



UNIVERSIDAD
MAYOR

para espíritus emprendedores

Facultad de Ciencias

**CONSTRUCCIÓN
CIVIL**

**EVALUACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA PARA LA ACTUALIZACIÓN DE UN
SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO EN UN PROYECTO HABITACIONAL**

Proyecto de Título para optar al Título de Constructor Civil

Estudiante:
Sebastián Castañeda Zúñiga

Profesor Guía:
Héctor Hernández López

Fecha:
Junio 2019
Santiago, Chile

Dedicatoria

Quisiera dedicar esta tesis a mi familia, amigos y especialmente a Catalina, quien fue mi apoyo incondicional y fundamental para darle termino a este proceso de formación profesional y personal.

Esto es por y para ustedes.

SOLO USO ACADÉMICO

Agradecimientos

Quisiera agradecer a todos quienes me brindaron su ayuda para dar termino a esta investigación.

En particular le agradezco enormemente a mi profesor guía, Héctor Hernández López, que con su profesionalismo y dedicación estuvo siempre presente y dispuesto a entregarme su ayuda y orientación.

Me gustaría también agradecer a Cristian Köhler Cattarinich, gerente comercial de Develop & Solution, por su gran ayuda y disposición en todo momento.

SOLO USO ACADÉMICO

Resumen

Con el fin de establecer y dar a conocer nuevas tecnologías para implementar en proyectos de iluminación pública, las cuales permiten disminuir los tiempos de ejecución, prescindir del consumo y por ende, del pago por la producción y transporte de energía eléctrica, como también a reducir las emisiones de dióxido de carbono en la operación de estos, es que surge la necesidad de evaluar técnica y económicamente una actualización de los sistemas tradicionales de alumbrado público a sistemas de iluminación fotovoltaicos. Esta evaluación tuvo como resultado la conveniencia de la implementación de sistemas fotovoltaicos. Primero, desde lo técnico, ya que estos sistemas presentan iguales y mejores características lumínicas con la utilización de menos potencia y no afectan al medioambiente con emisiones de dióxido de carbono. Y segundo, desde lo económico, debido a que el empleo de estos sistemas logra crear valor por alrededor de UF237,38 obteniendo una tasa interna de retorno de un 12,07% para un horizonte de evaluación de 20 años. Sin embargo, es fundamental tener en consideración la incertidumbre con respecto a eventos climáticos catastróficos, o bien, a cambios políticos y económicos que puedan ocurrir en el futuro y que afectarán al proyecto de inversión.

Palabras Claves: Energía eléctrica, alumbrado público, iluminación fotovoltaica.

Summary

In order to establish and publicize new technologies to implement in public lighting projects, which allow to reduce the execution times, to dispense with the consumption and payment for the production and transport of electrical energy, as well as to reduce the emissions of carbon dioxide, is that the need arises to evaluate technically and economically an update of traditional systems of public lighting to photovoltaic lighting systems. This evaluation resulted in the convenience of the implementation of photovoltaic systems, primarily from the technical point of view, since these systems have the same and better lighting characteristics with the use of less power without contaminating the environment with carbon dioxide. And second, from the economic, because the use of these systems manages to create value for around UF237,38, a obtaining an internal rate of return of 12,07% for a 20-year evaluation horizon. However, it is essential to take into consideration the uncertainty regarding catastrophic climate events, or to political and economic changes that may occur in the future that will affect the investment project.

Keywords: Electric energy, street lighting, photovoltaic lighting.

Índice

INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS	2
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos	2
CAPÍTULO I.....	3
1 METODOLOGÍA.....	3
CAPÍTULO II.....	4
2 MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Sistemas de alumbrado público tradicionales	4
2.1.1 Tipos de lámparas	4
2.1.1.1 Haluro metálico.....	4
2.1.1.2 Vapor de sodio baja presión.....	5
2.1.1.3 Vapor de sodio alta presión.....	5
2.1.2 Equipos auxiliares	6
2.1.2.1 Balastos.....	6
2.1.2.2 Ignitores.....	6
2.1.2.3 Condensadores	6
2.2 Sistemas de iluminación fotovoltaico integrado	7
2.2.1 Energía solar fotovoltaica	7
2.2.2 Elementos de un sistema de iluminación fotovoltaico integrado.....	7
2.2.2.1 Panel fotovoltaico.....	7
2.2.2.2 El controlador.....	8
2.2.2.3 Sensor de luminosidad exterior y movimiento.