500	4,31	2,96	2,5	0,702	12,7576	0,8	0,8	9979,34919	4739	2
	auditorio	300	443	1	2,5	0,399	443	0,8	0,8	207916,145	4739	44
	Total 72 W Panel LE											322,0
	Total 12 W Spot LED											25,0

Fuente propia

4.2.2.3 Cálculo del consumo eléctrico esperado según los datos de las luminarias propuestas (caso 2)

Para determinar el consumo del sistema de iluminación del caso 2 se aplica la metodología siguiente, en la que se parte de una potencia de 72 W, con un tiempo promedio de utilización de 9 horas y con 30 días al mes.

$$\frac{kWh}{mes} = W * \frac{horas}{día} * \frac{día}{mes} * cantidad\ de\ luminarias$$

$$\frac{kWh}{mes} = 72\ W * \frac{9\ horas}{día} * \frac{30\ día}{mes} * 322\ luminarias = 6\ 259,68\ kWh/mes$$

El procedimiento anterior se aplica igualmente para encontrar el consumo eléctrico por mes de las empotrables, de lo que se obtiene la siguiente tabla resumen.

Tabla 37: Estimación consumo eléctrico por iluminación, propuesta 2.

Luminaria	Cantidad	Potencia	Horas/día	kWh/mes	Lúmenes	Lm/W
LED BOARD 72W 4000 K	322	72	208656	6259,68	4739	65,8194444
HOUSING BLANCO LED 12 W 4000 K	25	12	2700	81	900	75
Total				6340,68		

Fuente: Propia.

$$\frac{kWh}{año} = \frac{6\,340,68}{mes} * 12 \frac{mes}{año} = 76\,088,16 \frac{kWh}{año}$$

Esta oferta tiene un costo total por materiales sin mano de obra de \$74 257,18, según la factura pro forma N.º 13766 de la empresa Iluminaciones Técnicas de Costa Rica. En el anexo 6 se adjunta la oferta.

4.2.3 Análisis de tercera propuesta (caso 3)

La propuesta, en este caso, se basa en el planteo de una renovación que consiste en el suministro e instalación de 355 paneles de iluminación led de 45 W y luminarias empotrables circulares de 9 W y 21 W. Un detalle importante de tomar en cuenta es que no se ofrece instalar más luminarias de las que ya existen.

4.2.3.1 Especificaciones técnicas (caso 3)

Las luminarias contempladas tienen las siguientes características técnicas:

Figura 28: Especificaciones panel led SQ 45W

Panel LED

**LED Panel SQ 45W DL Unv
P24345**



DATOS ÓPTICOS	DATOS FÍSICOS	DATOS ELECTRICOS
ANGULO DE APERTURA	CLASIFICACIÓN IP	CONSUMO TOTAL DE POTENCIA (W)
120°	IP20	45W
FLUJO LUMINOSO (lm)	COLOR	VOLTAJE
4000lm	Blanco	100-277V
TIPO DE DISTRIBUCIÓN	MONTAJE	EFICACIA
Directo Simétrico	Sobreponer, Incrustar o Descolga	88lm/W
IRC	DIMENSIONES (L x W x H) (mm)	CORRIENTE (A)
70Ra	595 x 595 x 11	0.45
VIDA PROMEDIO	CHASIS	
35000h	Bordes revestidos en aluminio, difusor opalizado en policarbonato.	
TEMPERATURA DE COLOR		
6000K		

Fuente: www.havells-sylvania.com.co/.../PANEL%20LED

Figura 29: Luminaria panel led SQ 45W



Fuente: <http://www.ecoprojects.com.co/elemento/sylvania-panel-led>

4.2.3.2 Cálculo de la cantidad de luminarias con el método de los lúmenes (caso 3)

Para validar esta opción se procede a analizarla con el método de lúmenes, buscando la cantidad de luminarias requerida para lograr el nivel de iluminación óptimo. Como ejemplo representativo se toma la oficina de dirección en el nivel 3:

Se estable un factor de mantenimiento de 0,8 por ser un ambiente limpio.

El índice K se obtiene de:

$$\frac{4,41 * 6,16}{2,5 * (4,41 + 6,16)} = 1,02$$

El factor de utilización se obtiene interpolando en la tabla:

Tabla 38: Tabla de corrección

Tabla de corrección						
Techo	0.70	0.70	0.70	0.50	0	
Pared	0.70	0.50	0.20	0.20	0	
Suelo	0.50	0.20	0.20	0.10	0	
k	0.6	77	58	49	48	45
k	1.0	100	77	69	67	63
k	1.5	116	91	84	80	77
k	2.5	129	100	95	90	86
k	3.0	133	103	99	93	89

$$f_u = 1$$

Cálculo del flujo luminoso requerido.

$$\Phi_T = \frac{500 \text{ Lux} * 27,16 \text{ m}^2}{1 * 0.8} = 16\,975 \text{ lm}$$

Donde:

$$NL = \frac{16\,975}{4000} = 4,2 \simeq 4 \text{ Luminarias}$$

De esta manera se debe hacer con cada oficina. A continuación se presenta una tabla resumen de todo el edificio:

Tabla 39: Tabla resumen cantidad de luminarias nivel 4 propuesta 3.

Nivel	Aposento	Em	a	b	h	K	S	Cu	Cm	Φ T	Φ L	NL
4	Proveeduría	500	4	3,32	2,5	0,726	13,28	0,8	0,8	10375	4000	3
	Financiero	500	5,53	3,27	2,5	0,822	18,0831	0,8	0,8	14127,42188	4000	4
	Oficina	500	2,81	3,47	2,5	0,621	9,7507	0,8	0,8	7617,734375	4000	2
	Auditoría	500	2,78	3,29	2,5	0,603	9,1462	0,8	0,8	7145,46875	4000	2
	Sala de espera	200	3,98	4,46	2,5	0,841	17,7508	0,8	0,8	5547,125	4000	1
	Copiado	100	2	1,5	2,5	0,343	3	0,8	0,8	468,75	900	1
	Tableros	200	2,38	1,8	2,5	0,41	4,284	0,8	0,8	1338,75	1500	1
	Comedor	100	3,79	6,74	2,5	0,97	25,5446	0,5	0,8	6386,15	4000	2
	Aseo	100	1,67	2,48	2,5	0,399	4,1416	0,8	0,8	647,125	900	1
	Aseo	100	1,67	2,48	2,5	0,399	4,1416	0,8	0,8	647,125	900	1
	Tesorería	500	8,46	3,5	2,5	0,99	29,61	0,8	0,8	23132,8125	4000	6
	Computo	500	5,14	3,55	2,5	0,84	18,247	0,8	0,8	14255,46875	4000	4
	Rack	200	1,2	3,5	2,5	0,357	4,2	0,8	0,8	1312,5	900	1
	Tecnología	500	2,58	3,5	2,5	0,594	9,03	0,8	0,8	7054,6875	4000	2
	Comunicaciones	500	2,95	3,5	2,5	0,64	10,325	0,8	0,8	8066,40625	4000	2
	RRHH	500	2,7	3,5	2,5	0,61	9,45	0,8	0,8	7382,8125	4000	2
	Planificación	500	2,9	3,5	2,5	0,634	10,15	0,8	0,8	7929,6875	4000	2
	S.S	100	1,35	1,35	2,5	0,27	1,8225	0,8	0,8	284,765625	900	1
	Dirección	500	6	3,5	2,5	0,884	21	0,8	0,8	16406,25	4000	4
	S.S hombres	100	2,8	3,8	2,5	0,645	10,64	0,8	0,8	1662,5	900	2
	S.S mujeres	100	2,5	2,8	2,5	0,528	7	0,8	0,8	1093,75	900	1
	S.S	100	2,55	1,3	2,5	0,344	3,315	0,8	0,8	517,96875	900	1
	oficina	500	5,05	3,74	2,5	0,859	18,887	0,8	0,8	14755,46875	4000	4
	Oficina	500	2,68	5,05	2,5	0,7	13,534	0,8	0,8	10573,4375	4000	3
	Area comun	200	7,73	20	2,5	2,23	154,6	0,8	0,8	48312,5	4000	12
	Area comun	200	11,2	12,2	2,5	2,336	136,64	0,8	0,8	42700	4000	11
	Escaleras	200	8	4	2,5	1,067	32	0,8	0,8	10000	4000	3

Fuente propia

Tabla 40: Tabla resumen cantidad de luminarias nivel 3 propuesta 3.

Nivel	Aposento	Em	a	b	h	K	S	Cu	Cm	Φ T	Φ L	NL
3	Aula #2	500	8,5	10,38	2,5	1,869	88,23	0,8	0,8	68929,6875	4000	17
	Aula #1	500	8,5	10,26	2,5	1,859	87,21	0,8	0,8	68132,8125	4000	17
	Aula #3	500	9,7	9	2,5	1,867	87,3	0,8	0,8	68203,125	4000	17
	Fiscalía	500	5,25	9	2,5	1,326	47,25	0,8	0,8	36914,0625	4000	9
	Sala	400	6,28	5,44	2,5	1,166	34,1632	0,8	0,8	21352	4000	5
	Sala	400	6,28	3,47	2,5	0,894	21,7916	0,8	0,8	13619,75	4000	3
	Sala de juntas	500	10,2	7,87	2,5	1,777	80,274	0,8	0,8	62714,0625	4000	16
	Presidente	500	4,43	6,78	2,5	1,072	30,0354	0,8	0,8	23465,15625	4000	6
	Dirección	500	4,41	6,16	2,5	1,028	27,1656	0,8	0,8	21223,125	4000	5
	S.S	100	4,43	2,35	2,5	0,614	10,4105	0,8	0,8	1626,640625	900	2
	S.S	100	1,35	1,35	2,5	0,27	1,8225	0,8	0,8	284,765625	900	1
	S.S	100	1,35	1,35	2,5	0,27	1,8225	0,8	0,8	284,765625	900	1
	Bodega	400	3,7	1,16	2,5	0,353	4,292	0,8	0,8	2682,5	900	3
	Junta directiva	500	9,9	5,29	2,5	1,379	52,371	0,8	0,8	40914,84375	4000	10
	Pasillos	200	35	2,5	2,5	0,933	87,5	0,8	0,8	27343,75	4000	7
	Escaleras	200	4	8	2,5	1,067	32	0,8	0,8	10000	4000	3
	S.S mujeres	100	4,18	3,9	2,5	0,807	16,302	0,8	0,8	2547,1875	1500	2
	S.S hombres	100	3,48	3,76	2,5	0,723	13,0848	0,8	0,8	2044,5	1500	1
	Nutrición	500	3,77	3,89	2,5	0,766	14,6653	0,8	0,8	11457,26563	4000	3
	Oficina	500	6,31	3,9	2,5	0,964	24,609	0,8	0,8	19225,78125	4000	5
	Desarrollo	500	2,9	3,8	2,5	0,658	11,02	0,8	0,8	8609,375	4000	2
	Oficina	500	3,11	3,23	2,5	0,634	10,0453	0,8	0,8	7847,890625	4000	2
	Rack	400	1,73	2,38	2,5	0,401	4,1174	0,8	0,8	2573,375	1500	2

Fuente propia

Tabla 41: Tabla resumen cantidad de luminarias nivel 2 propuesta 3.

Nivel	Aposento	Em	a	b			S	Cu	Cm	Φ T	Φ L	NL
2	Sala Funcional	300	9,8	8,7	2,5	1,843	85,26	0,8	0,8	39965,625	4000	10
	Pasillo	200	4,5	1,5	2,5	0,45	6,75	0,8	0,8	2109,375	4000	1
	Rack	400	2,45	1,8	2,5	0,415	4,41	0,8	0,8	2756,25	1500	2
	Aerobicos	300	16	9	2,5	2,304	144	0,8	0,8	67500	4000	17
	pasillos	200	35	2,35	2,5	0,881	82,25	0,8	0,8	25703,125	4000	6
	Pesas	300	4,5	16,5	2,5	1,414	74,25	0,8	0,8	34804,6875	4000	9
	Pesas	300	13	8,5	2,5	2,056	110,5	0,8	0,8	51796,875	4000	13
	S.S	100	10,3	2,4	2,5	0,779	24,72	0,8	0,8	3862,5	4000	1
	S.S	100	9	3	2,5	0,9	27	0,8	0,8	4218,75	4000	1
	Escaleras	200	8	4	2,5	1,067	32	0,8	0,8	10000	4000	3

Fuente: Propia

Tabla 42: Tabla resumen cantidad de luminarias nivel 1 propuesta 3.

Nivel	Aposento	Em	a	b			S	Cu	Cm	Φ T	Φ L	NL
1	Lobby	400	18	13	2,5	3,019	234	0,8	0,8	146250	4000	37
	Sala espera	200	11	7	2,5	1,711	77	0,8	0,8	24062,5	4000	6
	Pasillo	200	11	3	2,5	0,943	33	0,8	0,8	10312,5	4000	3
	Archivo	400	10	7	2,5	1,647	70	0,8	0,8	43750	4000	11
	Escaleras	200	8	4	2,5	1,067	32	0,8	0,8	10000	4000	3
	Oficina	500	6	6	2,5	1,2	36	0,8	0,8	28125	4000	7
	Atencion Publico	400	4	5,5	2,5	0,926	22	0,8	0,8	13750	4000	3
	Oficina	500	4,31	2,96	2,5	0,702	12,7576	0,8	0,8	9966,875	4000	2
	Mutual	500	4,31	2,96	2,5	0,702	12,7576	0,8	0,8	9966,875	4000	2
	Seguros	500	4,31	2,96	2,5	0,702	12,7576	0,8	0,8	9966,875	4000	2
	auditorio	300	443	1	2,5	0,399	443	0,8	0,8	207656,25	4000	52
	Tribunal	500	4,31	2,96	2,5	0,702	12,7576	0,8	0,8	9966,875	4000	2
	Total 45 W Panel LED											384
	Total 9 W Spot LED											15
	Total 21 W LED											8

Fuente propia

4.2.3.3 Cálculo del consumo eléctrico esperado según el dato de las luminarias propuestas (caso 3)

Para determinar el consumo del sistema de iluminación del caso 3 se aplica la metodología siguiente. Se parte de una potencia de 45 W, con un tiempo promedio de utilización de 9 horas y con 30 días al mes.

$$\frac{kWh}{mes} = W * \frac{horas}{día} * \frac{día}{mes} * cantidad\ de\ luminarias$$

$$\frac{kWh}{mes} = 45\ W * \frac{9\ horas}{día} * \frac{30\ día}{mes} * 384\ luminarias = 4\ 747,41\ kWh/mes$$

El procedimiento anterior se aplica igualmente para encontrar el consumo eléctrico por mes de las empotrables, de lo que se obtiene la siguiente tabla resumen:

Tabla 43: Estimación del consumo eléctrico por iluminación, propuesta 3.

Tipo Luminaria	cantidad	Total (Watts)	Total (KWH)	Total (KWH/mes)	Lúmenes	Lm/W
PANEL LIGHT 45 W	384	45	17,28	4665,6	4000	88,8888889
DOWN LIGHT 9 W	15	9	0,135	36,45	900	100
SYL LIGHTER 21 W	8	21	0,168	45,36	1500	71,4285714
TOTAL				4747,41		

Fuente propia.

$$\frac{kWh}{año} = \frac{4\,747.41}{mes} * 12 \frac{mes}{año} = 56\,968,92 \frac{kWh}{año}$$

Esta oferta tiene un costo de total por materiales y mano de obra de \$103 000, según la factura pro forma de la empresa Técnicas de Redes y Sistemas A y V. En el anexo 3 se adjunta la oferta.

4.2.3.1 Análisis de la cuarta propuesta

Esta se desarrollará en la segunda etapa de este estudio, cuando se valore la instalación de paneles fotovoltaicos, ya que lo que se propone es mantener el sistema de iluminación tal cual está y dimensionar el sistema solar incluyendo la carga por iluminación.

4.2.4 Cálculos del VAN y la TIR de propuestas de modernización de la iluminación

4.2.4.1 Planteamiento general

Para realizar el análisis financiero se debe tomar en cuenta el dato de la tabla 23, en el que se estima el consumo eléctrico actual por iluminación y se incluye el dato de las tablas 30, 36 y 43, en las que se estima el consumo eléctrico por iluminación en cada propuesta antes desarrollada, respectivamente.

Tomando la tarifa actual de electricidad proporcionada por la CNFL en ¢63,36 después de los primeros 3000 kWh y, como de ninguna manera se lograría un consumo

menor a este, interviniendo únicamente la iluminación, se toma como dato para calcular el ahorro anual en colones.

El costo de la inversión para cada una de las propuestas anteriores se convierte a colones tomando como referencia el dólar a \$575,60²³ por cada uno.

4.2.4.2 Determinación de gastos y ahorros para cada caso

Caso 1

A la inversión inicial se le debe sumar un monto por instalación de \$4 850, según la factura pro forma presentada en el anexo 8, ya que la oferta original no lo contempla.

Inversión inicial = costo de las luminarias + costo por la instalación.

$$\text{Inversión inicial} = (\$47\,360,37 + \$4\,850) * \text{¢} \frac{575,60}{\$1} = \text{¢}30\,052\,288,97$$

Según facturas pro forma en los anexos 5 y 8, respectivamente.

Según la tabla 23 y la tabla 30, se tiene que hay un ahorro en kWh/año de:

$$\frac{kWh}{año} \text{ sistema actual} - \frac{kWh}{año} \text{ previsto} = \text{ahorro en kWh/año}$$

$$116\,127kWh/año - 82\,082,2kWh/año = 34\,045kWh/año$$

En dinero representa un ahorro de $34\,045 \frac{kWh}{año} * \text{¢}63,36 = \text{¢}2\,157\,091,2$ por electricidad, a lo que se suma el ahorro por rubro de mantenimiento calculado en la sección 4.1.2 y que corresponde a $\text{¢}328\,824$ al año por concepto de repuestos.

El total de ahorro corresponde a $\text{¢}2\,157\,091 + \text{¢}328\,824 \text{ al año} = \text{¢}2\,485\,915$

²³ Dato tomado de la página oficial del BCCR, el 5 de julio del 2017.

Ahora se evaluará un caso 1.1 correspondiente al cálculo de la primera opción pero con las 609 luminarias que en realidad se requerirían, se tiene que la inversión inicial es:

Tabla 44: Costo de propuesta 1 real, basado en oferta anexo 1

Descripción	Cantidad	Precio	Subtotal
DRIVER LED 36 W 120 – 277 V	\$609	\$29	\$17.911
LED BOARD 17W 4000 K 560mm	\$1.218	\$23	\$28.014
HOUSING BLANCO LED 12 W 4000 K	\$232	\$34	\$7.902
		Sub. Total	\$53.827
		Impuesto	\$6.997
		Total	\$60.824

Fuente propia

A esta inversión inicial se le debe agregar el monto por instalación, el cual se encuentra en el anexo 8, que es de \$4850 por instalación, puesto que la oferta original no lo contempla.

Inversión inicial = costo de las luminarias + costo por la instalación.

$$\text{Inversión inicial } (\$60\,824 + \$4\,850) * \text{¢} \frac{575,60}{\$1} = \text{¢}37\,801\,954,4$$

Según la tabla 23 y la tabla 32 se tiene que hay un ahorro en kWh/año de:

$$\frac{kWh}{año} \text{ sistema actual} - \frac{kWh}{año} \text{ previsto} = \text{ahorro en kWh/año}$$

$$116\,127 \frac{kWh}{año} - 99\,630 \frac{kWh}{año} = 16\,497 \text{ kWh/año}$$

En dinero esto representa un ahorro de $16\,497 \frac{kWh}{año} * \text{¢}63,36 = \text{¢}1\,045\,249,92$ por electricidad, a lo que se le suma el ahorro por rubro de mantenimiento calculado en la sección 4.1.2 y que corresponde a $\text{¢}328\,824$ al año, por concepto de repuestos.

El total de ahorro corresponde a $\text{¢}1\,045\,249,92 + \text{¢}328\,824$ al año = $\text{¢}1\,374\,073$

Caso 2

A la inversión inicial se le debe sumar un monto por instalación de \$4850, porque la oferta original no lo contempla.

Inversión inicial = costo de las luminarias + costo por la instalación.

$$\text{Inversión inicial } (\$74\,257,18 + \$4850) * \text{¢} \frac{575,60}{\$1} = \text{¢}45\,533\,989,2$$

Según la tabla 23 y la tabla 37 se tiene que hay un ahorro en kWh/año de:

$$\frac{kWh}{año} \text{ sistema actual} - \frac{kWh}{año} \text{ previsto} = \text{ahorro en kWh/año}$$

$$116\,127 \frac{kWh}{año} - 76\,088,16 \frac{kWh}{año} = 40\,038,8 \text{ kWh/año}$$

En dinero esto representa un ahorro de $40\,038,8 \frac{kWh}{año} * \text{¢}63,36 = \text{¢}2\,536\,860,9$ por electricidad, a lo que se le suma el ahorro por rubro de mantenimiento calculado en la sección 4.1.2 y que corresponde a $\text{¢}328\,824$ al año, por concepto de repuestos.

El total de ahorro corresponde a $\text{¢}2\,536\,860 + \text{¢}328\,824 \text{ al año} = \text{¢}2\,865\,684$

Caso 3

Esta oferta sí incluye la mano de obra por instalación.

Inversión inicial = costo de las luminarias + costo por la instalación.

$$\text{Inversión inicial } \$103\,000 * \text{¢} \frac{575,60}{\$1} = \text{¢}59\,286\,800$$

Según la tabla 23 y la tabla 38 se tiene que hay un ahorro en kWh/año de:

$$\frac{kWh}{año} \text{ sistema actual} - \frac{kWh}{año} \text{ previsto} = \text{ahorro en kWh/año}$$

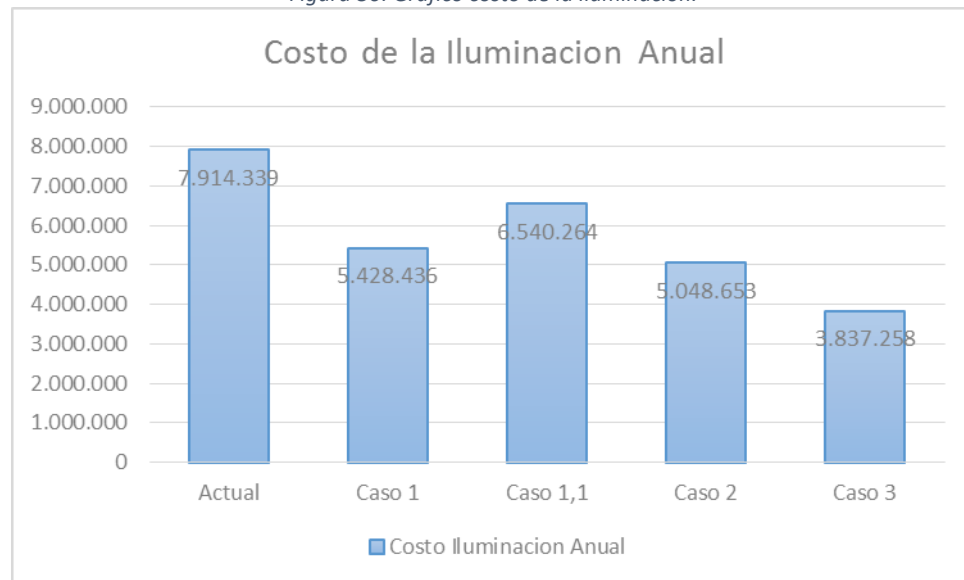
$$116\,127 \frac{kWh}{año} - 56\,968,92 \frac{kWh}{año} = 59\,158,1 \text{ kWh/año}$$

En dinero esto representa un ahorro de $59\,158,1 \frac{kWh}{año} * \$63,36 = \$3\,748\,255,94$ por electricidad, a lo que se le suma el ahorro por rubro de mantenimiento calculado en la sección 4.1.2 y que corresponde a $\$328\,824$ al año.

El total de ahorro corresponde a $\$3\,748\,255,94 + \$328\,824$ al año = $\$4\,077\,079,94$

Cada proyecto se calcula con una vida de 10 años, dado que es el promedio de vida útil de las luminarias led en cualquiera de los casos propuestos.

Figura 30: Gráfico costo de la iluminación.



Fuente: Propia

Se establece una tasa de rendimiento mínima aceptable de 7,15%, que es la tasa de interés que ofrece el BAC Credomatic para proyectos verdes, según el anexo 20.

A partir de la inflación promedio presentada en el sector electricidad en los últimos nueve años, se estimará una tasa de inflación anual.

Tabla 45: Índice de precios de servicios: electricidad.

Fecha	ene.2007	ene.2008	ene.2009	ene.2010	ene.2011	ene.2012	ene.2013	ene.2014	ene.2015	ene.2016
IPS	11494,26	12812,68	15934,28	18875,71	19216,91	18495,58	20053,41	21623,77	21971,76	20706,81

Fuente: http://www.bccr.fi.cr/indicadores_economicos_/Indices_Precios.html

El porcentaje de inflación interanual del sector electricidad estará dado por la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Variacion Interanual} = \frac{\text{Nivel General del IPS (año actual)}}{\text{Nivel General del IPS (año anterior)}} * 100 - 100$$

Fuente: <http://indicadoreseconomicos.bccr.fi.cr>

Sustituyendo los valores de la tabla 45 se obtiene:

Tabla 46: Inflación interanual calculada a partir del IPS: electricidad

Periodo	2007- 2008	2008- 2009	2009- 2010	2010- 2011	2011- 2012	2012- 2013	2013- 2014	2014- 2015	2015- 2016
Inflacion %	11,47	24,36	18,46	1,81	-3,75	8,42	7,83	1,61	-5,76

Fuente: Propia

Con base en los valores obtenidos en la tabla 46, se puede estimar una tasa de inflación anual promedio de 7,16%. Este valor se tomará como referencia para el incremento de la tarifa de servicio eléctrico y para calcular el ahorro generado en los próximos 10 años.

El porcentaje del aumento por el rubro de mantenimiento estará basado en los índices de salarios mínimos del sector industrial.

Tabla 47: Índice de precios de servicios: salarios.

Fecha	ene.2007	ene.2008	ene.2009	ene.2010	ene.2011	ene.2012	ene.2013	ene.2014	ene.2015	ene.2016
IPS	2.771,93	3.062,01	3.531,70	3.782,23	4.041,01	4.307,11	4.598,24	4.886,59	5.154,39	5.237,70

Fuente: propia

El porcentaje de inflación interanual del sector salarios estará dado por la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Variacion Interanual} = \frac{\text{Nivel General del IPS (año actual)}}{\text{Nivel General del IPS (año anterior)}} * 100 - 100$$

Fuente: <http://indicadoreseconomicos.bccr.fi.cr>

Sustituyendo los valores de la tabla 47 se obtiene:

Tabla 48: Índice de precios de servicios: salarios.

Periodo	2007- 2008	2008- 2009	2009- 2010	2010- 2011	2011- 2012	2012- 2013	2013- 2014	2014- 2015	2015- 2016
Inflacion %	10,46	15,34	7,09	6,84	6,58	6,76	6,27	5,48	1,62

Fuente: Propia

Con base en los valores obtenidos en la tabla 48, se puede estimar una tasa de inflación anual promedio de 7,38%. Este valor se tomará como referencia para el incremento del salario del técnico y para calcular el ahorro generado por mantenimiento.

4.2.4.3 Determinación de los flujos netos de efectivo

Tabla 49: Flujo de efectivo para el caso 1

caso 1							
Año	Monto a pagar antes de propuesta 1	Total a Pagar después de implementación	Ahorro por Electricidad	Ahorro por Mantenimiento	Flujo Neto de Efectivo	Ahorro Acumulado	Precio de implementación
1	7.357.807	5.200.728	2.157.079	328.824	2.485.903	2.485.903	
2	7.884.626	5.573.100	2.311.525	353.091	2.664.617	5.150.519	
3	8.449.165	5.972.134	2.477.031	379.149	2.856.180	8.006.699	
4	9.054.125	6.399.739	2.654.386	407.131	3.061.517	11.068.216	
5	9.702.400	6.857.960	2.844.440	437.177	3.281.617	14.349.832	
6	10.397.092	7.348.990	3.048.102	469.440	3.517.542	17.867.375	
7	11.141.524	7.875.178	3.266.346	504.085	3.770.431	21.637.806	
8	11.939.257	8.439.041	3.500.216	541.287	4.041.503	25.679.309	
9	12.794.108	9.043.276	3.750.832	581.234	4.332.065	30.011.374	30.052.289
10	13.710.166	9.690.775	4.019.391	624.129	4.643.520	34.654.894	

Fuente propia

Tabla 50: Flujo de efectivo para el caso 1.1

caso 1.1							
Año	Monto a pagar antes de propuesta 1	Total a Pagar después de implementación	Ahorro por Electricidad	Ahorro por Mantenimiento	Flujo Neto de Efectivo	Ahorro Acumulado	Precio de implementación
1	7.357.807	6.312.557	1.045.250	328.824	1.374.074	1.374.074	
2	7.884.626	6.764.536	1.120.090	353.091	1.473.181	2.847.255	
3	8.449.165	7.248.877	1.200.288	379.149	1.579.438	4.426.693	
4	9.054.125	7.767.896	1.286.229	407.131	1.693.359	6.120.052	
5	9.702.400	8.324.078	1.378.323	437.177	1.815.500	7.935.552	
6	10.397.092	8.920.082	1.477.011	469.440	1.946.451	9.882.003	
7	11.141.524	9.558.759	1.582.765	504.085	2.086.850	11.968.853	
8	11.939.257	10.243.167	1.696.091	541.287	2.237.377	14.206.230	
9	12.794.108	10.976.577	1.817.531	581.234	2.398.764	16.604.995	
10	13.710.166	11.762.500	1.947.666	624.129	2.571.795	19.176.789	37.801.954

Fuente propia

Tabla 51: Flujo de efectivo para el caso 2

caso 2							
Año	Monto a pagar antes de propuesta 1	Total a Pagar después de implementación	Ahorro por Electricidad	Ahorro por Mantenimiento	Flujo Neto de Efectivo	Ahorro Acumulado	Precio de implementación
1	7.357.807	4.820.946	2.536.861	328.824	2.865.685	2.865.685	
2	7.884.626	5.166.126	2.718.500	353.091	3.071.591	5.937.276	
3	8.449.165	5.536.020	2.913.145	379.149	3.292.294	9.229.570	
4	9.054.125	5.932.399	3.121.726	407.131	3.528.856	12.758.427	
5	9.702.400	6.357.159	3.345.242	437.177	3.782.418	16.540.845	
6	10.397.092	6.812.332	3.584.761	469.440	4.054.201	20.595.046	
7	11.141.524	7.300.094	3.841.430	504.085	4.345.515	24.940.561	
8	11.939.257	7.822.781	4.116.476	541.287	4.657.763	29.598.324	
9	12.794.108	8.382.892	4.411.216	581.234	4.992.449	34.590.773	
10	13.710.166	8.983.107	4.727.059	624.129	5.351.187	39.941.961	45.533.989

Fuente propia

Tabla 52: Flujo de efectivo para el caso 3

caso 3							
Año	Monto a pagar antes de propuesta 1	Total a Pagar después de implementación	Ahorro por Electricidad	Ahorro por Mantenimiento	Flujo Neto de Efectivo	Ahorro Acumulado	Precio de implementación
1	7.357.807	3.609.551	3.748.256	328.824	4.077.080	4.077.080	
2	7.884.626	3.867.995	4.016.631	353.091	4.369.722	8.446.802	
3	8.449.165	4.144.943	4.304.222	379.149	4.683.371	13.130.173	
4	9.054.125	4.441.721	4.612.404	407.131	5.019.535	18.149.708	
5	9.702.400	4.759.748	4.942.652	437.177	5.379.829	23.529.537	
6	10.397.092	5.100.546	5.296.546	469.440	5.765.987	29.295.524	
7	11.141.524	5.465.745	5.675.779	504.085	6.179.864	35.475.388	
8	11.939.257	5.857.093	6.082.165	541.287	6.623.451	42.098.839	
9	12.794.108	6.276.460	6.517.648	581.234	7.098.881	49.197.720	
10	13.710.166	6.725.855	6.984.311	624.129	7.608.440	56.806.160	59.286.800

Fuente propia

4.2.4.4 Cálculo de la tasa interna de retorno (TIR)

La ecuación para encontrar la TIR es la siguiente:

$$\sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1 + TIR)^t} - I_0 = 0$$

A continuación se presentan los cálculos y en los anexos del 8 al 11 se encuentran los gráficos respectivos.

Caso 1

$$\begin{aligned}
& \frac{2\,485\,903}{(1+0.0715)^1} + \frac{2\,664\,617}{(1+0.0715)^2} + \frac{2\,856\,180}{(1+0.0715)^3} + \frac{3\,061\,517}{(1+0.0715)^4} + \frac{3\,281\,617}{(1+0.0715)^5} \\
& + \frac{3\,517\,542}{(1+0.0715)^6} + \frac{3\,770\,431}{(1+0.0715)^7} + \frac{4\,041\,503}{(1+0.0715)^8} + \frac{4\,332\,065}{(1+0.0715)^9} \\
& + \frac{4\,643\,520}{(1+0.0715)^{10}} - 30\,052\,289
\end{aligned}$$

$$TIR = 2 \%$$

Caso 1.1

$$\begin{aligned}
& \frac{1\,374\,074}{(1+0.0715)^1} + \frac{1\,473\,181}{(1+0.0715)^2} + \frac{1\,579\,438}{(1+0.0715)^3} + \frac{1\,693\,359}{(1+0.0715)^4} + \frac{1\,815\,500}{(1+0.0715)^5} \\
& + \frac{1\,946\,451}{(1+0.0715)^6} + \frac{2\,086\,850}{(1+0.0715)^7} + \frac{2\,237\,377}{(1+0.0715)^8} + \frac{2\,298\,764}{(1+0.0715)^9} \\
& + \frac{2\,571\,795}{(1+0.0715)^{10}} - 37\,801\,954
\end{aligned}$$

$$TIR = -10 \%$$

Caso 2

$$\begin{aligned}
& \frac{2\,865\,685}{(1+0.0715)^1} + \frac{3\,071\,591}{(1+0.0715)^2} + \frac{3\,292\,294}{(1+0.0715)^3} + \frac{3\,528\,856}{(1+0.0715)^4} + \frac{3\,782\,418}{(1+0.0715)^5} \\
& + \frac{4\,054\,201}{(1+0.0715)^6} + \frac{4\,345\,515}{(1+0.0715)^7} + \frac{4\,567\,763}{(1+0.0715)^8} + \frac{4\,992\,449}{(1+0.0715)^9} \\
& + \frac{5\,351\,187}{(1+0.0715)^{10}} - 45\,533\,989
\end{aligned}$$

$$TIR = -2 \%$$

Caso 3

$$\begin{aligned}
& \frac{4\,077\,080}{(1+0.0715)^1} + \frac{4\,369\,722}{(1+0.0715)^2} + \frac{4\,683\,371}{(1+0.0715)^3} + \frac{5\,019\,535}{(1+0.0715)^4} + \frac{5\,379\,829}{(1+0.0715)^5} \\
& + \frac{5\,765\,987}{(1+0.0715)^6} + \frac{6\,179\,864}{(1+0.0715)^7} + \frac{6\,623\,451}{(1+0.0715)^8} + \frac{7\,098\,881}{(1+0.0715)^9} \\
& + \frac{7\,608\,440}{(1+0.0715)^{10}} - 59\,286\,800
\end{aligned}$$

$$TIR = -1 \%$$

4.2.4.5 Cálculo del valor actual neto (VAN)

Caso 1

$$\begin{aligned} & \frac{2\,485\,903}{(1+0.0715)^1} + \frac{2\,664\,617}{(1+0.0715)^2} + \frac{2\,856\,180}{(1+0.0715)^3} + \frac{3\,061\,517}{(1+0.0715)^4} + \frac{3\,281\,617}{(1+0.0715)^5} \\ & + \frac{3\,517\,542}{(1+0.0715)^6} + \frac{3\,770\,431}{(1+0.0715)^7} + \frac{4\,041\,503}{(1+0.0715)^8} + \frac{4\,332\,065}{(1+0.0715)^9} \\ & + \frac{4\,643\,520}{(1+0.0715)^{10}} - 30\,052\,289 \end{aligned}$$

$$\text{VAN} = \text{€}4\,602\,605,29$$

Caso 1.1

$$\begin{aligned} & \frac{1\,374\,074}{(1+0.0715)^1} + \frac{1\,473\,181}{(1+0.0715)^2} + \frac{1\,579\,438}{(1+0.0715)^3} + \frac{1\,693\,359}{(1+0.0715)^4} + \frac{1\,815\,500}{(1+0.0715)^5} \\ & + \frac{1\,946\,451}{(1+0.0715)^6} + \frac{2\,086\,850}{(1+0.0715)^7} + \frac{2\,237\,377}{(1+0.0715)^8} + \frac{2\,298\,764}{(1+0.0715)^9} \\ & + \frac{2\,571\,795}{(1+0.0715)^{10}} - 37\,801\,954 \end{aligned}$$

$$\text{VAN} = -\text{€}18\,625\,164,79$$

Caso 2

$$\begin{aligned} & \frac{2\,865\,685}{(1+0.0715)^1} + \frac{3\,071\,591}{(1+0.0715)^2} + \frac{3\,292\,294}{(1+0.0715)^3} + \frac{3\,528\,856}{(1+0.0715)^4} + \frac{3\,782\,418}{(1+0.0715)^5} \\ & + \frac{4\,054\,201}{(1+0.0715)^6} + \frac{4\,345\,515}{(1+0.0715)^7} + \frac{4\,567\,763}{(1+0.0715)^8} + \frac{4\,992\,449}{(1+0.0715)^9} \\ & + \frac{5\,351\,187}{(1+0.0715)^{10}} - 45\,533\,989 \end{aligned}$$

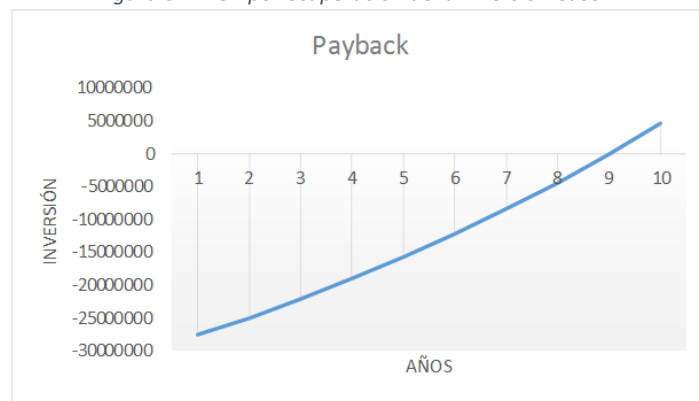
$$\text{VAN} = -\text{€}5\,592\,028,40$$

Caso 3

$$\begin{aligned}
& \frac{4\,077\,080}{(1+0.0715)^1} + \frac{4\,369\,722}{(1+0.0715)^2} + \frac{4\,683\,371}{(1+0.0715)^3} + \frac{5\,019\,535}{(1+0.0715)^4} + \frac{5\,379\,829}{(1+0.0715)^5} \\
& + \frac{5\,765\,987}{(1+0.0715)^6} + \frac{6\,179\,864}{(1+0.0715)^7} + \frac{6\,623\,451}{(1+0.0715)^8} + \frac{7\,098\,881}{(1+0.0715)^9} \\
& + \frac{7\,608\,440}{(1+0.0715)^{10}} - 59\,286\,800
\end{aligned}$$

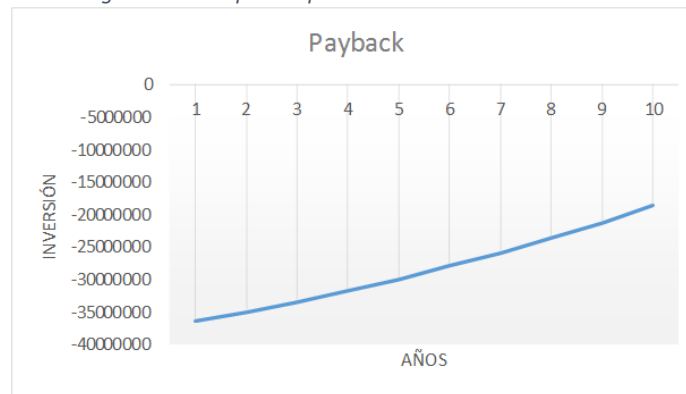
$$VAN = -\text{¢}2\,480\,639,69$$

Figura 31: Tiempo recuperación de la inversión Caso 1.



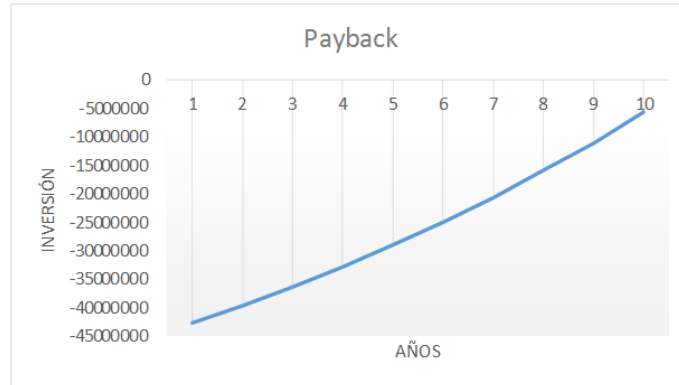
Fuente propia

Figura 32: Tiempo recuperación de la inversión Caso 1.1.



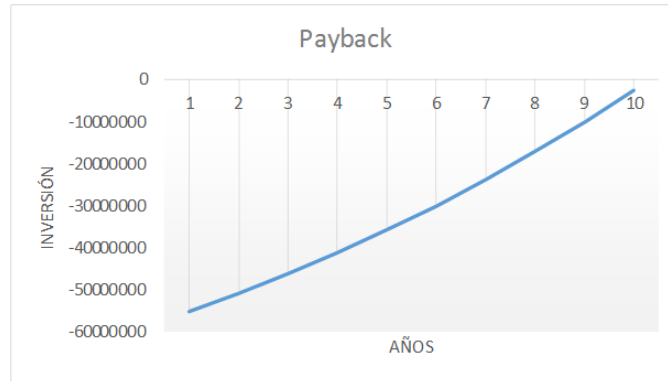
Fuente: Propia

Figura 33: Tiempo recuperación de la inversión Caso 2.



Fuente propia

Figura 34: Tiempo recuperación de la inversión Caso 3.



Fuente propia

Figura 35: Tabla resumen del VAN y la TIR.

Rentabilidad de las propuestas de iluminación		
Propuesta	TIR	VAN
Caso 1	2%	¢4.602.605
Caso 1.1	-10%	-¢18.625.955
Caso 2	-2%	-¢5.592.028
Caso 3	-1%	-¢2.480.640

Fuente propia

Las hojas de cálculo en Excel y los gráficos del tiempo de recuperación de la inversión se pueden ver en los anexos 9, 10, 11 y 12, respectivamente.

4.3 Diseño del sistema fotovoltaico

4.3.1 Parámetros de cálculo

4.3.1.1 Estudio de las necesidades por cubrir

Primeramente se establecieron, en la tabla 2, los consumos de los dos servicios eléctricos considerados. En dicha tabla se detallan los consumos mensual, promedio y anual de los medidores. Por aspectos tarifarios se recomienda realizar el diseño de ambos servicios de manera independiente, de manera tal que para el medidor 1 el mes de máximo consumo es mayo, con 14 000 kWh, y para el medidor 2, que también corresponde a mayo, con 6 840 kWh.

$$\text{Medidor 1 } 14\,000 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}} * \frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ días}} = 466,66 \text{ kWh/día}$$

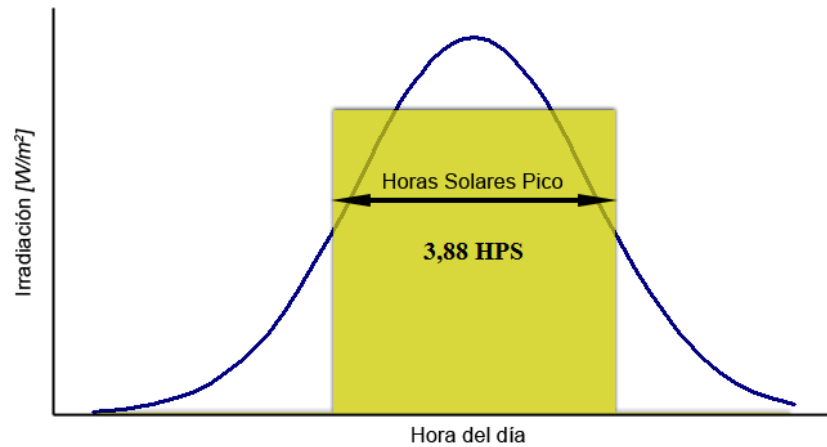
$$\text{Medidor 2 } 6\,840 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}} * \frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ días}} = 228 \text{ kWh/día}$$

4.3.1.2 Horas pico solar

De la tabla 3 de los valores de irradiación solar se obtuvo que el mes de menor irradiación solar corresponde a noviembre, con $3,88 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$. Este será el que se utilice para realizar los cálculos y para obtener el valor de la hora pico solar se aplica la siguiente ecuación:

$$HSP = \frac{3.88 \text{ kWh/m}^2}{1 \text{ kW/m}^2} = 3.88 \text{ HSP}$$

Figura 36: Horas solares pico en San Pedro, Noviembre.



Fuente: propia

4.3.1.3 Cálculo de la cantidad de módulos fotovoltaicos

Sustituyendo valores en la fórmula:

$$N_p = \frac{ET}{0.9 \times W_p \times HSP}$$

Donde:

NP: el número de módulos necesarios.

ET: es el consumo energético real.

W_p : es la potencia pico del panel.

HSP: hora solar pico.

$$\text{Medidor 1 } N_p = \frac{466,66}{0.9 \times 275 \times 3.88} = 485,95 \simeq 486 \text{ Módulos}$$

$$\text{Medidor 2 } N_p = \frac{228}{0.9 \times 275 \times 3.88} = 237,42 \simeq 238 \text{ Módulos}$$

4.3.1.4 Cálculo del número óptimo de módulos fotovoltaicos

Para este cálculo es necesario determinar la potencia que el sistema fotovoltaico va a entregar.

Según la sección anterior son necesarios 486 y 238 módulos, respectivamente. Estos se multiplican por la potencia que se espera de cada panel (275 W). El resultado es:

$$486 * 275 W = 133\,650 W$$

$$238 * 275 W = 65\,450 W$$

Corresponde a la energía diaria entregada por los paneles solares sin tomar en cuenta las horas pico solares diarias.

Finalmente, para obtener la potencia mensual generada se deben multiplicar los valores de 133 650 W y 65 450 W por la irradiación diaria del mes (hsp), y esto se multiplica por la cantidad de días de ese mismo mes.

Por ejemplo, en el mes de noviembre hay una irradiación al día de 3,88 HSP y este mes tiene 30 días; por tanto, para el medidor 1:

$$133\,650 W * 0,9 * 3,88 HSP * 30 \text{ días} = 14\,001 kWh/mes$$

Para este mismo mes con el medidor 2:

$$65\,450 * 0,9 * 3,88 HSP * 30 \text{ días} = 6\,856 kWh/mes$$

Este procedimiento se sigue para todos los meses del año. Esta información permitirá entender la potencia mensual y anual que entregará el sistema fotovoltaico.

En el siguiente cuadro se presenta la información obtenida de los cálculos.

Tabla 53: Tabla de energía producida por los módulos fotovoltaicos para el medidor 1.

Mes	HSP	Potencia entregada por los módulos (W)=NP*Wp Medidor #1	Días/mes	Energía entregada por los módulos en kWh/mes Medidor #1
Ene.	4,75	133650	31	17.712
Feb.	5,25	133650	28	17.682
Mar.	5,78	133650	31	21.553
Abr.	5,16	133650	30	18.620
May.	4,38	133650	31	16.332
Jun.	4,35	133650	30	15.697
Jul.	4,20	133650	31	15.661
Ago.	4,09	133650	31	15.251
Sep.	4,27	133650	30	15.409
Oct.	3,90	133650	31	14.542
Nov.	3,88	133650	30	14.001
Dic.	4,33	133650	31	16.146

Fuente: Propia.

Tabla 54: Tabla de energía producida por los módulos fotovoltaicos para el medidor 2.

Mes	HSP	Potencia entregada por los módulos (W)=NP*Wp Medidor #2	Días/mes	Energía entregada por los módulos en kWh/mes Medidor #2
Ene.	4,75	65450	31	8.674
Feb.	5,25	65450	28	8.659
Mar.	5,78	65450	31	10.555
Abr.	5,16	65450	30	9.118
May.	4,38	65450	31	7.998
Jun.	4,35	65450	30	7.687
Jul.	4,20	65450	31	7.669
Ago.	4,09	65450	31	7.469
Sep.	4,27	65450	30	7.546
Oct.	3,90	65450	31	7.122
Nov.	3,88	65450	30	6.857
Dic.	4,33	65450	31	7.907

Fuente propia.

4.3.1.5 Cálculo del inversor

La potencia del inversor está dada por la potencia máxima que puede entregar el arreglo de paneles fotovoltaicos.

$$P_{Inv} = Wp \times NP$$

Donde:

P_{Inv} = Potencia máxima del inversor

NP = número de paneles solares

Wp = potencia pico del panel

Para el arreglo del medidor 1 con 486 paneles:

$$P_{inv} = 275 * 486 = 133\,650\,W = 133,65\,kW$$

Para el arreglo del medidor 2 con 238 paneles:

$$P_{inv} = 275 * 238 = 65\,450\,W = 65,45\,kW$$

Para ello se debe colocar más de un inversor. Se trabajará con el inversor marca ABB modelo TRIO-20.-TL, con capacidad de hasta 22 kW para cualquiera de los dos arreglos; de manera que:

$$22\,000\,W = 275\,W * NP$$

$$NP = \frac{22\,000}{275} = 80\,Paneles$$

Cada inversor manejará un total de 80 paneles y se deberán instalar 6 unidades para el medidor 1 y 3 inversores para el medidor 2.

Se escoge trabajar con inversores centralizados y no con micro inversores, debido a que según lo investigado y la consulta a expertos en el tema el uso de microinversores por aspectos de inversión y eficiencia es más aprovechable en instalaciones de potencias más bajas y no tanto para un proyecto con las características de este.

Según las cotizaciones de la empresa Purasol en los anexos 14 y 15, el uso de microinversores encarecería la inversión en 25%. A esto se añade el hecho de que tener muchas partes independientes en un mismo sistema no lo hace atractivo.

4.3.1.6 Cálculo del arreglo de paneles fotovoltaicos

Para calcular el número de filas de módulos en serie que se van a conectar para un inversor, se toma el valor de tensión nominal de entrada del inversor y se divide entre la tensión de cada panel, como se muestra en la fórmula:

$$\text{Número de filas en serie} = \frac{V_{inv}}{V_m}$$

$$\text{Número de filas en serie} = \frac{400 \text{ V}}{30,8} = 12,98 \simeq 13 \text{ filas}$$

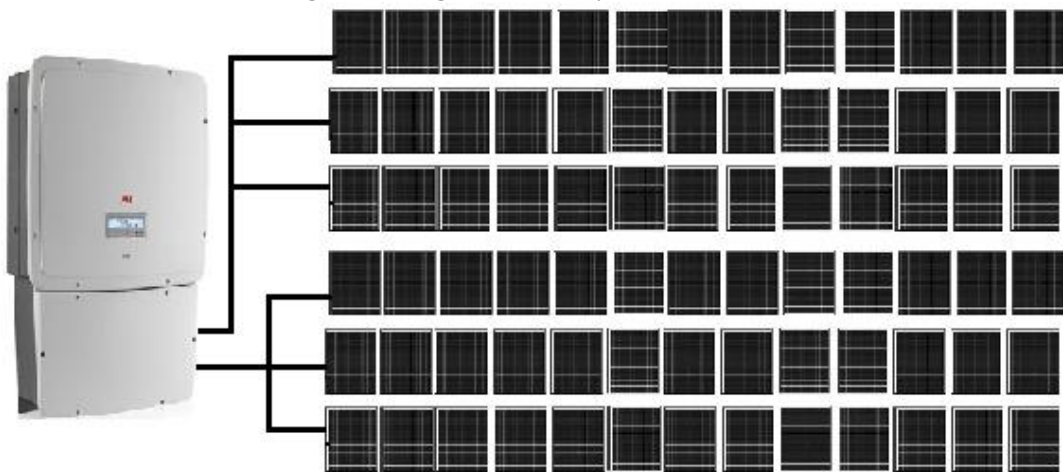
Para determinar el número de columnas de módulos en paralelo se utiliza la fórmula:

$$\text{Número de columnas} = \frac{I_{inv}}{I_m}$$

$$\text{Número de columnas} = \frac{25 \text{ A}}{8,75 \text{ A}} = 2,85 \simeq 3 \text{ columnas}$$

Los cálculos anteriores se hicieron para un *string* y este cuenta con dos cada uno.

Figura 37: Arreglo Fotovoltaico por cada inversor.



Fuente propia

4.3.1.7 Ángulo de inclinación

Para este cálculo se aplica la siguiente fórmula de inclinación:

$$I_m = \Phi + 10^\circ$$

Donde:

I_m : Es la inclinación máxima en grados

Φ : Es la latitud del lugar de la instalación.

La latitud en donde se van a instalar los paneles es de 9°

Por lo tanto:

$$I_m = 9^\circ + 10^\circ = 19^\circ$$

Se da un resultado de inclinación de paneles de 19° . Por esto el sistema de estructura seleccionado se instala con este ángulo, para tener un mejor funcionamiento de los paneles.

4.3.1.8 Cálculo estructural de los módulos

Peso: 18 kg

Área del arreglo: 381 m^2

Peso del arreglo en el techo: $238 \text{ paneles} * 18 \text{ kg} = 4\,284 \text{ kg}$

Distribución del peso: $4\,284 \text{ kg} / 381 \text{ m}^2 = 11,25 \text{ kg/m}^2$

4.3.1.9 Cálculo del cableado

En la siguiente fórmula se define la corriente de salida del inversor:

$$\frac{\text{Potencia}}{\text{Voltaje de instalacion} * \sqrt{3}} = \text{Corriente de salida}$$

$$\frac{22\,000 \text{ W}}{208 \text{ V} * \sqrt{3}} = 61 \text{ A}$$

Figura 38: Información técnica inversor TRIO-20.0-TL-OUTD

Output		
AC connection to the Grid	Three phase 3W or 4W+PE	
Rated output voltage (V_{acr})	400 Vac	
Output Voltage Range ($V_{acmin}...V_{acmax}$)	320...480 Vac ⁽¹⁾	
Rated Output Power (P_{acr})	20000 W	27600 W
Maximum Output Power (P_{acmax})	22000 W ⁽³⁾	30000 W ⁽⁴⁾
Maximum Output Current (I_{acmax})	33.0 A	45.0 A
Contribution to short-circuit current	35.0 A	46.0 A
Inrush current	Negligible	
Maximum fault current	<63Arms(100mS)	

Fuente: Manual de instalador inversor

Según la tabla 310.16 del Código Eléctrico Nacional y teniendo en cuenta que se trabaja con un amperaje menor a 100 A, por lo que se debe diseñar en el rango de los 60° C, se utilizará cable 4 awg cu THHN, desde la salida de los inversores hasta el tablero de interconexión.

Figura 39: Extracto de la tabla 310.16 NEC

	Temperatura nominal del conductor [		
	60° C (140° F)	75° C (167° F)	90° C (194° F)
	TIPOS TW, UF	TIPOS RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE, ZW	TIPOS TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2
Calibre AWG o kcmil	COBRE		
18	—	—	14
16	—	—	18
14*	20	20	25
12*	25	25	30
10*	30	35	40
8	40	50	55

Fuente: Tabla 310.16 NEC 2008, página 70-172

Comprobando por caída de tensión con la fórmula:

$$\Delta V_{3\alpha} = (2 * R * L * I_{3\alpha} / 1000) * 0.866$$

Donde:

R: valor en ohm según la tabla 8 NEC 2008

L: longitud en pies

$I_{3\alpha}$: Corriente trifásica en amperios

Para cualquier inversor:

$$\Delta V_{3\alpha} = (2 * 0,809 * 30 * 61 A / 1000) * 0.866 = 1,01 / 208 V = 0,48 \%$$

La caída de tensión es de 0,48%, lo cual es aceptable para el calibre de cable escogido.

Desde el tablero de interconexión hasta la conexión con la acometida del edificio se tiene que son tres inversores, para el medidor 1 y 2 para el medidor 2, por lo que las acometidas de interconexión deben ser calculadas con las fórmulas:

$$3 * \frac{22\,000\,W}{208\,V * \sqrt{3}} = 183,198\,A \quad y \quad 2 * \frac{22\,000\,W}{208\,V * \sqrt{3}} = 122,13\,A$$

Se sugiere cable 3/0 awg cu THHN y 1/0 awg cu THHN, respectivamente, según la tabla 310.16 del NEC 2008.

Figura 40: Extracto de la tabla 310.16 NEC

	Temperatura nominal del conductor		
	60° C (140° F)	75° C (167° F)	90° C (194° F)
Calibre AWG o kcmil	TIPOS TW, UF	TIPOS RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE, ZW	TIPOS TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2
	COBRE		
•	•	•	•
•	•	•	•
•	•	•	•
1/0	125	150	170
2/0	145	175	195
3/0	165	200	225
4/0	195	230	260

Fuente: Tabla 310.16 NEC 2008, página 70-172

Comprobando por caída de tensión con la fórmula:

$$\Delta V_{3\alpha} = (2 * R * L * I_{3\alpha} / 1000) * 0.866$$

Donde:

R: valor en ohm según tabla 8 NEC 2008

L: longitud en pies

$I_{3\alpha}$: Corriente trifásica en amperios

Para el medidor 1

$$\Delta V_{3\alpha} = (2 * 0,0797 * 150 * 183,198 A / 1000) * 0.866 = 3,79 / 208 V = 1,82\%$$

Representa una caída de voltaje de 1,82%, por lo que se acepta el cable 3/0 awg para esta acometida.

Para el medidor 2

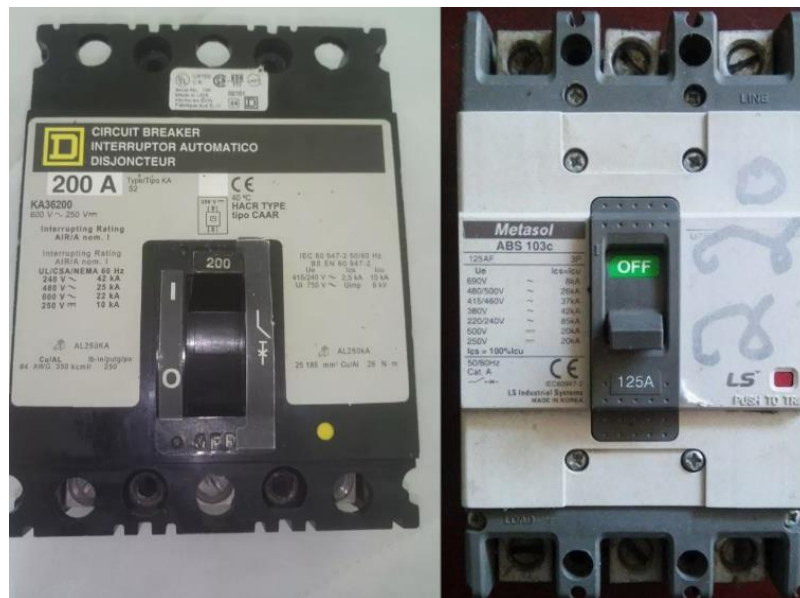
$$\Delta V_{3\alpha} = (2 * 0,127 * 150 * 122,13 A / 1000) * 0.866 = 4,02 / 208 V = 1,93\%$$

Representa una caída de voltaje de 1,93%, por lo cual se acepta el cable 1/0 awg para esta acometida.

4.3.1.10 Cálculo de las protecciones

Según la sección 240.6 del Código Eléctrico Nacional de Valores Nominales Normalizados existe el interruptor termo-magnético de 200 A para la acometida 1 y uno de 125 A para la acometida 2. Por tanto, conviene utilizar un interruptor automático de 3 polos 200 A 240 V y uno de 3 polos 125 A 240 V, respectivamente.

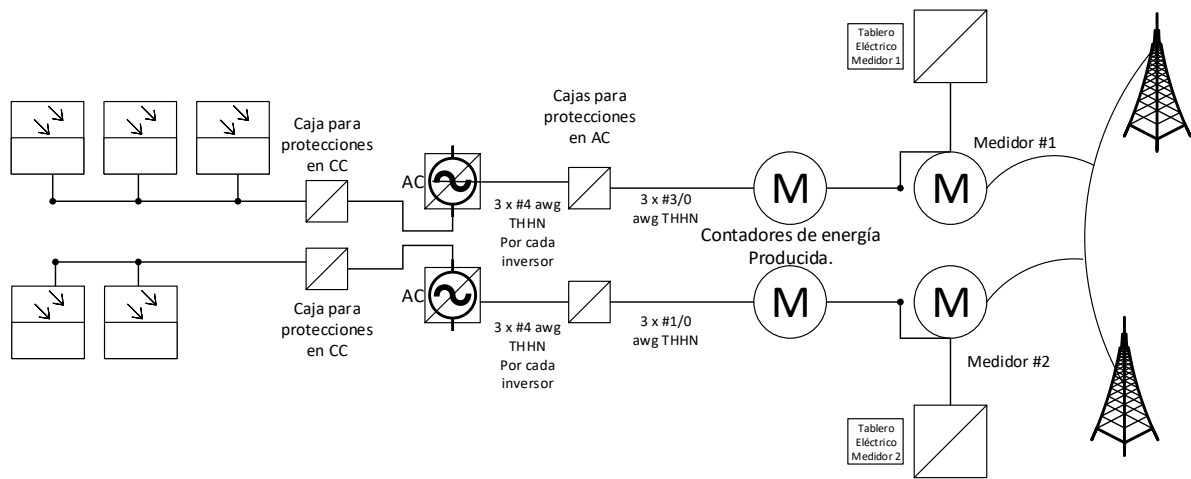
Figura 41: Ejemplo de protecciones por utilizar.



Fuente: <http://www.Circuit-Breakers.com>.

4.3.1.11 Diagrama de la instalación fotovoltaica

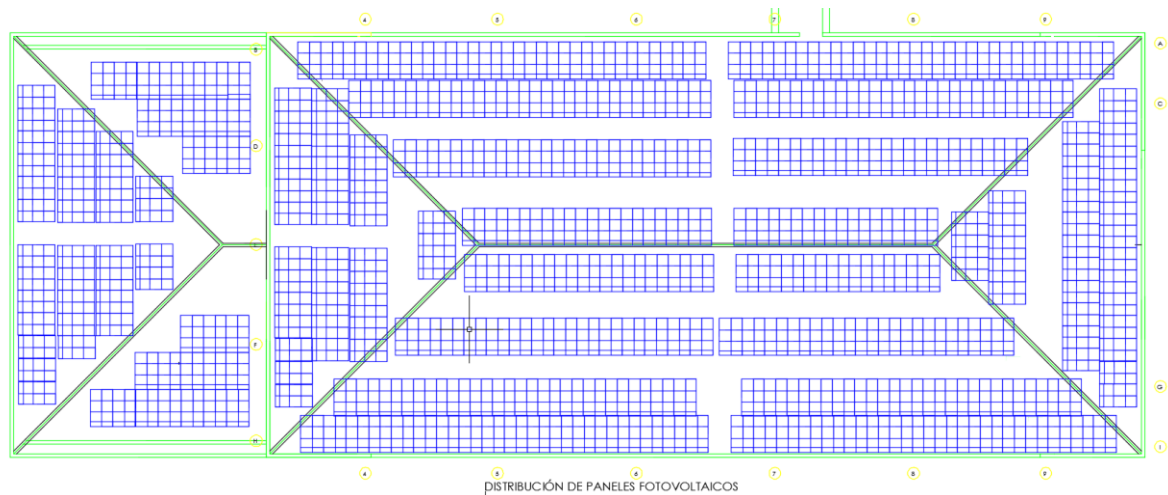
Figura 42: Diagrama de instalación fotovoltaica.



Fuente propia

4.3.1.12 Diagrama de instalación de paneles solares

Figura 43: Diagrama instalación de paneles fotovoltaicos.



Fuente propia

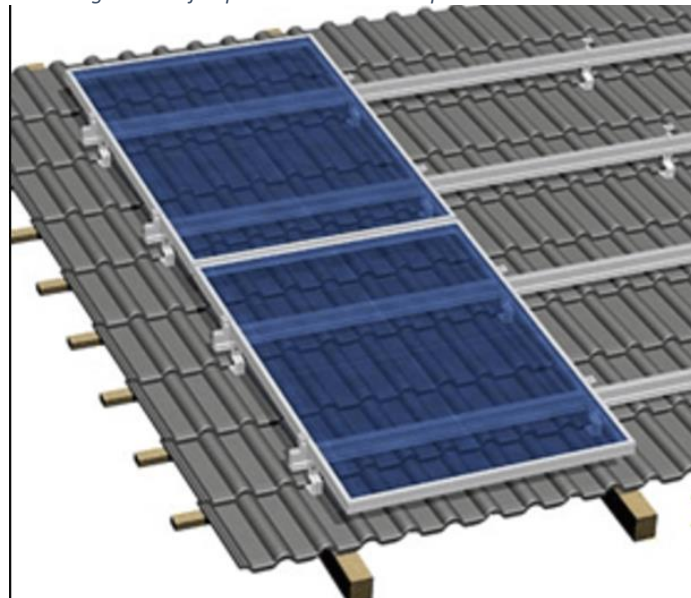
Se deben respetar pasillos de al menos un metro entre cada dos filas de paneles con el objetivo de dejar espacio para mantenimiento y canalización de cableado.

4.3.2 Soportería

Para el arreglo del medidor 1 se tendrá que hacer una estructura en el estacionamiento ya que no hay espacio en el techo para la cantidad de paneles requerida. Esta se cotizó con una empresa y la factura pro forma se encuentra en el anexo 12, costo que debe añadirse al proyecto final.

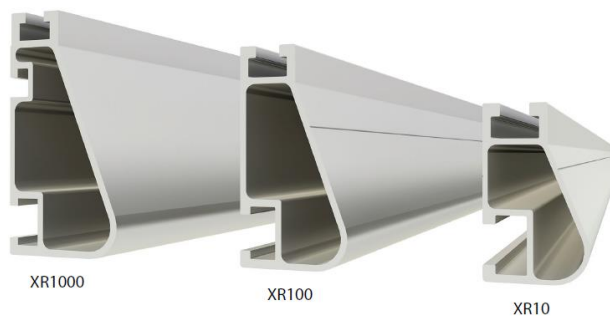
Para el medidor 2 cuyo arreglo de paneles se colocará en el techo se instalarán una serie de accesorios, como se describe continuación:

Figura 44. Ejemplo de instalación de panel sobre el techo.



Fuente: <https://www.damiasolar.com>

Figura 45: Rieles para montaje en techo.



Fuente: catalogo IronRidge

Figura 46: Tornillo universal para instalación de paneles.



Fuente: catalogo IronRidge

Figura 47: Techo utilizable para instalación de paneles.



Fuente: Catálogo IronRidge

En ambos casos el costo de las cotizaciones incluye colocar los paneles con la orientación y ángulo calculado en la sección 4.3.1.7.

4.4 Cálculo de los costos por mantenimiento

El mantenimiento de un sistema fotovoltaico se basa en hacerle limpieza a los módulos, revisión de conexiones, resocado de borneras y mediciones básicas. Para el cálculo de la rentabilidad del proyecto se va a incluir este costo desglosado y tomando en cuenta los datos calculados en la sección 4.1.2, para el costo de cada hora trabajada, y en la sección 4.2.4.2 para el dato de la inflación en salarios.

Se debe realizar el mantenimiento bimestralmente y se estima que el tiempo promedio de mantenimiento para cada panel es de ocho minutos, según el texto consultado y la opinión de expertos en el tema de la energía solar. Tomando en cuenta el salario mínimo de un técnico electricista, de ¢326 312²⁴, y las cargas sociales, que representan 26%, es decir, ¢84 841.30, el total es de ¢411 153.30.

El total de paneles por instalar es de 724:

$$\text{cantidad de modulos} * \text{tiempo estimado} = \# \text{ min} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = \# \text{ horas}$$

$$724 \text{ módulos} * 8 \text{ min} = 5792 \text{ min} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 96,53 \text{ horas}$$

$$\frac{¢411153.30}{48 \text{ h} * 4} = ¢2 141,42 * 96,53 \text{ h} * 6 = \text{¢1 240 269 al año}$$

4.5 Cálculo de la cobertura mensual del sistema fotovoltaico

Trabajando con los datos de las tablas 53 y 54, que muestran la producción de energía esperada por planta solar al mes y la tabla 2 del comportamiento de consumo de ambos medidores, se procede a plantear el comportamiento de la facturación anual de ambos medidores en tres escenarios, que son diseños a 100%, 75% y 50% de la potencia requerida para el edificio actualmente.

Se ha definido una tarifa mínima promedio de ¢3 500, que de cualquier manera no es una variable de peso a la hora de valorar el proyecto.

Esta corresponde a los siguientes rubros:

²⁴ Dato tomado de la página oficial del Ministerio de Trabajo, anexo 3.

$$\text{Tributo a Bomberos } TRB = \left(\frac{\text{¢}}{\text{kWh}} \right) * 1\,750 \text{ kWh} * 1.75\%$$

$$\text{Alumbrado público } T - AP = \text{¢}3,51 * \text{kWh consumido}$$

A continuación se presentan las tablas de resumen en las cuales se representa el comportamiento mensual de los medidores para cada escenario, siguiendo la normativa de la Aresep sobre el depósito y almacenamiento de energía mensual en la red eléctrica nacional.

Las tablas se deben interpretar de la siguiente manera:

Acumulado total: está dado en kWh y es la cantidad de energía que se va acumulando cada mes con lo depositado en la red.

Guardados para mes siguiente: son los kWh que corresponden a 51%, que no se puede bajar de la red mensualmente y se guarda en el acumulado total.

Utilizable en mes actual (49%): corresponde a 49% de la energía almacenada en la red, que se puede retirar al pagar la tarifa de acceso en el mes presente.

Energía producida: la energía que produce la planta solar en kWh durante el mes actual.

Energía requerida: la energía estimada requerida durante el mes actual, según histórico de recibos eléctricos.

Excedente para subir a la red: es el sobrante de la energía que no se consume, es decir, cuando la planta solar produce más de lo que se consume en el mes.

Total kwh consumidos: es el total de kwh que se consumen de la red. Se incluyen los que se bajan con tarifa de acceso y los que se consumen.

Costo con tarifa de acceso, costo con tarifa ordinaria mayor a los 3000 kWh y costo con tarifa ordinaria menor a 3000 kWh. Estos son los diferentes costos de la energía, que son de ¢18, ¢63 y ¢107, respectivamente.

Tabla 55: Comportamiento del medidor 1 a 100%

Medidor 1 cobertura 100%		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.
Acumulado Total	kWh	0	6.992	13.154	22.707	28.847
Guardados para mes siguiente	kWh	0	3.566	6.708	11.580	14.712
Utilizable en mes actual (49%)	kWh	0	3.426	6.445	11.126	14.135
Energía producida	kWh	17712	17682	21553	18620	16332
Energía Requerida	kWh	10720	11520	12000	12480	14000
Excedente para subir a la red	kWh	6.992	9.588	15.998	17.266	16.467
Total kWh consumidos		0	0	0	0	0
Costo con tarifa de acceso	₡18	₡0	₡0	₡0	₡0	₡0
Costo con tarifa ordinaria mayor a 3000 kWh	₡63	₡0	₡0	₡0	₡0	₡0
Costo con tarifa ordinaria menor a 3000 kWh	₡107	₡0	₡0	₡0	₡0	₡0
Demanda	9996/kW	₡549.780	₡549.780	₡549.780	₡549.780	₡549.780
Tarifa mínima	₡3.500	₡3.500	₡3.500	₡3.500	₡3.500	₡3.500
Factura con Proyecto		₡553.280	₡553.280	₡553.280	₡553.280	₡553.280
Factura sin Proyecto		₡1.723.715	₡1.811.910	₡1.907.495	₡2.096.520	₡2.126.250
Ahorro		₡1.170.435	₡1.258.630	₡1.354.215	₡1.543.240	₡1.572.970

Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Acumulado al Final del
31.179	32.796	35.817	39.548	41.677	43.259	44.940	49.886
15.901	16.726	18.267	20.170	21.255	22.062	22.920	
15.278	16.070	17.550	19.379	20.422	21.197	22.021	
15697	15661	15251	15409	14542	14001	16146	
14080	12640	11520	13280	12960	12320	11200	
16.895	19.091	21.281	21.507	22.004	22.878	26.967	
0	0	0	0	0	0	0	
₡0	₡0	₡0	₡0	₡0	₡0	₡0	
₡0	₡0	₡0	₡0	₡0	₡0	₡0	
₡0	₡0	₡0	₡0	₡0	₡0	₡0	
₡549.780	₡549.780	₡549.780	₡549.780	₡549.780	₡549.780	₡549.780	
₡3.500	₡3.500	₡3.500	₡3.500	₡3.500	₡3.500	₡3.500	
₡553.280	₡553.280	₡553.280	₡553.280	₡553.280	₡553.280	₡553.280	₡6.639.360
₡2.204.185	₡2.242.845	₡2.124.090	₡2.181.960	₡2.045.695	₡1.842.900	₡1.807.160	₡24.114.725
₡1.650.905	₡1.689.565	₡1.570.810	₡1.628.680	₡1.492.415	₡1.289.620	₡1.253.880	₡17.475.365

Fuente propia

Tabla 56: Comportamiento del medidor 1 a 75%

Medidor 1 cobertura 75%		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.
Acumulado Total	kWh	0	2.564	4.305	8.470	9.955
Guardados para mes siguiente	kWh	0	1.308	2.196	4.320	5.077
Utilizable en mes actual (49%)	kWh	0	1.256	2.110	4.150	4.878
Energía producida	kWh	13284	13261	16164	13965	12249
Energía Requerida	kWh	10720	11520	12000	12480	14000
Excedente para subir a la red	kWh	2.564	2.998	6.274	5.635	3.127
Total kWh consumidos		0	0	0	0	0
Costo con tarifa de acceso	₡18	₡0	₡0	₡0	₡0	₡0
Costo con tarifa ordinaria mayor a 3000 kWh	₡63	₡0	₡0	₡0	₡0	₡0
Costo con tarifa ordinaria menor a 3000 kWh	₡107	₡0	₡0	₡0	₡0	₡0
Demanda	9996/kW	₡549.780	₡549.780	₡549.780	₡549.780	₡549.780
Tarifa mínima	₡3.500	₡3.500	₡3.500	₡3.500	₡3.500	₡3.500
Factura con Proyecto		₡553.280	₡553.280	₡553.280	₡553.280	₡553.280
Factura sin Proyecto		₡1.723.715	₡1.811.910	₡1.907.495	₡2.096.520	₡2.126.250
Ahorro		₡1.170.435	₡1.258.630	₡1.354.215	₡1.543.240	₡1.572.970

Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Acumulado al Final del
8.204	5.897	5.003	4.921	3.198	1.631	832	1.741
4.184	3.008	2.551	2.510	1.631	832	424	
4.020	2.890	2.451	2.411	1.567	799	408	
11773	11746	11438	11556	10907	10501	12109	
14080	12640	11520	13280	12960	12320	11200	
1.713	1.995	2.370	688	0	0	1.317	
0	0	0	0	486	1.020	0	
₡0	₡0	₡0	₡0	₡28.202	₡14.383	₡0	
₡0	₡0	₡0	₡0	₡0	₡0	₡0	
₡0	₡0	₡0	₡0	₡52.042	₡109.146	₡0	
₡549.780	₡549.780	₡549.780	₡549.780	₡549.780	₡549.780	₡549.780	
₡3.500	₡3.500	₡3.500	₡3.500	₡3.500	₡3.500	₡3.500	
₡553.280	₡553.280	₡553.280	₡553.280	₡633.524	₡676.810	₡553.280	₡6.843.134
₡2.204.185	₡2.242.845	₡2.124.090	₡2.181.960	₡2.045.695	₡1.842.900	₡1.807.160	₡24.114.725
₡1.650.905	₡1.689.565	₡1.570.810	₡1.628.680	₡1.412.171	₡1.166.090	₡1.253.880	₡17.271.591

Fuente propia

Tabla 57: Comportamiento del medidor 1 al 50%

Medidor 1 cobertura 50%		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.
Acumulado Total	kWh	0	0	0	0	0
Guardados para mes siguiente	kWh	0	0	0	0	0
Utilizable en mes actual (49%)	kWh	0	0	0	0	0
Energía producida	kWh	8856	8841	10776	9310	8166
Energía Requerida	kWh	10720	11520	12000	12480	14000
Excedente para subir a la red	kWh	0	0	0	0	0
Total kWh consumidos		1.864	2.679	1.224	3.170	5.834
Costo con tarifa de acceso	₡18	₡0	₡0	₡0	₡0	₡0
Costo con tarifa ordinaria mayor a 3000 kWh	₡63	₡0	₡0	₡0	₡10.767	₡179.553
Costo con tarifa ordinaria menor a 3000 kWh	₡107	₡199.450	₡286.659	₡130.932	₡321.000	₡321.000
Demanda	9996/kW	₡649.740	₡649.740	₡649.740	₡649.740	₡649.740
Tarifa mínima	₡3.500	₡3.500	₡3.500	₡3.500	₡3.500	₡3.500
Factura con Proyecto		₡852.690	₡939.899	₡784.172	₡985.007	₡1.153.793
Factura sin Proyecto		₡1.723.715	₡1.811.910	₡1.907.495	₡2.096.520	₡2.126.250
Ahorro		₡871.025	₡872.011	₡1.123.323	₡1.111.513	₡972.457

Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Acumulado al Final del
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	
7849	7831	7625	7704	7271	7001	8073	
14080	12640	11520	13280	12960	12320	11200	
0	0	0	0	0	0	0	
6.231	4.809	3.895	5.576	5.689	5.319	3.127	
₡0	₡0	₡0	₡0	₡0	₡0	₡0	
₡204.742	₡114.647	₡56.678	₡163.199	₡170.361	₡146.958	₡8.051	
₡321.000	₡321.000	₡321.000	₡321.000	₡321.000	₡321.000	₡321.000	
₡649.740	₡649.740	₡649.740	₡649.740	₡649.740	₡649.740	₡649.740	
₡3.500	₡3.500	₡3.500	₡3.500	₡3.500	₡3.500	₡3.500	
₡1.178.982	₡1.088.887	₡1.030.918	₡1.137.439	₡1.144.601	₡1.121.198	₡982.291	₡12.399.876
₡2.204.185	₡2.242.845	₡2.124.090	₡2.181.960	₡2.045.695	₡1.842.900	₡1.807.160	₡24.114.725
₡1.025.203	₡1.153.958	₡1.093.172	₡1.044.521	₡901.094	₡721.702	₡824.869	₡11.714.849

Fuente propia

Tabla 58: Comportamiento del medidor 2 al 100%

Medidor 2 cobertura 100%	unidad	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.
Acumulado Total	kWh	0	3.794	8.173	14.047	17.686
Guardados para mes siguiente	kWh	0	1.935	4.168	7.164	9.020
Utilizable en mes actual (49%)	kWh	0	1.859	4.005	6.883	8.666
Energía producida	kWh	8674	8659	10555	9118	7998
Energía Requerida	kWh	4880	4280	4680	5480	6840
Excedente para subir a la red	kWh	3.794	6.238	9.879	10.522	9.824
Total kWh consumidos		0	0	0	0	0
Costo con tarifa de acceso	¢18	¢0	¢0	¢0	¢0	¢0
Costo con tarifa ordinaria mayor a 3000 kWh	¢63	¢0	¢0	¢0	¢0	¢0
Costo con tarifa ordinaria menor a 3000 kWh	¢107	¢0	¢0	¢0	¢0	¢0
Demanda	9996/kW	¢219.912	¢219.912	¢219.912	¢219.912	¢219.912
Tarifa mínima	¢3.500	¢3.500	¢3.500	¢3.500	¢3.500	¢3.500
Factura con Proyecto		¢223.412	¢223.412	¢223.412	¢223.412	¢223.412
Factura sin Proyecto		¢627.790	¢580.970	¢631.265	¢786.680	¢922.240
Ahorro		¢404.378	¢357.558	¢407.853	¢563.268	¢698.828

Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Acumulado al Final del
18.844	20.571	23.201	26.109	28.415	30.456	32.593	36.540
9.610	10.491	11.832	13.316	14.492	15.533	16.622	
9.234	10.080	11.368	12.793	13.923	14.924	15.971	
7687	7669	7469	7546	7122	6857	7907	
5960	5040	4560	5240	5080	4720	3960	
10.961	12.709	14.277	15.099	15.965	17.060	19.917	
0	0	0	0	0	0	0	
¢0	¢0	¢0	¢0	¢0	¢0	¢0	
¢0	¢0	¢0	¢0	¢0	¢0	¢0	
¢0	¢0	¢0	¢0	¢0	¢0	¢0	
¢219.912	¢219.912	¢219.912	¢219.912	¢219.912	¢219.912	¢219.912	
¢3.500	¢3.500	¢3.500	¢3.500	¢3.500	¢3.500	¢3.500	
¢223.412	¢223.412	¢223.412	¢223.412	¢223.412	¢223.412	¢223.412	¢2.680.944
¢843.805	¢744.525	¢724.610	¢801.125	¢751.045	¢703.425	¢644.300	¢8.761.780
¢620.393	¢521.113	¢501.198	¢577.713	¢527.633	¢480.013	¢420.888	¢6.080.836

Fuente propia

Tabla 59: Comportamiento del medidor 2 al 75%

Medidor 2 cobertura 75%		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.
Acumulado Total	kWh	0	1.625	3.840	7.076	8.434
Guardados para mes siguiente	kWh	0	829	1.958	3.609	4.302
Utilizable en mes actual (49%)	kWh	0	796	1.881	3.467	4.133
Energía producida	kWh	6505	6494	7916	6839	5999
Energía Requerida	kWh	4880	4280	4680	5480	6840
Excedente para subir a la red	kWh	1.625	3.011	5.117	4.826	3.291
Total kWh consumidos		0	0	0	0	0
Costo con tarifa de acceso	¢18	¢0	¢0	¢0	¢0	¢0
Costo con tarifa ordinaria mayor a 3000 kWh	¢63	¢0	¢0	¢0	¢0	¢0
Costo con tarifa ordinaria menor a 3000 kWh	¢107	¢0	¢0	¢0	¢0	¢0
Demanda	9996/kW	¢219.912	¢219.912	¢219.912	¢219.912	¢219.912
Tarifa mínima	¢3.500	¢3.500	¢3.500	¢3.500	¢3.500	¢3.500
Factura con Proyecto		¢223.412	¢223.412	¢223.412	¢223.412	¢223.412
Factura sin Proyecto		¢627.790	¢580.970	¢631.265	¢786.680	¢922.240
Ahorro		¢404.378	¢357.558	¢407.853	¢563.268	¢698.828

Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Acumulado al Final del
7.593	7.398	8.110	9.152	9.571	9.832	10.255	12.225
3.872	3.773	4.136	4.667	4.881	5.014	5.230	
3.721	3.625	3.974	4.484	4.690	4.818	5.025	
5765	5752	5601	5659	5341	5142	5930	
5960	5040	4560	5240	5080	4720	3960	
3.526	4.337	5.016	4.904	4.951	5.240	6.995	
0	0	0	0	0	0	0	
¢0	¢0	¢0	¢0	¢0	¢0	¢0	
¢0	¢0	¢0	¢0	¢0	¢0	¢0	
¢0	¢0	¢0	¢0	¢0	¢0	¢0	
¢219.912	¢219.912	¢219.912	¢219.912	¢219.912	¢219.912	¢219.912	
¢3.500	¢3.500	¢3.500	¢3.500	¢3.500	¢3.500	¢3.500	
¢223.412	¢223.412	¢223.412	¢223.412	¢223.412	¢223.412	¢223.412	¢2.680.944
¢843.805	¢744.525	¢724.610	¢801.125	¢751.045	¢703.425	¢644.300	¢8.761.780
¢620.393	¢521.113	¢501.198	¢577.713	¢527.633	¢480.013	¢420.888	¢6.080.836

Fuente propia

Tabla 60: Comportamiento del medidor 2 al 50%

Medidor 2 cobertura 50%		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.
Acumulado Total	kWh	0	0	50	647	330
Guardados para mes siguiente	kWh	0	0	25	330	168
Utilizable en mes actual (49%)	kWh	0	0	24	317	162
Energía producida	kWh	4337	4330	5277	4559	3999
Energía Requerida	kWh	4880	4280	4680	5480	6840
Excedente para subir a la red	kWh	0	50	622	0	0
Total kWh consumidos		543	0	0	604	2.679
Costo con tarifa de acceso	¢18	¢0	¢0	¢0	¢5.705	¢2.910
Costo con tarifa ordinaria mayor a 3000 kWh	¢63	¢0	¢0	¢0	¢0	¢0
Costo con tarifa ordinaria menor a 3000 kWh	¢107	¢58.114	¢0	¢0	¢64.608	¢286.685
Demanda	9996/kW	¢219.912	¢219.912	¢219.912	¢219.912	¢219.912
Tarifa mínima	¢3.500	¢3.500	¢3.500	¢3.500	¢3.500	¢3.500
Factura con Proyecto		¢281.526	¢223.412	¢223.412	¢293.725	¢513.007
Factura sin Proyecto		¢627.790	¢580.970	¢631.265	¢786.680	¢922.240
Ahorro		¢346.264	¢357.558	¢407.853	¢492.955	¢409.233

Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Acumulado al Final del
168	86	44	22	11	6	3	2
86	44	22	11	6	3	2	
82	42	21	11	6	3	1	
3844	3835	3734	3773	3561	3428	3953	
5960	5040	4560	5240	5080	4720	3960	
0	0	0	0	0	0	0	
2.034	1.163	804	1.456	1.514	1.289	5	
¢1.484	¢757	¢386	¢197	¢100	¢51	¢26	
¢0	¢0	¢0	¢0	¢0	¢0	¢0	
¢217.639	¢124.467	¢86.058	¢155.813	¢161.957	¢137.911	¢550	
¢219.912	¢219.912	¢219.912	¢219.912	¢219.912	¢219.912	¢219.912	
¢3.500	¢3.500	¢3.500	¢3.500	¢3.500	¢3.500	¢3.500	
¢442.535	¢348.636	¢309.855	¢379.422	¢385.469	¢361.374	¢223.988	¢3.986.361
¢843.805	¢744.525	¢724.610	¢801.125	¢751.045	¢703.425	¢644.300	¢8.761.780
¢401.270	¢395.889	¢414.755	¢421.703	¢365.576	¢342.051	¢420.312	¢4.775.419

Fuente: propia

4.6 Costo del proyecto

Se obtuvieron dos cotizaciones de dos empresas diferentes que ofrecen construir el proyecto bajo el sistema “llave en mano”, incluidos los gastos de estudio energético y el trámite ante la Compañía Nacional de Fuerza y Luz.

Los costos son los siguientes y las ofertas se detallan en los anexos del 13 al 16.

Para el medidor 1

$$\text{Purasol} \quad \$56\,274 * \frac{\text{¢}575,60}{1\$} = \text{¢}32\,391\,314$$

$$\text{Padilla Chacón} \quad \$66\,144 * \frac{\text{¢}575,60}{1\$} = \text{¢}38\,072\,486$$

$$\text{Promedio} \quad \frac{\text{¢}32\,391\,314 + \text{¢}38\,072\,486}{2} = \text{¢}35\,231\,900$$

Para el medidor 2

$$\text{Purasol} \quad \$118\,993 * \frac{\text{¢}575,60}{1\$} = \text{¢}68\,492\,370$$

$$\text{Padilla Chacón} \quad \$103\,748 * \frac{\text{¢}575,60}{1\$} = \text{¢}59\,717\,348$$

$$\text{Promedio} \quad \frac{\text{¢}68\,492\,370 + \text{¢}59\,717\,348}{2} = \text{¢}64\,104\,859$$

Para que el proyecto se pueda desarrollar a 100% de la potencia se debe realizar la estructura del techo en el estacionamiento para ubicar los paneles del medidor 1, la cual tiene un costo extra de \$21 479, que corresponde a ¢12 363 312, según la oferta presentada por la empresa Técnicas de Redes en el anexo 12.

Las ofertas están dadas a 63% de la carga total; esto comparando la potencia ofrecida en las cotizaciones con la potencia calculada en la sección 4.3.1.4, por lo que se procede a estimar el costo para los otros casos propuestos.

Entonces, para desarrollar el proyecto a 100% el costo se resume en:

$$\frac{\text{Costo medidor 1} + \text{costo medidor 2}}{63 \%} * 100\% + \text{¢12 363 312} = \text{Costo}$$

$$\frac{\text{¢35 231 900} + \text{¢64 104 859}}{63 \%} * 100\% + \text{¢12 363 312} = \text{¢170 040 707}$$

Desarrollarlo a 75%

$$\left(\frac{\text{Costo medidor 1} + \text{costo medidor 2}}{63 \%} * 100\% \right) * 0.75 + \text{¢12 363 312} * 75\% = \text{Costo}$$

$$\left(\frac{\text{¢35 231 900} + \text{¢64 104 859}}{63 \%} * 100\% \right) * 0.75 + \text{¢12 363 312} * 75\% = \text{¢127 530 530}$$

Y para 50% de la demanda total:

$$\left(\frac{\text{Costo medidor 1} + \text{costo medidor 2}}{63 \%} * 100\% \right) * 0.5 = \text{Costo}$$

$$\left(\frac{\text{¢35 231 900} + \text{¢64 104 859}}{63 \%} * 100\% \right) * 0.5 = \text{¢78 838 697}$$

Sin costo por la estructura porque se instalaría la totalidad de paneles en el techo.

4.7 Cálculo de los flujos netos de efectivo, VAN y TIR

Para definir el flujo neto de efectivo esto se hará sumando el ahorro anual en electricidad de ambos recibos menos el costo por mantenimiento anual; ello para los tres casos propuestos.

Los cálculos de la TIR y el VAN se realizan con las siguientes fórmulas, respectivamente:

$$0 = I_{\text{inv.}} + \sum_{j=1}^n \frac{F_j}{(1 + TIR)^j}$$

$$VAN = I_{\text{inv.}} + \sum_{j=1}^n \frac{F_j}{(1 + i)^j}$$

Escenario para 100%

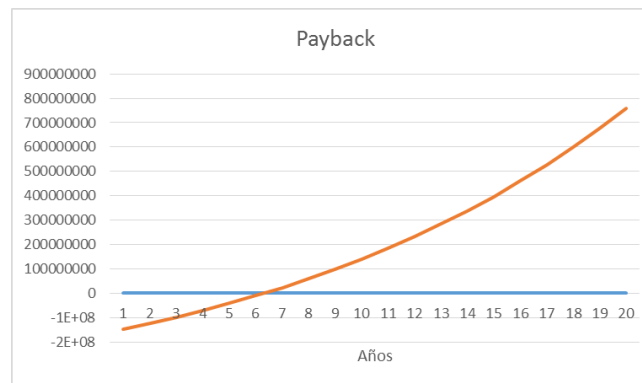
Tabla 61: Flujo neto de efectivo, VAN y TIR. Proyecto a 100%

Inversion Inicial	Q170.040.707									
Flujos Sin Proyecto		1	2	3	4	5	6	7	8	
Gasto energético Medidor 1 (7,16% anual)		24114725	25841339	27691579	29674296	31798976	34075783	36515609	39130126	
Gasto energético Medidor 2 (7,16% anual)		8761780	9389123	10061385	10781780	11553755	12381004	13267484	14217436	
Flujo Neto Anual		32876505	35230463	37752964	40456076	43352731	46456787	49783093	53347562	
Flujos Con Proyecto		1	2	3	4	5	6	7	8	
Gasto energético Medidor 1 (7,16% anual)		6639360	7114738	7624153	8170043	8755018	9381877	10053620	10773459	
Gasto energético Medidor 2 (7,16% anual)		2680944	2872900	3078599	3299027	3535237	3788360	4059607	4350275	
Mantenimiento preventivo (7,38% anual)		1240269	1331801	1430088	1535628	1648958	1770651	1901325	2041642	
Flujo Neto Anual		10560573	11319439	12132840	13004698	13939213	14940888	16014551	17165376	
Inversion Inicial		1	2	3	4	5	6	7	8	
Diferencia de flujos	-170040707	22315932	23911024	25620124	27451378	29413518	31515899	33768542	36182186	
Valor presente		21052766	21280726	21511150	21744063	21979492	22217465	22458009	22701151	
Valor acumulado		21052766	42333492	63844642	85588705	107568197	129785662	152243671	174944822	
20 años										
TIR	19%									
VAN	Q246.407.422,67									
Años	8,08	Meses								
PR	97									

9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
41931843	44934163	48151449	51599093	55293588	59252609	63495096	68041345	72913105	78133683	83728055	89722984
15235404	16326259	17495219	18747877	20090225	21528685	23070139	24721961	26492053	28388885	30421529	32599710
57167248	61260422	65646669	70346970	75383813	80781294	86565235	92763306	99405158	106522568	114149584	122322694
9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
11544838	12371449	13257245	14206463	15223646	16313659	17481717	18733408	20074720	21512070	23052334	24702881
4661754	4995536	5353216	5736507	6147240	6587383	7059039	7564467	8106083	8686478	9308430	9974913
2192316	2354109	2527842	2714396	2914719	3129825	3360806	3608834	3875166	4161153	4468246	4798003
18398908	19721093	21138303	22657366	24285605	26030867	27901563	29906709	32055968	34359701	36829010	39475797
9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
38768339	41539329	44508366	47689604	51098208	54750427	58663672	62856597	67349190	72162867	77320574	82846896
22946920	23195344	23446452	23700272	23956834	24216167	24478301	24743266	25011093	25281812	25555456	25832054
197891742	221087087	244533539	268233811	292190645	316406811	340885112	365628378	390639471	415921283	441476739	467308792

Fuente propia

Figura 48: Gráfico del tiempo de recuperación de la inversión. Proyecto a 100 %



Fuente propia

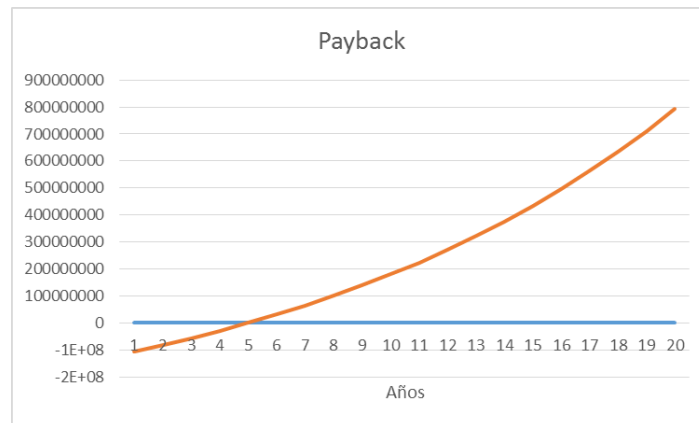
Escenario para 75%

Tabla 62: Flujo neto de efectivo, VAN y TIR. Proyecto a 75%

Inversion Inicial	Q127.530.530										
Flujos Sin Proyecto		1	2	3	4	5	6	7	8		
Gasto energético Medidor 1 (7,16% anual)		24114725	25841339	27691579	29674296	31798976	34075783	36515609	39130126		
Gasto energético Medidor 2 (7,16% anual)		8761780	9389123	10061385	10781780	11553755	12381004	13267484	14217436		
Flujo Neto Anual		32876505	35230463	37752964	40456076	43352731	46456787	49783093	53347562		
Flujos Con Proyecto		1	2	3	4	5	6	7	8		
Gasto energético Medidor 1 (7,16% anual)		6843134	7333102	7858153	8420796	9023725	9669824	10362183	11104116		
Gasto energético Medidor 2 (7,16% anual)		2680944	2872900	3078599	3299027	3535237	3788360	4059607	4350275		
Mantenimiento preventivo (7,38% anual)		1240269	1331801	1430088	1535628	1648958	1770651	1901325	2041642		
Flujo Neto Anual		10764347	11537803	12366839	13255451	14207920	15228835	16323115	17496033		
Inversion Inicial		1	2	3	4	5	6	7	8		
Diferencia de flujos	-127530530	22112158	23692660	25386124	27200625	29144811	31227952	33459978	35851529		
Valor presente		20860526	21086383	21314680	21545442	21778698	22014474	22252796	22493693		
Valor acumulado		20860526	41946909	63261589	84807031	106585730	128600204	150853000	173346693		
20 años											
TIR	23%										
VAN	Q285.110.698										
Años	Meses										
PR	6,11	73									
9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
41931843	44934163	48151449	51599093	55293588	59252609	63495096	68041345	72913105	78133683	83728055	89722984
15235404	16326259	17495219	18747877	20090225	21528685	23070139	24721961	26492053	28388885	30421529	32599710
57167248	61260422	65646669	70346970	75383813	80781294	86565235	92763306	99405158	106522568	114149584	122322694
9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
11899170	12751151	13664133	14642485	15690887	16814355	18018263	19308370	20690850	22172314	23759852	25461058
4661754	4995536	5353216	5736507	6147240	6587383	7059039	7564467	8106083	8686478	9308430	9974913
2192316	2354109	2527842	2714396	2914719	3129825	3360806	3608834	3875166	4161153	4468246	4798003
18753240	20100795	21545191	23093388	24752847	26531563	28438108	30481671	32672098	35019945	37536528	40233974
9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
38414007	41159627	44101477	47253582	50630966	54249731	58127126	62281635	66733061	71502622	76613056	82088720
22737192	22983321	23232108	23483582	23737773	23994708	24254419	24516934	24782284	25050500	25321612	25595651
196083885	219067205	242299313	265782896	289520669	313515377	337769796	362286730	387069014	412119514	437441126	463036777

Fuente propia

Figura 49: Grafico del tiempo de recuperación de la inversión. Proyecto al 75 %



Fuente propia

Escenario para 50%

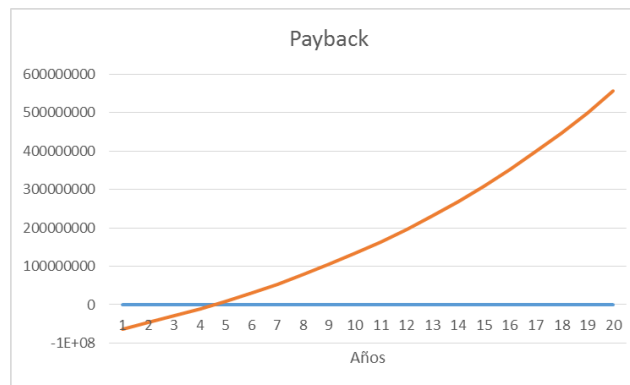
Tabla 63: Flujo neto de efectivo, VAN y TIR. Proyecto a 50%

Inversion Inicial	Q78.838.697									
Flujos Sin Proyecto		1	2	3	4	5	6	7	8	
Gasto energético Medidor 1 (7,16% anual)		24114725	25841339	27691579	29674296	31798976	34075783	36515609	39130126	
Gasto energético Medidor 2 (7,16% anual)		8761780	9389123	10061385	10781780	11553755	12381004	13267484	14217436	
Flujo Neto Anual		32876505	35230463	37752964	40456076	43352731	46456787	49783093	53347562	
Flujos Con Proyecto		1	2	3	4	5	6	7	8	
Gasto energético Medidor 1 (7,16% anual)		12399876	13287707	14239107	15258627	16351145	17521887	18776454	20120848	
Gasto energético Medidor 2 (7,16% anual)		3986361	4271784	4577644	4905404	5256630	5633005	6036328	6468529	
Mantenimiento preventivo (7,38% anual)		1240269	1331801	1430088	1535628	1648958	1770651	1901325	2041642	
Flujo Neto Anual		17626506	18891292	20246839	21699659	23256733	24925543	26714107	28631020	
Inversion Inicial		1	2	3	4	5	6	7	8	
Diferencia de flujos	-78838697	15249999	16339170	17506125	18756417	20095998	21531244	23068986	24716542	
Valor presente		14386792	14541803	14698480	14856839	15016899	15178678	15342193	15507464	
Valor acumulado		14386792	28928595	43627075	58483914	73500813	88679491	104021684	119529149	
20 años										
TIR	26%									
VAN	Q205.603.810									
Años	5,48									
Meses	66									

9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
41931843	44934163	48151449	51599093	55293588	59252609	63495096	68041345	72913105	78133683	83728055	89722984
15235404	16326259	17495219	18747877	20090225	21528685	23070139	24721961	26492053	28388885	30421529	32599710
57167248	61260422	65646669	70346970	75383813	80781294	86565235	92763306	99405158	106522568	114149584	122322694
9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21561501	23105304	24759644	26532434	28432157	30467899	32649401	34987098	37492174	40176613	43053259	46135872
6931676	7427984	7959828	8529752	9140482	9794940	10496258	11247790	12053132	12916136	13840931	14831942
2192316	2354109	2527842	2714396	2914719	3129825	3360806	3608834	3875166	4161153	4468246	4798003
30685492	32887397	35247313	37776582	40487357	43392664	46506465	49843721	53420471	57253902	61362436	65765817
9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
26481755	28373026	30399355	32570388	34896456	37388630	40058770	42919584	45984687	49268665	52787147	56556877
15674510	15843349	16014001	16186485	16360820	16537027	16715125	16895135	17077077	17260971	17446839	17634702
135203659	151047008	167061009	183247494	199608315	216145342	232860467	249755602	266832678	284093649	301540488	319175190

Fuente propia

Figura 50: Gráfico del tiempo de recuperación de la inversión. Proyecto a 50 %



Fuente propia

4.7.1 Determinación de flujos netos de efectivo incluyendo un sistema de iluminación led

Según los escenarios anteriores es más rentable dimensionar el sistema fotovoltaico al 50% y al complementarlo con el proyecto de iluminación del caso 3 con una TIR del -1%, según la sección 4.2.4.4, se efectuarán los cálculos correspondientes al proyecto combinando el ahorro con iluminación LED y la instalación del sistema fotovoltaico.

Según se calculó en la sección 4.2.4.2, el ahorro mensual por implementar la iluminación del caso 3 corresponde a $59\,158,1 \frac{kWh}{año} * \$63,36 = \$3\,748\,255,94$ al año, a lo que se le debe agregar el monto por ahorro en mantenimiento del sistema de iluminación, el cual corresponde a \$328 840.

Tomado de las tablas 53 y 54 se tiene que el sistema solar produciría un total de 295 866 kWh/año y, partiendo del hecho de que se diseñará sobre la mitad, se tiene un total de 147 932,99 kWh/año. A esto se le debe restar el ahorro por la instalación de luminarias led, que es de 59 158,1 kWh/año, y se obtienen 88 774,89 kWh/h que representan aproximadamente 60% de la potencia. Con este dato se pueden reducir los costos de la inversión inicial en paneles, porcentualmente, y agregar el costo por la implementación de la iluminación led, lo cual da como resultado la siguiente tabla resumen con los flujos de efectivo, el VAN y la TIR.

Inversión inicial en paneles + inversión inicial en iluminación = costo total del proyecto:

$$\$78.838.697 \times 0.6 = \$47\,303\,218 + \$59\,286\,800 = \$106\,590\,018.$$

Tabla 64: Tabla resumen. Proyecto combinado de iluminación con paneles solares.

Inversión Inicial	€106.590.018										
Flujos Sin Proyecto		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Gasto energético Medidor 1 (7,16% anual)		24114725	25841339	27691579	29674296	31798976	34075783	36515609	39130126	41931843	44934163
Gasto energético Medidor 2 (7,16% anual)		8761780	9389123	10061385	10781780	11553755	12381004	13267484	14217436	15235404	16326259
Flujo Neto Anual		32876505	35230463	37752964	40456076	43352731	46456787	49783093	53347562	57167248	61260422
Flujos Con Proyecto		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Gasto energético Medidor 1 (7,16% anual)		12399876	13287707	14239107	15258627	16351145	17521887	18776454	20120848	21561501	23105304
Gasto energético Medidor 2 (7,16% anual)		3986361	4271784	4577644	4905404	5256630	5633005	6036328	6468529	6931676	7427984
Ahorro Mantenimiento por luces LED		328840	353108	379168	407150	437198	469463	504110	541313	581262	624159
Ahorro en electricidad por luces LED		3748256	4016631	4304222	4612404	4942652	5296546	5675779	6082165	6517648	6984311
Mantenimiento preventivo (7,38% anual)		1240269	1331801	1430088	1535628	1648958	1770651	1901325	2041642	2192316	2354109
Flujo Neto Anual		13549410	14521553	15563449	16680104	17876882	19159533	20534218	22007542	23586583	25278926
	Inversión	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Diferencia de flujos	-106590018	19327095	20708910	22189515	23775972	25475849	27297254	29248875	31340020	33580665	35981496
Valor presente		18233108	18430856	18630744	18832797	19037036	19243487	19452172	19663116	19876344	20091879
Valor acumulado		18233108	36663965	55294709	74127506	93164542	112408029	131860201	151523317	171399661	191491540
	10 años										
TIR	19%										
VAN	€73.780.886										
	Años	Meses									
PR	5,85	70									

Fuente propia

4.8 Análisis de resultados

4.9.1 Evaluación del sistema de iluminación existente

Después de haber realizado un recorrido por el edificio y contabilizado las luminarias se determinó que predominan las luminarias tipo fluorescente con tubo T8 y una temperatura de 4 300 K, con un total de 355 luminarias. A esto le siguen las CFL (lámpara integrada compacta), con un total de 99 unidades instaladas.

Para poder separar los costos por iluminación del resto de la facturación se establecieron un horario y un promedio de uso diario por mes de 9 horas por día por 30 días al mes; sin embargo, entre semana el horario se extiende más allá de las 9 horas y en fines de semana -cuando no hay personal laborando- el consumo cae significativamente.

En la tabla 23 se estima el cálculo del consumo en kWh por mes, según se explicó anteriormente, el cual corresponde a 9677 kWh. Al multiplicar este por 12 meses se obtiene un total de 116 127 kWh al año, que es el punto de comparación a partir del cual se valorará un ahorro de tipo energético y monetario.

Al monto obtenido anteriormente se le suma el costo por mantenimiento en que se está incurriendo actualmente. Este se obtuvo realizando un estimado basado en el salario mínimo establecido por el Ministerio de Trabajo y la cantidad utilizada en un año, según la entrevista con el personal de mantenimiento.

De las opciones analizadas se seleccionaron tres de las mejores, dentro del mercado nacional, en cuanto a luminarias de ahorro energético tipo led, y se valoraron según los requerimientos de flujo luminoso establecidos en la norma INTECO para espacios interiores.

Lo que se pretende es hacer el cambio de manera que no haya que instalar más luminarias y se puedan mantener o mejorar los niveles de iluminación con las ubicaciones actuales, manipulando lo menos posible la red eléctrica. Esto justificado en la espera de que haya una reducción de consumo eléctrico.

4.8.2 Análisis caso 1

Para el caso 1 lo que se propone es un "retrofit", que consiste en aprovechar la estructura y renovar los componentes internos de una luminaria. Con los datos técnicos obtenidos mediante el modelo se realizó un cálculo de la cantidad requerida, utilizando el método de los lúmenes, de donde se obtuvo como ejemplo que para lograr los niveles óptimos de iluminación en la sala funcional del gimnasio se requerirían 14 luminarias; pero actualmente solo hay 10 instaladas. Posteriormente se presentan las tablas resumen 26, 27, 28 y 29, donde se calculan todas las oficinas y áreas del edificio usando el modelo en cuestión. De ahí se obtiene que es necesaria una cantidad de 609, lo cual vuelve a esta propuesta ineficaz, ya que actualmente solo se cuenta con 355 luminarias instaladas.

Ya conociendo que no es funcional esta opción, se hace un análisis de la proyección de consumo esperado si se instalaran tanto la cantidad requerida como la sugerida por el proveedor, calculando con base en los parámetros de 9 horas por día por 30 días al mes, de donde salen la tabla 30 y 31, que apuntan a un consumo de 6840 kWh al mes y 82 082 kWh al año para 451 unidades, y que representa cerca de 71% del consumo original y 8302 kWh al mes, y 99 630 kWh por año, que corresponde a 86% de lo que se tiene actualmente.

Pasando al ámbito financiero, se requiere la inversión de ¢30 052 288,97 y ¢37 801 954,4, respectivamente para esta iniciativa. Se calculan los flujos netos de efectivo

en la sección 4.2.4.3 con base en una inflación de 7,16% para el sector electricidad y de 7,38% para los salarios, que se calcularon por medio de la fórmula de estimación del BCCR. Además, se ha establecido una tasa de descuento mínima de 7,15% para la aceptación de cualquier proyecto.

En la sección 4.2.4.4 se calculan el VAN y la TIR con resultados de ¢4 602 605 para el VAN y de 2% para la TIR con 451 unidades. En el caso de 609 luminarias el VAN es de ¢-18 625 955 y la TIR de -10%. Con estos datos se puede ver que no tiene rentabilidad alguna esta propuesta.

4.8.3 Análisis del caso 2

Para el caso 2 lo que se propone es cambiar la totalidad de las luminarias existentes por el modelo sugerido en la sección 4.2.2.1. Al revisar los datos técnicos se evidencia que estas son más eficientes en cuanto a la relación de Lumen/Watt, que es de 66 L/W, según la tabla 37. Al calcular la cantidad de unidades requeridas con el método de los lúmenes, que se explicó en el capítulo 2, se obtienen las tablas 33, 34, 35 y 36, que resumen los cálculos realizados para llegar al total de 322 luminarias. Con este dato se calcula el consumo de energía estimado siguiendo el mismo parámetro de la cantidad promedio de horas por mes, y se obtiene que son 6 340 kWh por mes y 76 088 kWh al año, que constituye un ahorro de 45%.

Desde el punto de vista financiero se requiere la inversión de ¢45 533 989,2, calculando los flujos netos de efectivo en la sección 4.2.4.3 con base en una inflación de 7,16% para el sector electricidad y de 7,38% para los salarios, que se obtuvieron por medio de la fórmula de estimación del BCCR. Además, se ha establecido una tasa de descuento mínima de 7,15% para aceptación de cualquier proyecto.

En la sección 4.2.4.4 se calculan el VAN y la TIR con resultados de ¢-5 592 028 para el VAN y de -2% para la TIR. Con estos datos se puede ver que el proyecto no tiene viabilidad financiera, aunque sí evidencie un ahorro de energía que no es suficiente para pagar la inversión.

4.8.4 Análisis del caso 3

Para el caso 3 las luminarias sugeridas son marca Sylvannia con potencia de 45 W, las cuales inicialmente resaltan por su eficiencia lumen/Watt en la tabla 43 con casi 89 L/W. Los datos técnicos de este modelo se citaron en la sección 4.2.3.1.

Al calcular la cantidad de luminarias requeridas con el método de los lúmenes para corroborar que cumplan con los niveles solicitados de flujo luminoso por área se llega a los resultados que se tabularon en las tablas 39, 40, 41 y 42, donde se demuestra que se requieren 384 unidades en total para cumplir con esa condición.

Al realizar el cálculo para la estimación del consumo de energía, siempre basándose en el promedio fijado de 9 horas por día y 30 días al mes, se obtiene la tabla 43, donde el total es de 4747 kWh por mes y de 56 968 kWh al año, lo que significa 49% del total de la facturación por iluminación.

Desde el punto de vista financiero y según la evaluación del proyecto, se establecen los flujos netos de efectivo en la sección 4.2.4.3 con base en una inflación de 7,16% para el sector electricidad y de 7,38% para los salarios, que se calcularon por medio de la fórmula de estimación del BCCR. Además, se ha establecido una tasa de descuento mínima de 7,15% para la aceptación de cualquier proyecto, con lo que se obtuvieron en la sección 4.2.4.4 el VAN y la TIR con resultados de ¢-2 480 640 y -1%, respectivamente. Con esto si bien es cierto se representa un ahorro significativo en consumo energético, el proyecto no

representa atracción en lo monetario, pues el valor actual de este no recupera la inversión inicial y la TIR de 1% está lejos de ser rentable.

En el gráfico de la figura 25 se puede ver el comportamiento de la facturación según cada propuesta y en los anexos 8, 9, 10 y 11 el cálculo realizado en Excel de cada caso con su respectivo gráfico.

4.9 Sistema fotovoltaico

4.9.1 Parámetros de cálculo

Se comienza citando la tabla 2, en donde se muestra el consumo de los dos medidores obtenidos directamente de los recibos eléctricos. Con base en estos datos se procede a realizar el cálculo de las necesidades diarias de energía, y para lograr una mejor eficiencia del sistema fotovoltaico se usa el mes de mayor consumo de energía, para asegurar así cobertura para cualquier mes. Este corresponde a mayo y, dividiendo este dato entre los 30 días de mayo, se obtiene que son necesarios 466,66 kWh/día y 228 kWh/día, respectivamente.

Las horas pico solar se obtuvieron directamente de la página de la NASA introduciendo los valores de latitud y longitud de la ubicación del edificio. Estos se tabularon en la tabla 3, de donde se obtuvo que el mes de menor irradiación corresponde a noviembre; por tanto, será el que se use para realizar los cálculos. Esto siempre siguiendo la línea de diseñar -en la situación más crítica- y asegurarse el abastecimiento durante cualquier mes.

Para el cálculo de la cantidad de módulos fotovoltaicos requeridos se escogieron paneles de 275 Wp, bajo la razón de peso de que son 20% más pequeños, pero 5% más eficientes que los paneles de potencias por encima de 300 Wp; esto según datos técnicos del fabricante.

De la aplicación de la fórmula resultó que la cantidad requerida es de 486 paneles para el servicio 1 y de 238 para el segundo medidor. Posteriormente a esto se realiza el cálculo del número óptimo de paneles y se calcula la máxima potencia que estará proporcionando el arreglo fotovoltaico, de lo que se obtuvo que la potencia sería de 133,65 kW y de 65,45 kW, respectivamente.

Multiplicando la potencia máxima del sistema por el valor de HSP y la cantidad de días de cada mes se obtienen las tablas 53 y 54 de la producción total de energía por mes.

4.9.2 Cálculo del inversor

Para la selección del inversor se plantean dos opciones en el mercado, usar microinversor o inversor centralizado. Según la investigación realizada y la recomendación de expertos en el tema no es conveniente usar microinversores para proyectos de potencias altas, sino más bien que no superen los 10 kW, sabiendo que tienen excelentes beneficios residencialmente, y comercialmente también pueden encarecer significativamente el proyecto en gran escala, sin tomar en cuenta la pérdidas por eficiencia, ya que manejan valores más bajos que los inversores centralizados, en los que usar menos partes es mejor para evitar puntos de falla.

Aplicando lo anterior se procede a calcular la potencia requerida de un inversor centralizado y se obtiene que se requiere uno de 133,65 kW y uno de 65,45 kW, para los cuales existen equipos con valores comerciales de potencia similares, pero los costos se dispararían, por lo que se decide utilizar el modelo ABB TRIO-20-TL con capacidad de 22 kW, esto por disponibilidad en el mercado y por calidad.

Cada inversor tendrá capacidad de manejar hasta 80 paneles, es decir, 6 inversores para el medidor 1 y 3 para el medidor 2, distribuidos hasta un máximo de 13 en serie y 3 arreglos en paralelo.

El ángulo de inclinación se determinó introduciendo el dato de latitud de la ubicación del edificio, el cual se obtuvo de las coordenadas proporcionadas por el programa Google Earth.

Como el arreglo de paneles para el medidor dos se tiene previsto colocarlos en el techo, se calculó en la sección 4.3.1.8 la distribución del peso, que corresponde a 11.25 kg/m^2

El calibre del cable se definió en 4 awg cu THHN desde la salida de los inversores hasta el tablero de interconexión, y la acometida desde este tablero hasta la conexión con los medidores se calculó en #3/0 awg cu THHN y #1/0 awg cu THHN, al comprobar por caída de tensión se tienen 1,82% y 1,93%, lo cual es inferior al 2% establecido. Las protecciones se definieron en 3 polos de 200 A y 125 A, respectivamente.

En el diagrama de instalación de la sección 4.3.1.11 se ilustra cómo se debe hacer la conexión de una planta solar al sistema eléctrico nacional.

Para la soportería se presenta, en el nivel nacional, una gran oferta de soportes y tornillería. En este caso se utilizará la indicada en la sección 4.3.2 de este documento, que también está incluida en los costos del proyecto.

4.9.3 Cálculo de los costos por mantenimiento

Para tener una visión clara de la rentabilidad de un proyecto solar se deben tomar en cuenta todas las variables que influyen en su costo. Entre estas se encuentra el rubro por mantenimiento, que se calculó en la sección 4.4 con base en el estimado de que se durarían

aproximadamente dos semanas en la limpieza de los paneles, el ajuste de bornes y las mediciones de control. Con base en lo anterior y en el salario de un técnico estimado en la sección 4.1.2, se obtuvo el costo anual que representa el mantenimiento del sistema solar, el que corresponde a un millón doscientos cuarenta mil doscientos sesenta y nueve colones por año.

4.9.4 Cálculo de la cobertura mensual

Con los datos obtenidos de las tablas 53 y 54 de producción de energía esperada y en la tabla 2 del comportamiento de consumo de ambos medidores se estimó la facturación para los tres escenarios de 100%, 75% y 50% de la potencia requerida.

En la tabla 55, que corresponde a un diseño de 100%, se puede observar -para el medidor 1- que se genera mucho más energía de la que se consume, y se tiene así un recibo eléctrico cuyo consumo siempre será 0 kWh, y se facturarán únicamente el costo por demanda y la tarifa mínima; pero al final de periodo se evidenciará un sobrante de 49 886 kWh, que por la normativa existente simplemente se pierden y se comienza el siguiente año en cero.

Esta no es la forma óptima de diseñar, ya que si bien es cierto el cliente puede percibir un ahorro, se estará haciendo una inversión innecesaria.

Para el medidor 2 se puede apreciar el mismo comportamiento anterior, pero con un sobrante de 36 540 kWh al final del periodo, y aunque esta instalación representaría un ahorro de ₡6 080 836 al año y representa 70%, no es un diseño optimizado de nivel de inversión.

En el caso del diseño a 75% se puede ver que bajando la inversión 25% se evidencia exactamente el mismo ahorro de 72% en la facturación del medidor 1 y 70% en el medidor

2, con una disminución en la factura de ¢17 271 591 para el medidor 1 y de ¢6 080 836 para el medidor 2. Lo más destacado es que al final del año el sobrante de energía donado a la Compañía Nacional de Fuerza y Luz será de 1 741 kW/h y 12 225 kW/h, notablemente menor que en el caso primero.

Para el diseño a 50% se tiene un ahorro de 49% en la facturación del medidor 1 y para el medidor 2 55%, pero la inversión inicial es inferior a 50%, ya que incluso no se debe hacer la estructura para el techo porque la totalidad de paneles se instalaría sobre el techo del edificio. En este caso se puede ver un comportamiento más dinámico respecto al consumo y ahorro de excedentes mensuales, y se saca mejor provecho de la red eléctrica nacional, porque al final del periodo se cuenta con 0 kWh almacenados en el medidor 1 y únicamente 2 kWh en el medidor 2.

Con este análisis se evidencia que es más rentable realizar un diseño cercano a 50% de la potencia requerida y sacar mejor provecho de la legislación de 49% establecida por la Aresep.

4.9.5 Costo del proyecto

Los costos de un proyecto solar trascienden más allá de los de los materiales eléctricos, paneles solares, inversores y soportería, ya que se debe realizar un trámite con supervisión de un ingeniero ante la compañía distribuidora de electricidad, en que se deberá pagar también el derecho al segundo medidor. Para efectos del trabajo se han conseguido dos cotizaciones con empresas privadas que realizan el todo este trámite y ofrecen un proyecto “llave en mano”, de donde se saca un promedio de las dos para usarlo como valor de inversión inicial.

Las cotizaciones presentadas están dimensionadas en 63% del total requerido, por lo que a partir de ahí y por regla de 3 se obtiene cuanto representaría el costo de 100% para presentar los tres escenarios planteados.

El total (100%) del proyecto cotizado por las empresas requiere una inversión extra de \$12 363 312 para la estructura del techo en el parqueo, donde se instalarían los paneles del medidor 1.

4.9.6 Cálculo de los flujos netos de efectivo, el VAN y la TIR

Aplicando las fórmulas expuestas en la sección 4.8 se plantearon los tres escenarios en Excel. Las tablas 61, 62 y 63, respetivamente, resumen estos resultados que proyectan una TIR de 19%, 23% y 26 % para cada diseño, respetivamente, todos calculados con una vida útil del proyecto de 20 años.

En cuanto a la recuperación de la inversión se presentan los gráficos en la figuras 32, 33 y 34 para cada escenario. Se muestra que el tiempo de *payback* para un proyecto desarrollado a 100% de la potencia es de 8,08 años. Si se opta por diseñar a 75% este tiempo de recuperación se disminuye a 6,11 años, y para el diseño a 50% se estima el rescate de la inversión inicial en 5,48 años.

Como se vio anteriormente, en el cálculo de la producción mensual de energía y la optimización de la inversión el mejor escenario sigue siendo diseñar a 50% de la potencia total requerida, con mejores resultados en los tres parámetros financieros que determinan la factibilidad de un proyecto.

4.9.7 Determinación de flujos netos de efectivo excluido el consumo por iluminación

En esta sección se calculó el cuarto caso propuesto en la sección 4.2.3.1, donde se compara mantener la iluminación existente con la viabilidad de un sistema combinado con paneles fotovoltaicos. Los resultados obtenidos se pueden ver en las tablas 63 y 64, y sigue siendo más rentable no intervenir la iluminación; sin embargo, el proyecto combinado, el que se debe calcular con vida útil de 10 años por incluir el sistema de iluminación led, está por encima de los valores mínimos requeridos para la aceptación, con 19% de TIR, y el proyecto fotovoltaico independiente tiene una TIR de 26%; pero si se toma en cuenta que el edificio tendría un aspecto más moderno y eco-amigable, valdría la pena valorarlo como opción.

Conclusiones

1. En la sección 4.1 se realiza el análisis del sistema de iluminación basado en lámparas fluorescentes tipo T8. En primer lugar se hace un levantamiento del sistema de iluminación actual. Luego se procede a realizar una comparación entre lo existente y tres soluciones usando opciones de luminarias led. Un punto importante es lograr cumplir los estándares de iluminación interior establecidos en la norma INTECO 31-08-2000, para lo cual se debe diseñar con la potencia de lámparas led, muy similares a las fluorescentes tipo T8. Por ejemplo, en las tablas 29, 36 y 42 de la sección 4.2.1 se observa que para igualar las condiciones solicitadas por la norma prácticamente se debe duplicar la cantidad de luminarias presentes y obtener niveles de lux semejantes a los actuales, que dieron valores para la TIR de -2% y VAN de -17 097 402 -para el segundo caso planteado- y una TIR de -1% con VAN de -18 842 428 para la tercera opción. Por tanto, la inversión se hace alta y difícil de recuperar.
2. Se llevó a cabo una investigación de posibles soluciones que ofrece el mercado nacional. Para la sustitución o mejora del sistema de iluminación se encontró un sinnúmero de opciones, de las cuales lo menos conveniente es optar por un “retro fit”, ya que las carcassas para fluorescentes no están adaptadas para utilizarse con lámparas led, según se vio en la sección 4.2.1.2, lo que crea una desventaja por su mala distribución del haz de luz en las diferentes direcciones.

Existe otra alternativa que se analizó la cual es el cambio total de la luminaria. Esta opción sí ofrece un mejor desempeño y beneficios como menos generación de calor y un aspecto más moderno, según se vio en la sección 2.13.

3. Comparando el gasto de energía actual en iluminación con el consumo esperado después de la implementación de alguna de las opciones valoradas, se obtuvo que para el primer caso se percibiría un ahorro de 30 % sobre el consumo eléctrico actual por iluminación. Para el caso 1.1 el ahorro representa apenas 15%, y para el caso 2 y el caso 3 este porcentaje de ahorro es de 35% y 51%, respectivamente, por lo que se llega a la conclusión de que, aunque se puede percibir hasta 50% de ahorro -según se vio en la sección 4.2.4.2-, financieramente no alcanza para darle rentabilidad al proyecto, ya que al evaluar cada caso por medio del valor actual neto y la tasa interna de retorno estos indicadores permanecen muy por debajo del mínimo aceptado, según se vio en la tabla 35, en que se resume la rentabilidad económica de las propuestas.
4. Otro punto presente fue la valoración de implementar un sistema de cogeneración con tecnología fotovoltaica para subvencionar parte del consumo eléctrico actual, para lo cual se realizó una comparación entre 3 posibles casos de implementación de paneles solares, en la sección 4.6, y según las tablas 55 a 60 se logró ver que el valor de ahorro por mes para cada escenario sería de 61% para la primera y segunda opción. Para el caso 3 el ahorro es de 51% en la facturación, óptimo de implementación desde el punto de vista de ingeniería, y el financiero es de 50% de la potencia total requerida. Se logra así un mejor aprovechamiento de la normativa actual y una menor inversión inicial con resultados financieros más llamativos, al llegar hasta una tasa interna de retorno de 26% y un tiempo de recuperación de la inversión de 66 meses.

Según se analizó en la sección 4.8.1, la opción de cambiar la iluminación existente por las luminarias sugeridas en la sección 4.2.3, en conjunto con la implementación de un sistema fotovoltaico diseñado a 50% de la capacidad total, hace que esta sea una opción

llamativa tanto desde el punto de vista financiero como de ingeniería, porque se puede reducir el gasto en energía y paralelamente a ello dar un aspecto más moderno y llamativo al interior del edificio, solo sacrificando un porcentaje de la viabilidad del proyecto si se compara con el sistema fotovoltaico independiente.

Recomendaciones

1. En cuanto a la iluminación, no se recomienda cambiar las luminarias existentes por tipo led si lo que se busca es un ahorro monetario. Por el contrario, esto es rentable solamente si se complementa con un sistema fotovoltaico para el edificio, porque esta inversión, aparte de ser rentable con una TIR de 19%, se puede justificar desde el punto de vista ambiental.
2. Con los resultados obtenidos se puede decir que no todo sistema de ahorro energético en realidad sea rentable para una empresa. Se recomienda siempre hacer los respectivos cálculos para no cometer ningún error a la hora de tomar una decisión, pues dependiendo del sistema utilizado son muchos millones los que estarían de por medio y no siempre su recuperación es la deseada.
3. Según los cálculos realizados en la sección 4.8 se recomienda que el sistema fotovoltaico que se instale se encuentre cercano a 50% de la demanda total, dado que se obtienen mejores resultados financieros, y en el nivel de ingeniería es un diseño más optimizado con respecto a los manejos mensuales de la energía almacenada en la red eléctrica nacional. Sin contar con él se requiere un diseño más sencillo.
4. La instalación fotovoltaica debe satisfacer el estándar IEEE 1547 (Estándares para interconexión de sistemas distribuidos), vigente un año antes de la presentación de la solicitud o de una revisión más reciente. Los paneles fotovoltaicos instalados deberán cumplir con la norma IEC 61215, UL 1703 o una similar (inversores, convertidores y equipos para sistemas de interconexión para uso de generación distribuida). Las instalaciones deben estar de acuerdo con el National Electric Code (NEC) 2008 del National Fire Protection Association (NFPA) o su versión vigente en Costa Rica.

5. Facilitar al personal interno que aproveche la capacitación de mantenimiento preventivo y correctivo que brinda la empresa proveedora, de modo que esta se haga cargo del mantenimiento de los equipos posteriormente. Es de suma importancia que se siga el plan de mantenimiento preventivo para garantizar una mayor eficiencia y durabilidad, ya que la suciedad o polvo en los paneles disminuye de forma significativa su generación eléctrica.

ANEXOS

Anexo 1

Tarifas de la Compañía Nacional de Fuerza y luz

Pliego Tarifario (Rige a partir del sábado 01 julio 2017) ALCANCE N° 152 del lunes 26 de junio del 2017 (Tarifa Incluye CVC)			
Haga clic dentro de cada pestaña para ver el contenido.			
Tarifa Comercios y Servicios T-CO	Tarifa Industrial T-IN	Tarifa Media Tensión TMT	Tarifa Preferencial de Carácter Social T-CS
Aplicable estrictamente a todos aquellos clientes no residenciales en todo el sistema de distribución de la CNFL S.A y que no son especificados en otras tarifas. Incluye cabinas, áreas de recreo, moteles, hoteles, locales, talleres, servicios combinados casa pulpería, etc..			
Pliego Tarifario (Rige a partir del sábado 01 de julio 2017) ALCANCE N° 152 del lunes 26 de junio del 2017 (Tarifa Incluye CVC)			
Bloques de consumo			
Consumo menor o igual a 3.000 kWh			¢ 106,08
	Por Consumo de Energía	Bloque de 0- 3.000 kWh Cargo Fijo	¢191.580,00
		Bloque mayor a 3.000 kWh cada kWh	¢63,86
	Cargo por Potencia	Bloque 0- 8 KW Cargo Fijo	¢79.974,48
		Bloque mayor a 8 kW	¢9.996,81

Anexo 2

Calculadora patronal CCSS

¢326,312.12

Caja Costarricense de Seguro Social			
Concepto	Patrono	Trabajador	Monto
SEM	9,25%	5,50%	¢48,131
IVM	5,08%	3,34%	¢27,475
TOTAL CCSS	14,33%	8,84%	¢75,607
Recaudación Otras Instituciones			
Institución	Patrono	Trabajador	Monto
Cuota Patronal Banco Popular	0,25%	-	¢816
Asignaciones Familiares	5,00%	-	¢16,316
IMAS	0,50%	-	¢1,632
INA	1,50%	-	¢4,895
TOTAL OTRAS INSTITUCIONES	7,25%	-	¢23,658
Ley de Protección al Trabajador (LPT)			
Concepto	Patrono	Trabajador	Monto
Aporte Patrono Banco Popular	0,25%	-	¢816
Fondo de Capitalización Laboral	3,00%	-	¢9,789
Fondo de Pensiones Complementarias	0,50%	-	¢1,632
Aporte Trabajador Banco Popular	-	1,00%	¢3,263
INS	1,00%	-	¢3,263
TOTAL LPT	4,75%	1,00%	¢18,763
Total			
	Patrono	Trabajador	Total
PORCENTAJES TOTALES	26,33%	9,84%	36,17%
MONTOS TOTALES	¢85,918	¢32,109	¢118,027

Anexo 3

Salarios mínimos del sector privado

Técnico Reparación Audio y Video	TES	¢	19.587,92
Técnicos en Salud *	TEdS	¢	421.207,09
Tejedora Manual de Prendas, Muebles	TC	¢	10.701,30
Telefonista *	TSCG	¢	310.258,93
Tornero en Madera	TC	¢	10.701,30
Tornero en Metal	TE	¢	12.621,91
Tractorista (Oruga o Llanta)	TC	¢	10.701,30
Tramitador - Abridor Aduanal	TSC	¢	10.507,87
Vagonetero	TC	¢	10.701,30
Verdadero	TSC	¢	10.507,87
Zapatero	TC	¢	10.701,30

Estos salarios contienen un incremento del **0,67%** para todas las categorías del Decreto en relación con los salarios mínimos del periodo anterior, excepto para servicio doméstico ya que se le otorgo un **1,00%**.

Para efectos de los Salarios Mínimos el instrumento para la clasificación de ocupaciones son los Perfiles Ocupacionales aprobados por el Consejo Nacional de Salarios. De conformidad con ellos se ha elaborado esta guía ilustrativa que contiene algunas ocupaciones clasificadas por Personal Técnico del Departamento de Salarios, en el entendido de que se basan en las tareas típicas conocidas, por lo que un puesto determinado podría tener una clasificación distinta según sus características y responsabilidades específicas.

Esta lista está disponible en
www.mtss.go.cr

Para consultas laborales llame
gratuitamente:

800 TRABAJO
800 872 22 56

Documento gratuito, prohibida su
reproducción y venta



Departamento de Salarios

Lista de ocupaciones clasificada por el personal
técnico del Departamento

Salarios Mínimos Sector Privado Primer Semestre 2016

Decreto N° 39370- MTSS, publicado en La Gaceta
No.239, Alcance N°111 del 09 de diciembre del 2015.
Rige 1° de enero del 2016.

SIGLAS Y SALARIOS MÍNIMOS

TNC:	Trabajador no Calificado	¢ 9.663,04
TSC:	Trabajador Semicualificado	¢ 10.507,87
TC:	Trabajador Calificado	¢ 10.701,30
TE:	Trabajador Especializado	¢ 12.621,91
TNCG:	Trabajador no Calificado Genéricos	¢ 288.386,69*
TSCG:	Trabajador Semicualificado Genéricos	¢ 310.258,93*
TCG:	Trabajador Calificado Genéricos	¢ 326.148,79*
TMED	Técnico Medio Educación Diver.	¢ 341.780,69*
TEG:	Trabajador Especializado Genéricos	¢ 366.261,42*
TEdS:	Técnico de Educación Superior	¢ 421.207,09*
DES:	Diplomados de Educación Superior	¢ 454.919,39*
Bach:	Bachiller Universitario	¢ 515.986,27*
Lic.:	Licenciado Universitario	¢ 619.204,75*
TES:	Trabajador Especialización Superior	¢ 19.587,92

* Salario mensual. El que no tiene ninguna indicación,
está por jornada ordinaria.

Para mayor información y debido a que se han hecho circular
algunas listas alteradas, se sugiere consultar personalmente
en la Oficina de Salarios, en Barrio Tournón del Edif.
Benjamín Núñez 50 metros sureste sobre calle paralela,
Edificio Anexo, al Ministerio de Trabajo y Seguridad Social,
Segundo Piso.

Teléfono: 2256-2221 • Fax: 2257-4633

Anexo 5

Oferta, caso 1, iluminación LED

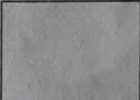
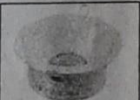
opción #01

Iluminaciones Técnicas de Costa R
 Teléfono: 2272-9300 Fax 2272-519 Email telemercadeo4@arqde
 Dirección: Curridabat

Proforma N° 13764
 jueves 02 de Febrero de 2017

Cliente: 950 COLEGIO CIENCIAS ECONOMICAS
 Vendedor: 50 Gerencia de Proyectos
 Plazo: 1 días
 Observaciones:

Precios sujetos a cambios sin previo aviso

N°	Código	Descripción	Cant	Ex	Precio	% Dsc	Sub-total
1	66904	DRIVER LED 36W 120-277V D- GELD36DMV70 GE66904	451	\$	29.41	\$	13,263.91
							
2	98460	LED BOARD 17W 4000K 560mm GELLMA560A840AGE98460	902	\$	23.00	\$	20,746.00
							
3	39420	HOUSING BLANCO LED 12W 4000K LDLG36L2SP40 GE39420	232	\$	34.06	\$	7,901.92
							
Sub-total							41,911.83
Descuento							\$ 0.00
13.00% Imp Vtas							\$ 5,448.54
Flete							\$ 0.00
TOTAL \$							47,360.37

Hecho por: Carlos Solano

Firma: _____

ág 1 de 1
 DF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Anexo 6.

Oferta, caso 2. Iluminación LED

opcion #02

Iluminaciones Técnicas de Costa R
 Teléfono: 2272-4300 Fax: 2272-519 Email: telm@mercaderos4@arqde
 Dirección: Curridabat

Proforma N° 13765
 jueves 02 de Febrero de 2017

Cliente: 950 COLEGIO CIENCIAS ECONOMICAS
 Vendedor: 50 Gerencia de Proyectos
 Plazo: 1 días
 Observaciones:

Precios sujetos a cambios sin previo aviso

N°	Código	Descripción	Cant	Ex	Precio	% Dsc	Sub-total
1	72255	LUMINARIA DE LED 2x4 4000K 72W LED-ELC-24-BW ALP	270	\$	214.12	\$	57,812.40
							
2	39420	HOUSING BLANCO LED 12W 4000K LDLG36L2SP40 GE39420	232	\$	34.06	\$	7,901.92
							

Sub-total 65,714.32
 Descuento \$ 0.00
 13.00% Imp Vtas \$ 8,542.86
 Flete \$ 0.00
TOTAL \$ 74,257.18

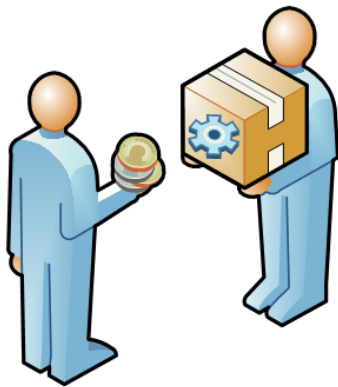
Hecho por: Carlos Solano
 Firma: _____

Pág 1 de 1
 PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Anexo 7

Oferta, caso 3. Iluminación LED

PROPUESTA ECONOMICA



OFERTA DE CONTADO: \$103 000 Ciento Tres Mil
Dólares con 00/100 USD

OFERTA FINANCIADA :

- 14 MESES PLAZO
- MONTO MENSUAL: \$8 250 Ocho Mil
Doscientos Cincuenta Dólares 00/100 USD

Anexo 8



CPCECR

Fecha : San José, 05 de Julio del 2017

Señor: CPCECR

DE : ERIC SANDOVAL GUZMAN

Dpto : Dirección de proyectos

Asunto : Mano de Obra Sistema de Iluminacion tipo LED

Estimado señores: CPCECR , luego de saludarlos tengo
el agrado de presentarle nuestra oferta, del proyecto antes mencionado.

Paginas : 3 páginas incluyendo ésta

Sin otro particular estamos a la espera de su respuesta, y no omito manifestarle
nuestra completa disponibilidad para aclarar cualquier duda al respecto.

Atentamente
Eric Sandoval G



CPCECR

Hoja 2 de 3

MANO DE OBRA PARA SISTEMA DE ILUMINACION LED GE

Item	Cant	Descripción	P/Total
1	1	Mano Obra Directa	\$ 3.000,00
2	1	Mano Obra Indirecta (INGENIERIA, Y ADMINISTRACION)	\$ 1.850,00
			\$ 4.850,00

COSTO TOTAL DEL PROYECTO

Resumen de Costos materiales y mano de obra.

MANO DE OBRA PARA SISTEMA DE ILUMINACION LED GE	\$ 4.850,00
TOTAL DE PROYECTO	\$ 4.850,00

CONDICIONES GENERALES

TIEMPO DE ENTREGA:

30 Días naturales después de recibida la orden de compra

GARANTIAS:

Garantía : 1 Años

FORMA DE PAGO:

Contra Entrega de Proyecto

VIGENCIA DE LA OFERTA:

20 Días naturales contados a partir de esta fecha

Anexo 9

Cálculos en Excel para la propuesta 1 de iluminación.

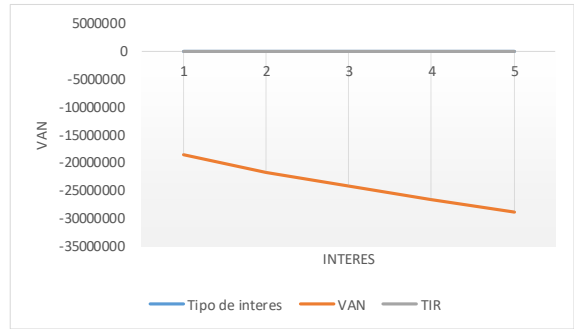
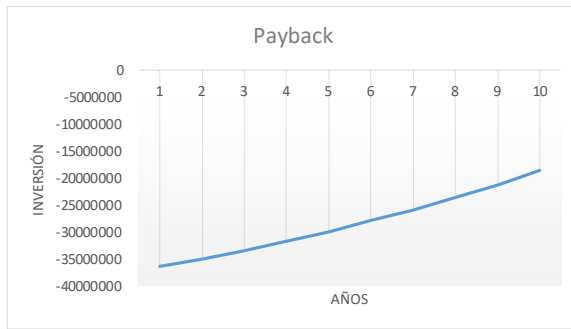
Cálculo de VAN y TIR con Excel. Caso 1									
Periodo	Flujos netos de caja	Ahorro Acumulado	Tipo de interes	0	0,03	0,06	0,1	0,15	
0	-30052289		VAN	₡4.602.605,26	-₡985.082,15	-₡5.380.242,36	-₡9.882.366,21	-₡13.977.241,16	
1	2485902,528	-27566386,47	TIR	2%	2%	2%	2%	2%	
2	2664616,562	-24901769,91							
3	2856179,908	-22045590	Resultado VAN	Rentable	NO Rentable	NO Rentable	NO Rentable	NO Rentable	
4	3061516,518	-18984073,48							
5	3281616,788	-15702456,7							
6	3517542,339	-12184914,36							
7	3770431,14	-8414483,216							
8	4041502,997	-4372980,22							
9	4332065,442	-40914,77801							
10	4643520,041	4602605,263							

Payback

Anexo 10

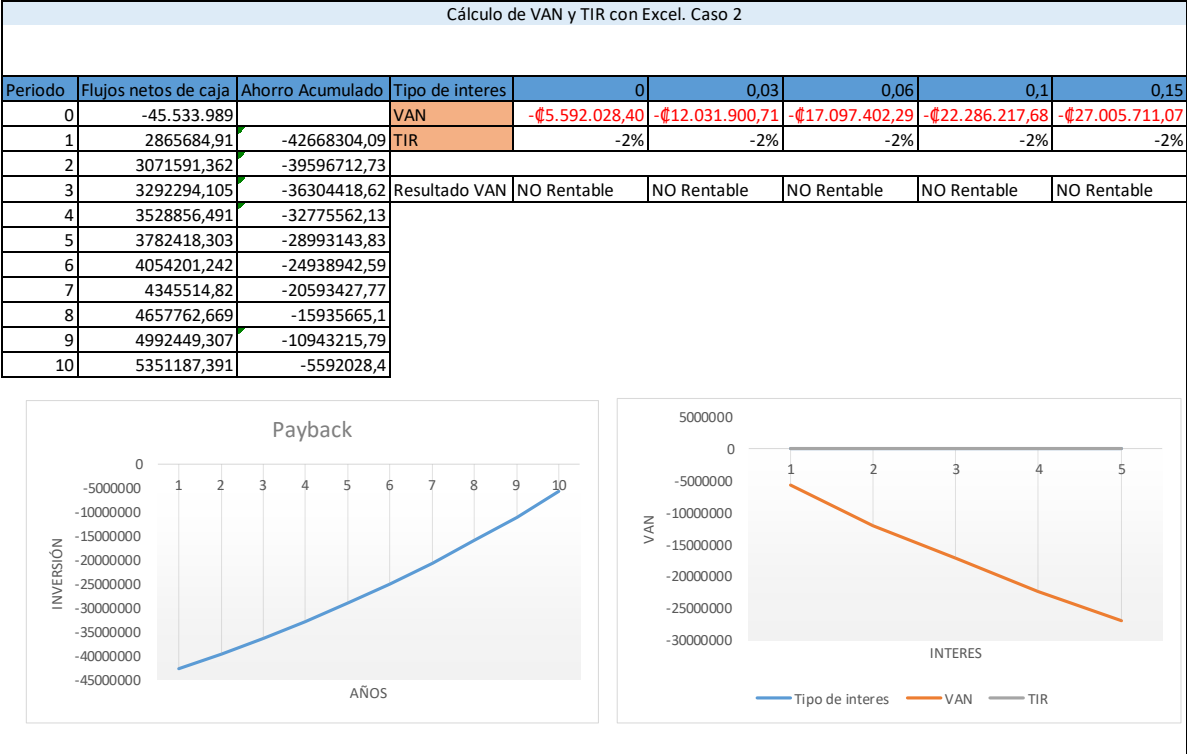
Cálculos en Excel para la propuesta 1.1 de iluminación.

Cálculo de VAN y TIR con Excel. Caso 1								
Periodo	Flujos netos de caja	Ahorro Acumulado	Tipo de interes	0	0,03	0,06	0,1	0,15
0	-37801954		VAN	- 18.625.164,79	- 21.718.045,72	- 24.150.753,88	- 26.642.559,89	- 28.908.838,55
1	1374073,92	-36427880,08	TIR	-10%	-10%	-10%	-10%	-10%
2	1473181,025	-34954699,05	Resultado VAN					
3	1579437,588	-33375261,47						
4	1693359,447	-31681902,02	NO Rentable					
5	1815499,671	-29866402,35						
6	1946451,236	-27919951,11						
7	2086849,914	-25833101,2						
8	2237377,355	-23595723,84						
9	2398764,404	-21196959,44						
10	2571794,65	-18625164,79						



Anexo 11

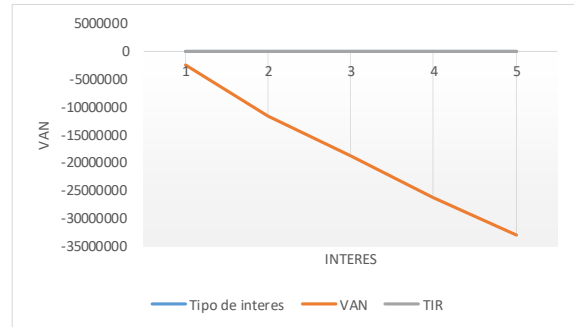
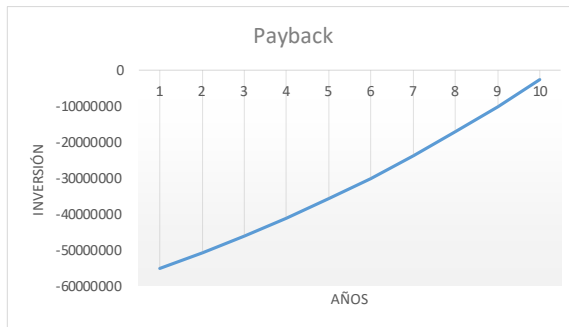
Cálculos en Excel para la propuesta 2 de iluminación.



Anexo 12

Cálculos en Excel para la propuesta 3 de iluminación.

Cálculo de VAN y TIR con Excel. Caso 2								
Periodo	Flujos netos de caja	Ahorro Acumulado	Tipo de intereses	0	0,03	0,06	0,1	0,15
0	-59.286.800		VAN	-¢2.480.639,69	-¢11.638.733,29	-¢18.842.428,36	-¢26.221.589,50	-¢32.933.433,55
1	4077079,95	-55209720,05	TIR	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%
2	4369722,287	-50839997,76						
3	4683371,204	-46156626,56	Resultado VAN	NO Rentable	NO Rentable	NO Rentable	NO Rentable	NO Rentable
4	5019534,71	-41137091,85						
5	5379829,083	-35757262,77						
6	5765986,634	-29991276,13						
7	6179864,046	-23811412,09						
8	6623451,299	-17187960,79						
9	7098881,243	-10089079,54						
10	7608439,854	-2480639,69						



Anexo 13

Cotización por estructura del techo en el estacionamiento.

Techo Estructural Parqueo

CPCECR



Fecha : San José, 13 de Julio 2017

Para: Proveeduría

Dpto : compras

DE : Eric Sandoval Guzman

Dpto : Dirección de proyectos

Asunto : Proyecto Techo Estructural Parqueo Panel solares

Estimado señores: CPCECR , luego de saludarlos tengo
el agrado de presentarle nuestra oferta, del proyecto antes mencionado.

Paginas : 3 páginas incluyendo ésta

Los precios no incluyen impuestos de ningún tipo.

Sin otro particular estamos a la espera de su respuesta, y no omito manifestarle
nuestra completa disponibilidad para aclarar cualquier duda al respecto.

Atentamente

Eric Sandoval Guzman

Hoja 2 de 3

Tuberías y Accesorios para Canalizaciones

Item	Cant	Descripción	P/Unidad	P/Total
1	120	Tubo estructural de 3 pulgadas cuadrado 3x3 grossor 5/16	\$ 35,00	\$ 4.200,00
2	150	Tubo estructural de 2 pulgadas cuadrado 2x2 grossor 5/16	\$ 19,00	\$ 2.850,00
3	95	Tubo estructural de 1 pulgadas cuadrado 1x1 grossor 5/16	\$ 12,00	\$ 1.140,00
4	175	tubos PVC de 1	\$ 2,90	\$ 507,50
5	100	uniones de presión de 1 pvc	\$ 0,50	\$ 50,00
6	85	conectores de 1 presión	\$ 1,00	\$ 85,00
7	8	Kilos de Soldadura	\$ 35,00	\$ 280,00
8	8	Cajas de registro cableado s PE-14 23.5" X 12" X 14"	\$ 75,00	\$ 600,00
9	1	Tubo Metalico de 4 " Hierro pintado y sellado 4 metros	\$ 180,00	\$ 180,00
10	20	Pedestal de concreto con pernos externos para sujetar TUBO Estructura	\$ 280,00	\$ 5.600,00
11	2	Arqueta 40 x40 cm de registro base	\$ 185,00	\$ 370,00
			SUBTOTAL	\$ 15.862,50

COSTO TOTAL DEL PROYECTO

Resumen de Costos materiales y mano de obra.

TUBERIAS Y ACCESORIOS CABLEADO ESTRUCTURADO		\$ 15.862,50
MANO DE OBRA		\$ 3.555,00
IMPUESTO DE VENTA		\$ 2.062,13
GRAN TOTAL DEL PROYECTO		\$ 21.479,63

CONDICIONES GENERALES**TIEMPO DE ENTREGA:**

10 Días hábiles después de recibida la orden de compra

GARANTIAS:

Garantía de servicios de instalación, en el sistema del cableado estructurado :15 Años

FORMA DE PAGO:

100% Contra entrega del proyecto

VIGENCIA DE LA OFERTA:

40 Días naturales contados a partir de esta fecha

FORMA DE ENTREGA:

Todas las salidas datos y voz quedarán totalmente Certificadas e identificadas.

Atentamente

Eric Sandoval G

Anexo 14

Cotización de Purasol del medidor 1.

PRE-COTIZACIÓN SISTEMA SOLAR				
				
NOMBRE DEL PROYECTO:	Thomas Leandro Sandoval NISE 312960	UBICACIÓN:	San Pedro, San Jose	
NOMBRE DEL CLIENTE:	Thomas Leandro Sandoval	POTENCIA DEL PROYECTO (kwp):	98,42	
BENEFICIOS	 INVERSOR CENTRALIZADO	 OPTIMIZADORES	 MICROINVERSORES	
Garantía de 10 años.		✓	✓	✓
Monitoreo Remoto desde su PC / teléfono.		✓	✓	✓
Sistema de Protección Eléctrica Incorporado.		✓	✓	✓
Certificación UL.		✓	✓	✓
Mayor Producción = MAYOR AHORRO			✓	✓
Rendimiento INDIVIDUAL por Panel.			✓	✓
Garantía de 25 años			✓	✓
Mayor Seguridad para niños / mascotas				✓
Monitoreo PRODUCCIÓN vs CONSUMO (PROYECCIÓN ANTICIPADA DE FACTURACIÓN)				✓
Tecnología "TOP of LINE"				✓
Vida Útil hasta 100 AÑOS				✓
Incluye Plan de Mantenimiento Preventivo por 1 año.				✓
PRECIO TOTAL DEL PROYECTO "LLAVE EN MANO"	\$ 95.962,50	\$ 118.993,50	\$ 121.552,50	
FINANCIAMIENTO MONTO DE REFERENCIA				
CUOTA MENSUAL	\$ 964,05	\$ 1.195,42	\$ 1.221,13	
*Los montos pueden variar según las condiciones. Cuota calculada considerando una Prima del 30% del proyecto, con tasa del 10% anual en un periodo de 10 años.				

Anexo 15

Cotización de Purasol del medidor 2.

PRE-COTIZACIÓN SISTEMA SOLAR				
NOMBRE DEL PROYECTO:		Thomas Leandro Sandoval NISE 442445		UBICACIÓN:
NOMBRE DEL CLIENTE:		Thomas Leandro Sandoval		POTENCIA DEL PROYECTO (kwp):
				San Pedro, San Jose
				40,34
BENEFICIOS		INVERSOR CENTRALIZADO	OPTIMIZADORES	MICROINVERSORES
Garantía de 10 años.		✓	✓	✓
Monitoreo Remoto desde su PC / teléfono.		✓	✓	✓
Sistema de Protección Eléctrica Incorporado.		✓	✓	✓
Certificación UL.		✓	✓	✓
Mayor Producción = MAYOR AHORRO		✓	✓	✓
Rendimiento INDIVIDUAL por Panel.		✓	✓	✓
Garantía de 25 años		✓	✓	✓
Mayor Seguridad para niños / mascotas		✓	✓	✓
Monitoreo PRODUCCIÓN vs CONSUMO (PROYECCIÓN ANTICIPADA DE FACTURACIÓN)		✓	✓	✓
Tecnología "TOP of LINE"		✓	✓	✓
Vida Útil hasta 100 AÑOS		✓	✓	✓
Incluye Plan de Mantenimiento Preventivo por 1 año.		✓	✓	✓
PRECIO TOTAL DEL PROYECTO "LLAVE EN MANO"		\$ 45.382,50	\$ 56.274,30	\$ 60.510,00
FINANCIAMIENTO MONTO DE REFERENCIA				
CUOTA MENSUAL		\$ 455,92	\$ 565,34	\$ 607,89

*Los montos pueden variar según las condiciones. Cuota calculada considerando una Prima del 30% del proyecto, con tasa del 10% anual en un periodo de 10 años.

Anexo 16

Cotización de Padilla Chacón, medidor 1.



05 de julio de 2017

SEÑOR
THOMAS LEANDRO
SU OFICINA

REF.: FV17-0704 – SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA EDIFICIO – MEDIDOR 1

Estimados señores:

Conforme su estimable solicitud les enviamos cotización para la instalación de un sistema solar fotovoltaico en sus instalaciones ubicadas en San Pedro de Montes de Oca, San José.

El monto total de la oferta asciende a la suma de **US\$103,748.00 (Ciento tres mil setecientos cuarenta y ocho dólares exactos)**, de acuerdo a lo siguiente:

A- OFERTA TÉCNICA

Suministro e instalación de sistema solar fotovoltaico para la generación de energía eléctrica para autoconsumo con una capacidad nominal de: 71.55 kWp, 1F ó 3F.

Incluye:

- Suministro e instalación de conjunto de paneles fotovoltaicos, entre 230W y 275W, 60 celdas.
- Suministro e instalación de inversores solares con una capacidad conjunta para atender la potencia total del sistema.
- Suministro e instalación de soportería y anclajes para paneles e inversores.
- Suministro e instalación de acometidas y canalizaciones de potencia en DC y AC.
- Suministro e instalación de protecciones contra sobrecorriente en DC y AC.
- Suministro e instalación de equipo de monitoreo de variables eléctricas del sistema. (kW, V, I, etc.). El cliente deberá contar con un punto de conexión a red con acceso a internet.
- Suministro e instalación de accesorios y materiales de conexión.
- Interconexión del sistema a la red eléctrica existente.
- Se incluye 1 visita para de mantenimiento preventivo del sistema para el primer año de operación.
- Gestión ante la compañía suministradora de energía eléctrica para instalación de medidor eléctrico bi-direccional y medidor de generación.
- Diseño eléctrico del sistema elaborado por personal capacitado utilizando la última versión del software de simulación para sistemas fotovoltaicos PVSyst.
- Todos los equipos considerados en esta cotización son nuevos, de primera calidad y cumplen con las normas vigentes: UL / TUV / IEC.

Tel.: +506 2240-5469 Fax.: +506 2297-3841 www.matelpa.com
San José, Costa Rica



PADILLA CHACÓN
CONSTRUCCIONES S.A.

Página 2/

- Obra dirigida por un ingeniero eléctrico capacitado y miembro activo del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica.
- Mano de obra especializada.
- Herramienta y equipo especializado para este tipo de obras.
- Traslados de personal y material.
- Todo nuestro personal está cubierto por las pólizas que indica la ley, CCSS e INS. Manifestamos que nos encontramos al día en el pago de dichas obligaciones.
- Nuestra empresa cuenta con una póliza de responsabilidad civil para este tipo de obras.

B- OFERTA ECONÓMICA Y ANÁLISIS FINANCIERO

Nuestra cotización se basa en la información brindada por el cliente, así como nuestra visita al sitio y simulación realizada con la última versión del software *PVSyst*.

B.1- Datos Generales:

- Compañía suministradora de energía: CNFL
- Tarifa del servicio eléctrico: T-GENERAL
- Consumo mensual promedio actual en kWh: 12,080
Esta información se obtiene del recibo eléctrico suministrado por el cliente.
- Costo actual del servicio eléctrico por año: \$31,730.68

B.2- Datos Eléctricos de Generación Solar Fotovoltaica:

- Generación mensual promedio del sistema a instalar en kWh: 8,497
- Aporte energético promedio del sistema a instalar al consumo mensual: 70.3%
- Ahorro económico promedio del sistema a instalar: 40%

Tel.: +506 2240-5469 Fax.: +506 2297-3841 www.matelipa.com
San José, Costa Rica



Página 3/

B.3- Ahorro y recuperación de inversión*:

- Ahorro proyectado a 1 año: \$13,516.00
- Ahorro proyectado a 5 años: \$78,091.00 (Acumulado)
- Ahorro proyectado a 10 años: \$188,726.00 (Acumulado)
- Plazo de recuperación de la inversión, considerando solamente el ahorro por la disminución en la factura eléctrica: 6 años y 4 meses.
- Tasa Interna de Retorno a 20 años con fondos propios: 18.47%
- Valor Actual Neto a 20 años con fondos propios: \$109,042.00
- Valor Actual Neto a 20 años con leasing de paneles: \$111,578.00
- Reducción de Huella de Carbono: 60 tons de CO₂ / año.
- Equivalente de árboles plantados: 41,999 unidades

** Se considera incremento anual en el costo de la electricidad del 8%, basado en una inflación anual del país de un 5%. No se incluyen mejoras requeridas en instalaciones para soportar o conectar el sistema, ni ningún gasto relacionado con la interconexión e instalación de los medidores.*

Se adjunta a esta estimación hoja de cálculo de proyección de flujos y análisis financiero.

B.4- Condiciones de la oferta:

Validez de la oferta: 30 días.

Forma de pago: 25% Adelanto, 35% contra materiales puestos en Costa Rica, 35% contra sistema instalado y 5% al finalizar trámite con CNFL.

Tiempo de entrega: A convenir.

Garantía del sistema: 25 años de garantía de generación de los paneles. Paneles, inversores y soportería con 10 años contra defectos de fabricación o instalación. Defectos en instalaciones eléctricas tienen 1 año.

Esperamos que la presente sea de su agrado y conveniencia.
Quedamos a la orden para aclarar cualquier consulta.

Atentamente,

Ing. Jorge E. Padilla Chacón
Gerente General

Tel.: +506 2240-5469 Fax.: +506 2297-3841 www.matelpa.com
San José, Costa Rica

Anexo 17

Cotización de Padilla Chacón, medidor 2.



05 de julio de 2017

SEÑOR
THOMAS LEANDRO
SU OFICINA

REF.: FV17-0703 – SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA EDIFICIO – MEDIDOR 2

Estimados señores:

Conforme su estimable solicitud les enviamos cotización para la instalación de un sistema solar fotovoltaico en sus instalaciones ubicadas en San Pedro de Montes de Oca, San José.

El monto total de la oferta asciende a la suma de **US\$66,144 (Sesenta y seis mil ciento cuarenta y cuatro dólares exactos)**, de acuerdo a lo siguiente:

A- OFERTA TÉCNICA

Suministro e instalación de sistema solar fotovoltaico para la generación de energía eléctrica para autoconsumo con una capacidad nominal de: 41.34 kWp, 1F ó 3F.

Incluye:

- Suministro e instalación de conjunto de paneles fotovoltaicos, entre 230W y 275W, 60 celdas.
- Suministro e instalación de inversores solares con una capacidad conjunta para atender la potencia total del sistema.
- Suministro e instalación de soportería y anclajes para paneles e inversores.
- Suministro e instalación de acometidas y canalizaciones de potencia en DC y AC.
- Suministro e instalación de protecciones contra sobrecorriente en DC y AC.
- Suministro e instalación de equipo de monitoreo de variables eléctricas del sistema. (kW, V, I, etc.). El cliente deberá contar con un punto de conexión a red con acceso a internet.
- Suministro e instalación de accesorios y materiales de conexión.
- Interconexión del sistema a la red eléctrica existente.
- Se incluye 1 visita para de mantenimiento preventivo del sistema para el primer año de operación.
- Gestión ante la compañía suministradora de energía eléctrica para instalación de medidor eléctrico bi-direccional y medidor de generación.
- Diseño eléctrico del sistema elaborado por personal capacitado utilizando la última versión del software de simulación para sistemas fotovoltaicos PVSyst.
- Todos los equipos considerados en esta cotización son nuevos, de primera calidad y cumplen con las normas vigentes: UL / TUV / IEC.

Tel.: +506 2240-5469 Fax.: +506 2297-3841 www.matelpa.com
San José, Costa Rica



Página 2/

- Obra dirigida por un ingeniero eléctrico capacitado y miembro activo del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica.
- Mano de obra especializada.
- Herramienta y equipo especializado para este tipo de obras.
- Traslados de personal y material.
- Todo nuestro personal está cubierto por las pólizas que indica la ley, CCSS e INS. Manifestamos que nos encontramos al día en el pago de dichas obligaciones.
- Nuestra empresa cuenta con una póliza de responsabilidad civil para este tipo de obras.

B- OFERTA ECONÓMICA Y ANÁLISIS FINANCIERO

Nuestra cotización se basa en la información brindada por el cliente, así como nuestra visita al sitio y simulación realizada con la última versión del software *PVSyst*.

B.1- Datos Generales:

- Compañía suministradora de energía: CNFL
- Tarifa del servicio eléctrico: T-GENERAL
- Consumo mensual promedio actual en kWh: 4,947
Esta información se obtiene del recibo eléctrico suministrado por el cliente.
- Costo actual del servicio eléctrico por año: \$12,332.04

B.2- Datos Eléctricos de Generación Solar Fotovoltaica:

- Generación mensual promedio del sistema a instalar en kWh: 4,909
- Aporte energético promedio del sistema a instalar al consumo mensual: 99.20%
- Ahorro económico promedio del sistema a instalar: 89%



Página 3/

B.3- Ahorro y recuperación de inversión*:

- Ahorro proyectado a 1 año: \$11,979.00
- Ahorro proyectado a 5 años: \$68,160.00 (Acumulado)
- Ahorro proyectado a 10 años: \$164,725.00 (Acumulado)
- Plazo de recuperación de la inversión, considerando solamente el ahorro por la disminución en la factura eléctrica: 5 años.
- Tasa Interna de Retorno a 20 años con fondos propios: 24.09%
- Valor Actual Neto a 20 años con fondos propios: \$119,584.00
- Valor Actual Neto a 20 años con leasing de paneles: \$121,201.00
- Reducción de Huella de Carbono: 35 tons de CO₂ / año.
- Equivalente de árboles plantados: 24,266 unidades

** Se considera incremento anual en el costo de la electricidad del 8%, basado en una inflación anual del país de un 5%. No se incluyen mejoras requeridas en instalaciones para soportar o conectar el sistema, ni ningún gasto relacionado con la interconexión e instalación de los medidores.*

Se adjunta a esta estimación hoja de cálculo de proyección de flujos y análisis financiero.

B.4- Condiciones de la oferta:

Validez de la oferta: 30 días.

Forma de pago: 25% Adelanto, 35% contra materiales puestos en Costa Rica, 35% contra sistema instalado y 5% al finalizar trámite con CNFL.

Tiempo de entrega: A convenir.

Garantía del sistema: 25 años de garantía de generación de los paneles. Paneles, inversores y soportería con 10 años contra defectos de fabricación o instalación. Defectos en instalaciones eléctricas tienen 1 año.

Esperamos que la presente sea de su agrado y conveniencia.
Quedamos a la orden para aclarar cualquier consulta.

Atentamente,

Ing. Jorge E. Padilla Chacón
Gerente General

Tel.: +506 2240-5469 Fax.: +506 2297-3841 www.matelpa.com
San José, Costa Rica

Anexo 18

Hoja técnica del inversor.

PRODUCT FLYER FOR TRIO-20.0/27.6-TL-OUTD ABB SOLAR INVERTERS

ABB string inverters TRIO-20.0/27.6-TL-OUTD 20 to 27.6 kW

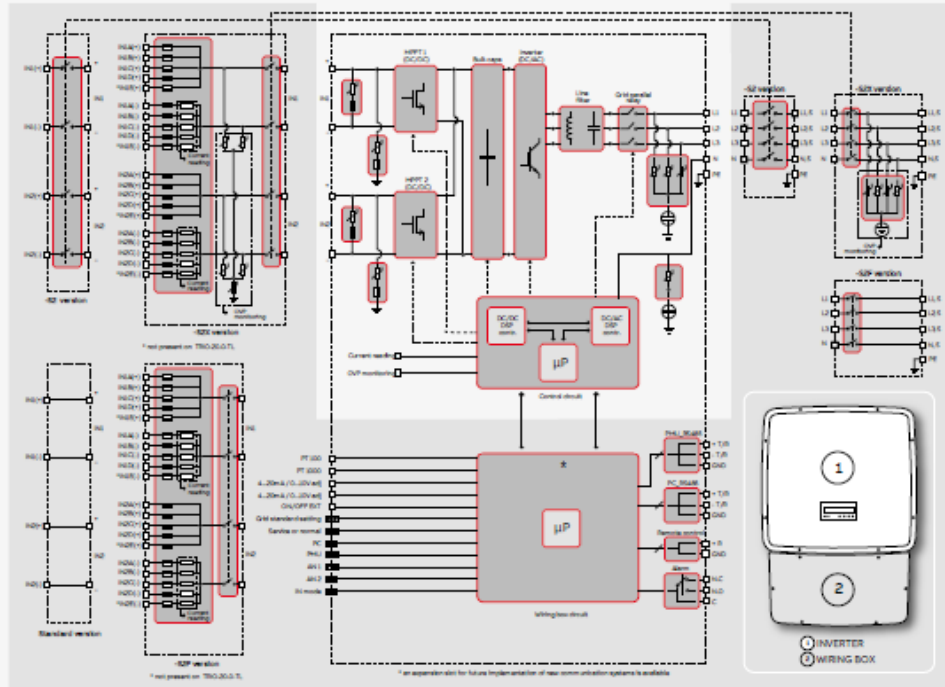


Technical data and types

Type code	TRIO-20.0-TL-OUTD	TRIO-27.6-TL-OUTD
Input side		
Absolute maximum DC input voltage ($V_{DC,max}$)	1000 V	
Start-up DC input voltage ($V_{DC,start}$)	430 V (adj. 250...500 V)	
Operating DC input voltage range ($V_{DC,op}$)	0.7 x $V_{DC,max}$...950 V (min 200 V)	
Rated DC input voltage ($V_{DC,r}$)	620 V	
Rated DC input power ($P_{DC,r}$)	20750 W	28600 W
Number of independent MPPT	2	
Maximum DC input power for each MPPT ($P_{DC,MPPT,max}$)	12000 W	16000 W
DC input voltage range with parallel configuration of MPPT at $P_{DC,r}$	440...800 V	500...800 V
DC power limitation with parallel configuration of MPPT	Linear derating from max to null [800 Vs $V_{DC,op}$ 950 V]	
DC power limitation for each MPPT with independent configuration of MPPT at $P_{DC,r}$, max unbalance example	12000 W [480 Vs $V_{DC,op}$ 800 V] the other channel: $P_{DC,r}$ - 12000 W	16000 W [500 Vs $V_{DC,op}$ 800 V] the other channel: $P_{DC,r}$ - 16000 W
Maximum DC input current ($I_{DC,max}$) / for each MPPT ($I_{DC,MPPT,max}$)	[350 Vs $V_{DC,op}$ 800 V] 50.0 A / 25.0 A	[400 Vs $V_{DC,op}$ 800 V] 64.0 A / 32.0 A
Maximum input short circuit current for each MPPT	30.0 A	40.0 A
Number of DC input pairs for each MPPT	1 (4 in -S2X, -S2F, -S11, -S21 versions)	1 (5 in -S2X and -S2F versions, 4 in -S11 and -S21)
DC connection type	PV quick fit connector # / Screw terminal block on Standard and -S2 versions	
Input protection		
Reverse polarity protection	Yes, from limited current source	
Input over voltage protection for each MPPT - varistor	Yes, 4	
Input over voltage protection for each MPPT - plug in modular surge arrester (-S2X, -S11 and -S21 versions)	-S2X: Type 2; -S11, -S12: Type 1+2	
Photovoltaic array isolation control	According to local standard	
DC switch rating for each MPPT (version with DC switch)	40 A / 1000 V	
Fuse rating (versions with fuses)	15 A / 1000 V	
Output side		
AC grid connection type	Three-phase 3W+PE or 4W+PE	
Rated AC power ($P_{AC,r}$ @ $\cos\phi=1$)	20000 W	27600 W
Maximum AC output power ($P_{AC,max}$ @ $\cos\phi=1$)	22000 W ^{*)}	30000 W ^{*)}
Maximum apparent power ($S_{AC,r}$)	22200 VA	30670 VA
Rated AC grid voltage ($V_{AC,r}$)	400 V	
AC voltage range	320...480 V ^{*)}	
Maximum AC output current ($I_{AC,max}$)	33.0 A	45.0 A
Contributory fault current	35.0 A	46.0 A
Rated output frequency (f)	50 Hz / 60 Hz	
Output frequency range (f_{min} ... f_{max})	47...53 Hz / 57...63 Hz ^{*)}	
Nominal power factor and adjustable range	> 0.995, adj. ± 0.9 with $P_{AC,r}$ ≥ 20.0 kW, ± 0.8 with max 22.2 kVA	> 0.995, adj. ± 0.9 with $P_{AC,r}$ ≥ 27.6 kW, ± 0.8 with max 30 kVA
Total current harmonic distortion	< 3%	
AC connection type	Screw terminal block, cable gland PG36	
Output protection		
Anti-islanding protection	According to local standard	
Maximum external AC overcurrent protection	50.0 A	63.0 A
Output overvoltage protection - varistor	4	
Output overvoltage protection - plug in modular surge arrester (-S2X version)	4 (Type 2)	
Operating performance		
Maximum efficiency (η_{max})	98.2%	
Weighted efficiency (EURO/CEC)	98.0% / 98.0%	
Feed in power threshold	40 W	
Night consumption	< 0.6 W	
Communication		
Wired local monitoring	PVI-USB-RS232_485 (opt.)	
Remote monitoring	VSN300 Wifi Logger Card (opt.), VSN700 Data Logger (opt.)	
Wireless local monitoring	VSN300 Wifi Logger Card (opt.)	
User interface	Graphic display	

PRODUCT FLYER FOR TRIO-20.0/27.6-TL-OUTD ABB SOLAR INVERTERS

ABB TRIO-20.0/27.6-TL-OUTD string inverter block diagram



Technical data and types

Type code	TRIO-20.0-TL-OUTD	TRIO-27.6-TL-OUTD
Environmental		
Ambient temperature range	-25...+60°C / -13...140°F with derating above 45°C/113°F	
Relative humidity	0...100% condensing	
Sound pressure level, typical	50 dBA @ 1 m	
Maximum operating altitude without derating	2000 m / 6560 ft	
Physical		
Environmental protection rating	IP65	
Cooling	Natural	
Dimension (H x W x D)	1061 mm x 702 mm x 292 mm / 41.7" x 27.6" x 11.5"	
Weight	< 70.0 kg / 154.3 lbs (Standard version)	< 75.0 kg / 165.4 lbs (Standard version)
Mounting system	Wall bracket	
Safety		
Isolation level	Transformerless	
Marking	CE (50 Hz only), RCM	
Safety and EMC standard	EN 50178, IEC/EN 62109-1, IEC/EN 62109-2, AS/NZS 3100, AS/NZS 60950.1, EN 61000-6-2, EN 61000-6-3, EN 61000-3-11, EN 61000-3-12, CEI 0-21, CEI 0-16, DIN V VDE V 0126-1-1, VDE-AR-N 4105, G59/3, C10/11, EN 50438 (not for all national appendices), RD 1699, RD 413, RD 661, P.O. 12.3, AS 4777, BDEW, NRS-097-2-1, MEA, IEC 61727, IEC 62116, Ordinal 30/2013, VFR 2014	
Grid standard (check your sales channel for availability)		
Available products variants		
Standard	TRIO-20.0-TL-OUTD-400	TRIO-27.6-TL-OUTD-400
With DC+AC switch	TRIO-20.0-TL-OUTD-S2-400	TRIO-27.6-TL-OUTD-S2-400
With DC+AC switch and fuse	TRIO-20.0-TL-OUTD-S2F-400	TRIO-27.6-TL-OUTD-S2F-400
With DC+AC switch, fuse and surge arrester	TRIO-20.0-TL-OUTD-S2X-400	TRIO-27.6-TL-OUTD-S2X-400
With DC+AC switch, fuse and 1 DC surge arrester Type 1 + 2	TRIO-20.0-TL-OUTD-S1J-400	TRIO-27.6-TL-OUTD-S1J-400
With DC+AC switch, fuse and 2 DC surge arrester Type 1 + 2	TRIO-20.0-TL-OUTD-S2J-400	TRIO-27.6-TL-OUTD-S2J-400

¹ The AC voltage range may vary depending on specific country grid standard

⁴ Limited to 20000 W for Germany

² The frequency range may vary depending on specific country grid standard

⁵ Limited to 27600 W for Germany

³ Please refer to the document "String Inverters - Product manual appendix" available at www.abb.com/solarInverters for information on the quick-fit connector brand and model used in the inverter

Remark: Features not specifically listed in the present data sheet are not included in the product

Anexo 19

Hoja técnica de los paneles solares



CS6K-260 | 265 | 270 | 275P

Canadian Solar's modules use the latest innovative cell technology, increasing module power output and system reliability, ensured by 15 years of experience in module manufacturing, well-engineered module design, stringent BOM quality testing, an automated manufacturing process and 100% EL testing.

*Black frame product can be provided upon request.

25 years linear power output warranty

10 years product warranty on materials and workmanship

KEY FEATURES

- Excellent module efficiency of up to 16.80 %
- High PTC High PTC rating of up to 92.11 %
- Outstanding low irradiance performance of up to 96.5 %
- IP67 junction box for long-term weather endurance
- Heavy snow load up to 6000 Pa, wind load up to 4000 Pa *

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001:2008 / Quality management system
ISO 14001:2004 / Standards for environmental management system
OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

IEC 61215 / IEC 61730: VDE / TÜV-Rheinland / CE / MCS / CEC AU / INMETRO / CQC
UL 1703 / IEC 61215 performance: CEC listed (US) / FSEC (US Florida)
UL 1703: CSA / IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: VDE
UNI 9177 Reaction to Fire: Class 1
IEC 60068-2-68: SGS
Take-e-way

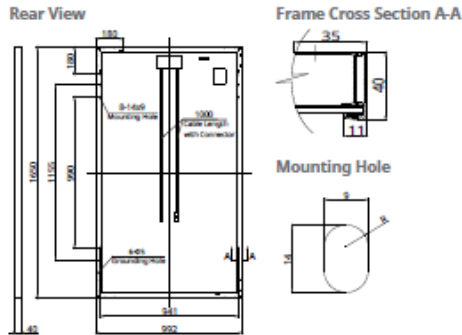
CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 20 GW deployed around the world since 2001, Canadian Solar Inc. (NASDAQ: CSIQ) is one of the most bankable solar companies worldwide.

*For detail information, please refer to Installation Manual.

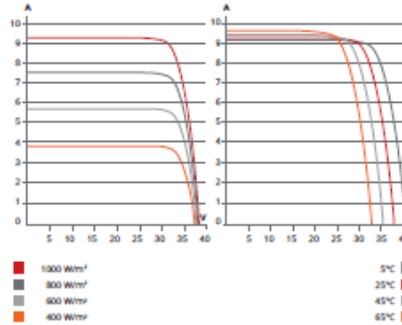
CANADIAN SOLAR INC.

545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS6K-270P / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

CS6K	260P	265P	270P	275P
Nominal Max. Power (P _{max})	260 W	265 W	270 W	275 W
Opt. Operating Voltage (V _{mp})	30.4 V	30.6 V	30.8 V	31.0 V
Opt. Operating Current (I _{mp})	8.56 A	8.66 A	8.75 A	8.88 A
Open Circuit Voltage (V _{oc})	37.5 V	37.7 V	37.9 V	38.0 V
Short Circuit Current (I _{sc})	9.12 A	9.23 A	9.32 A	9.45 A
Module Efficiency	15.88%	16.19%	16.50%	16.80%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C			
Max. System Voltage	1000 V (IEC) or 1000 V (UL)			
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)			
Max. Series Fuse Rating	15 A			
Application Classification	Class A			
Power Tolerance	0 ~ +5 W			

* Under Standard Test Conditions (STC) of Irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	60 (6×10)
Dimensions	1650×992×40 mm (65.0×39.1×1.57 in)
Weight	18.2 kg (40.1 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP67, 3 diodes
Cable	4 mm² (IEC) or 4 mm² & 12 AWG 1000 V (UL), 1000 mm (39.4 in)
Connector	T4 series or PV2 series
Per Pallet	26 pieces, 520 kg (1146.4 lbs)
Per Container (40' HQ)	728 pieces

ELECTRICAL DATA | NMOT*

CS6K	260P	265P	270P	275P
Nominal Max. Power (P _{max})	191 W	195 W	198 W	202 W
Opt. Operating Voltage (V _{mp})	28.0 V	28.2 V	28.3 V	28.5 V
Opt. Operating Current (I _{mp})	6.83 A	6.92 A	7.00 A	7.08 A
Open Circuit Voltage (V _{oc})	34.9 V	35.1 V	35.3 V	35.4 V
Short Circuit Current (I _{sc})	7.36 A	7.45 A	7.53 A	7.63 A

* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), Irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (P _{max})	-0.41 %/°C
Temperature Coefficient (V _{oc})	-0.31 %/°C
Temperature Coefficient (I _{sc})	0.053 %/°C
Nominal Module Operating Temperature (NMOT)	43±2 °C

PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE

Outstanding performance at low irradiance, with an average relative efficiency of 96.5 % for irradiances between 200 W/m² and 1000 W/m² (AM 1.5, 25°C).

PARTNER SECTION

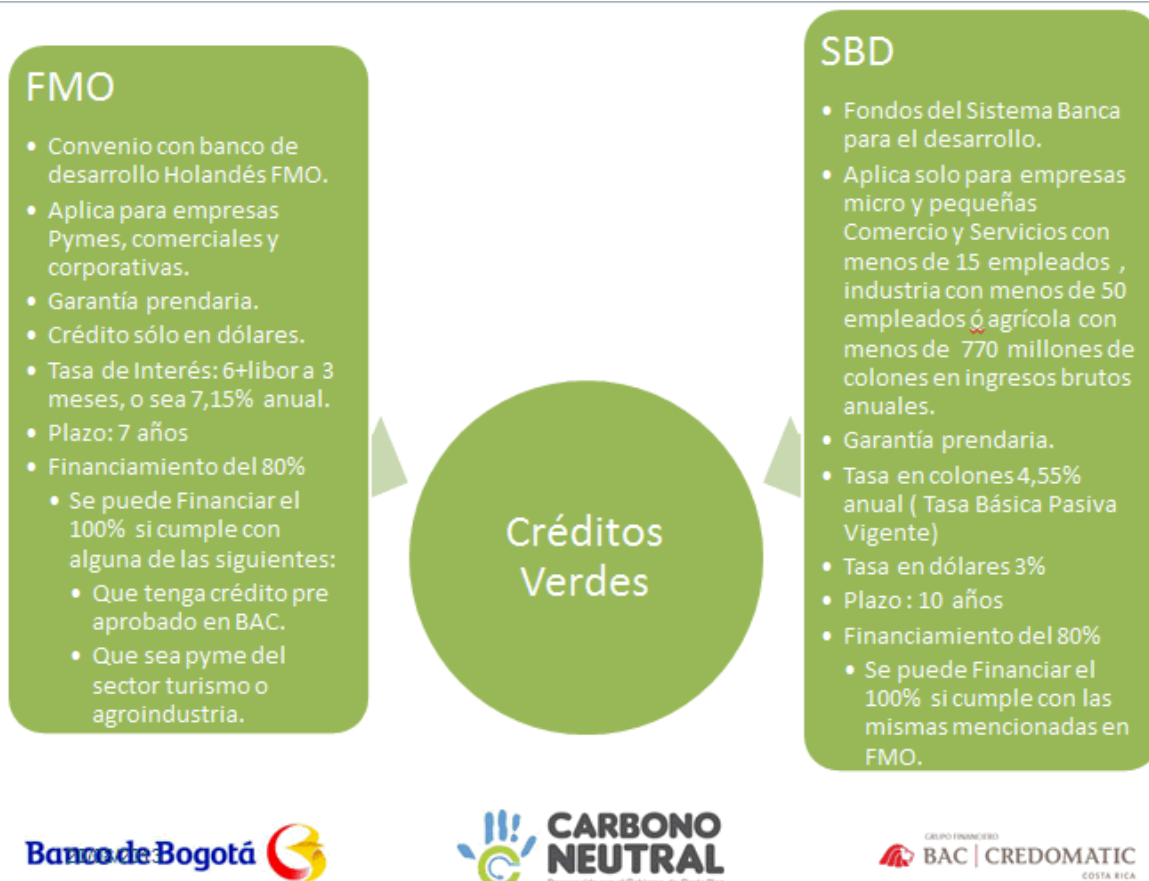


The aforesaid datasheet only provides the general information on Canadian Solar products and, due to the on-going innovation and improvement, please always contact your local Canadian Solar sales representative for the updated information on specifications, key features and certification requirements of Canadian Solar products in your region.

Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

Anexo 20

Tasa de interés del BAC para créditos verdes



Anexo 21

Tabla 310.16 NEC 2008.

Copyright 2013 National Fire Protection Association (NFPA). Licensed, by agreement, for individual use and single download on April 1, 2013 to BOMBEROS for designated user FRANCISCO CHENG. No other reproduction or transmission in any form permitted without written permission of NFPA. For inquiries or to report unauthorized use, contact licensing@nfpa.org.

310.15

ARTÍCULO 310 — CONDUCTORES PARA ALAMBRADO EN GENERAL

que están asociadas a la unidad de vivienda. No se exigirá que los conductores del alimentador para una unidad de vivienda tengan una ampacidad nominal permisible mayor que sus conductores de entrada de la acometida. Se permitirá que el conductor puesto a tierra sea de menor calibre que los conductores no puestos a tierra, siempre y cuando se cumplan los requisitos de las secciones 215.2, 220.61 y 230.42.

(C) Supervisión de ingeniería. Bajo la supervisión de ingeniería, se permitirá calcular la ampacidad de los conductores mediante la siguiente fórmula general:

$$I = \sqrt{\frac{TC - (TA + \Delta TD)}{RDC (1 + YC) RCA}}$$

Donde:

TC = temperatura del conductor en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$)

TA = temperatura ambiente en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$)

ΔTD = pérdidas del dieléctrico por aumento de la temperatura

RDC = resistencia de c.c. del conductor a la temperatura TC

YC = componente de resistencia de c.a. del conductor, resultante de los efectos Kelvin y de proximidad.

RCA = resistencia térmica efectiva entre el conductor y el ambiente circundante.

NLM. Véase el apéndice B para ejemplos de aplicación de la fórmula.

Tabla 310.16 Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones nominales de 0 a 2000 volts y 60°C a 90°C (140°F a 194°F). No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o tierra (enterrados directamente), basadas en una temperatura ambiente de 30°C (86°F).

Calibre AWG o kcmil	Temperatura nominal del conductor [Véase la Tabla 310.13(A)]						Calibre AWG o kcmil
	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (194°F)	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (194°F)	
	TIPOS TW, UF	TIPOS RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE, ZW	TIPOS TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	TIPOS TW, UF	TIPOS RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE	TIPOS TBS, SA, SIS, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
COBRE				ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE			
18	—	—	14	—	—	—	—
16	—	—	18	—	—	—	—
14*	20	20	25	—	—	—	—
12*	25	25	30	20	20	25	12*
10*	30	35	40	25	30	35	10*
8	40	50	55	30	40	45	8
6	55	65	75	40	50	60	6
4	70	85	95	55	65	75	4
3	85	100	110	65	75	85	3
2	95	115	130	75	90	100	2
1	110	130	150	85	100	115	1
1/0	125	150	170	100	120	135	1/0
2/0	145	175	195	115	135	150	2/0
3/0	165	200	225	130	155	175	3/0
4/0	195	230	260	150	180	205	4/0
250	215	255	290	170	205	230	250
300	240	285	320	190	230	255	300
350	260	310	350	210	250	280	350
400	280	335	380	225	270	305	400
500	320	380	430	260	310	350	500

Continúa

ARTÍCULO 310 — CONDUCTORES PARA ALAMBRADO EN GENERAL

310.15

Tabla 310.16, Continúa

Calibre AWG o kcmil	Temperatura nominal del conductor [Véase la Tabla 310.13(A)]						Calibre AWG o kcmil
	60° C (140° F)	75° C (167° F)	90° C (194° F)	60° C (140° F)	75° C (167° F)	90° C (194° F)	
	TIPOS TW, UF	TIPOS RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE, ZW	TIPOS TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	TIPOS TW, UF	TIPOS RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE	TIPOS TBS, SA, SIS, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
COBRE				ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE			
600	355	420	475	285	340	385	600
700	385	460	520	310	375	420	700
750	400	475	535	320	385	435	750
800	410	490	555	330	395	450	800
900	435	520	585	355	425	480	900
1000	455	545	615	375	445	500	1000
1250	495	590	665	405	485	545	1250
1500	520	625	705	435	520	585	1500
1750	545	650	735	455	545	615	1750
2000	560	665	750	470	560	630	2000

FACTORES DE CORRECCIÓN

Temp. ambiente (° C)	Para temperaturas ambiente distintas de 30° C (86° F), multiplique las anteriores ampacidades permisibles por el factor correspondiente de los que se indican a continuación:						Temp. ambiente (° F)
21–25	1.08	1.05	1.04	1.08	1.05	1.04	70–77
26–30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	78–86
31–35	0.91	0.94	0.96	0.91	0.94	0.96	87–95
36–40	0.82	0.88	0.91	0.82	0.88	0.91	96–104
41–45	0.71	0.82	0.87	0.71	0.82	0.87	105–113
46–50	0.58	0.75	0.82	0.58	0.75	0.82	114–122
51–55	0.41	0.67	0.76	0.41	0.67	0.76	123–131
56–60	—	0.58	0.71	—	0.58	0.71	132–140
61–70	—	0.33	0.58	—	0.33	0.58	141–158
71–80	—	—	0.41	—	—	0.41	159–176

*Véase la sección 240.4(D)

Anexo 22

Tabla 8. NEC 2008. Propiedades de los conductores.

Copyright 2013 National Fire Protection Association (NFPA). Licensed, by agreement, for individual use and single download on April 1, 2013 to BOMBEROS for designated user FRANCISCO CHENG. No other reproduction or transmission in any form permitted without written permission of NFPA. For Inquiries or to report unauthorized use, contact licensing@nfpa.org.

TABLAS

Tabla 8. Propiedades de los conductores

Calibre (AWG o kcmil)	Conductores										Resistencia en corriente continua a 75° C (167° F)							
	Trenzado					Total					Cobre							
											Aluminio							
	Área		Diámetro		Diámetro		Área		No recubiertos		Recubiertos		Aluminio					
Mils circulares	Cantidad	mm	pulgada	mm	pulgada	mm²	pulgada²	ohm/ km	ohm/ k pies	ohm/ km	ohm/ k pies	ohm/ km	ohm/ k pies					
18	0.823	1620	1	—	—	1.02	0.040	0.823	0.001	25.5	7.77	26.5	8.08	42.0	12.8			
18	0.823	1620	7	0.39	0.015	1.16	0.046	1.06	0.002	26.1	7.95	27.7	8.45	42.8	13.1			
16	1.31	2580	1	—	—	1.29	0.051	1.31	0.002	16.0	4.89	16.7	5.08	26.4	8.05			
16	1.31	2580	7	0.49	0.019	1.46	0.058	1.68	0.003	16.4	4.99	17.3	5.29	26.9	8.21			
14	2.08	4110	1	—	—	1.63	0.064	2.08	0.003	10.1	3.07	10.4	3.19	16.6	5.06			
14	2.08	4110	7	0.62	0.024	1.85	0.073	2.68	0.004	10.3	3.14	10.7	3.26	16.9	5.17			
12	3.31	6530	1	—	—	2.05	0.081	3.31	0.005	6.34	1.93	6.57	2.01	10.45	3.18			
12	3.31	6530	7	0.78	0.030	2.32	0.092	4.25	0.006	6.50	1.98	6.73	2.05	10.69	3.25			
10	5.261	10380	1	—	—	2.588	0.102	5.26	0.008	3.984	1.21	4.148	1.26	6.561	2.00			
10	5.261	10380	7	0.98	0.038	2.95	0.116	6.76	0.011	4.070	1.24	4.226	1.29	6.679	2.04			
8	8.367	16510	1	—	—	3.264	0.128	8.37	0.013	2.506	0.764	2.579	0.786	4.125	1.26			
8	8.367	16510	7	1.23	0.049	3.71	0.146	10.76	0.017	2.551	0.778	2.653	0.809	4.204	1.28			
6	13.30	26240	7	1.56	0.061	4.67	0.184	17.09	0.027	1.608	0.491	1.671	0.510	2.652	0.808			
4	21.15	41740	7	1.96	0.077	5.89	0.232	27.19	0.042	1.010	0.308	1.053	0.321	1.666	0.508			
3	26.67	52620	7	2.20	0.087	6.60	0.260	34.28	0.053	0.802	0.245	0.833	0.254	1.320	0.403			
2	33.62	66360	7	2.47	0.097	7.42	0.292	43.23	0.067	0.634	0.194	0.661	0.201	1.045	0.319			
1	42.41	83690	19	1.69	0.066	8.43	0.332	55.80	0.087	0.505	0.154	0.524	0.160	0.829	0.253			
1/0	53.49	105600	19	1.89	0.074	9.45	0.372	70.41	0.109	0.399	0.122	0.415	0.127	0.660	0.201			
2/0	67.43	133100	19	2.13	0.084	10.62	0.418	88.74	0.137	0.3170	0.0967	0.329	0.101	0.523	0.159			
3/0	85.01	167800	19	2.39	0.094	11.94	0.470	111.9	0.173	0.2512	0.0766	0.2610	0.0797	0.413	0.126			
4/0	107.2	211600	19	2.68	0.106	13.41	0.528	141.1	0.219	0.1996	0.0608	0.2050	0.0626	0.328	0.100			
250	127	—	37	2.09	0.082	14.61	0.575	168	0.260	0.1687	0.0515	0.1753	0.0535	0.2778	0.0847			
300	152	—	37	2.29	0.090	16.00	0.630	201	0.312	0.1409	0.0429	0.1463	0.0446	0.2318	0.0707			
350	177	—	37	2.47	0.097	17.30	0.681	235	0.364	0.1205	0.0367	0.1252	0.0382	0.1984	0.0605			
400	203	—	37	2.64	0.104	18.49	0.728	268	0.416	0.1053	0.0321	0.1084	0.0331	0.1737	0.0529			
500	253	—	37	2.95	0.116	20.65	0.813	336	0.519	0.0845	0.0258	0.0869	0.0265	0.1391	0.0424			
600	304	—	61	2.52	0.099	22.68	0.893	404	0.626	0.0704	0.0214	0.0732	0.0223	0.1159	0.0353			
700	355	—	61	2.72	0.107	24.49	0.964	471	0.730	0.0603	0.0184	0.0622	0.0189	0.0994	0.0303			
750	380	—	61	2.82	0.111	25.35	0.998	505	0.782	0.0563	0.0171	0.0579	0.0176	0.0927	0.0282			
800	405	—	61	2.91	0.114	26.16	1.030	538	0.834	0.0528	0.0161	0.0544	0.0166	0.0868	0.0265			
900	456	—	61	3.09	0.122	27.79	1.094	606	0.940	0.0470	0.0143	0.0481	0.0147	0.0770	0.0235			
1000	507	—	61	3.25	0.128	29.26	1.152	673	1.042	0.0423	0.0129	0.0434	0.0132	0.0695	0.0212			
1250	633	—	91	2.98	0.117	32.74	1.289	842	1.305	0.0338	0.0103	0.0347	0.0106	0.0554	0.0169			
1500	760	—	91	3.26	0.128	35.86	1.412	1011	1.566	0.02814	0.00858	0.02814	0.00883	0.0464	0.0141			
1750	887	—	127	2.98	0.117	38.76	1.526	1180	1.829	0.02410	0.00735	0.02410	0.00756	0.0397	0.0121			
2000	1013	—	127	3.19	0.126	41.45	1.632	1349	2.092	0.02109	0.00643	0.02109	0.00662	0.0348	0.0106			

Notas:

- Estos valores de resistencia son válidos solamente para los parámetros indicados. Al usar conductores con hilos recubiertos, de distinto tipo de trenzado y especialmente a otras temperaturas, cambia la resistencia.
- Fórmula para el cambio de temperatura: $R_t = R_a [1 + \alpha (T_a - 75)]$, donde $\alpha_a = 0.00323$, $\alpha_{al} = 0.00330$ a 75° C.
- Los conductores con trenzado compacto o comprimido tienen aproximadamente un 9% y un 3%, respectivamente, menos de diámetro del conductor desmenuado que los conductores mostrados. Para las dimensiones reales de los cables compactos, véase la Tabla 5A.
- Las conductividades usadas, según la IACS: cobre desmenuado = 100%, aluminio = 61%.
- El trenzado de Clase B está listado también como sólido para algunos calibres. Su área y diámetro total son los de la circunferencia circunscrita.

NLM: La información sobre construcción de los cables procede de NEMA WC8-1992 o ANSI/UL 1581-2001. La resistencia se calcula según el National Bureau of Standards Handbook 100, de 1966 y el Handbook 109, de 1972.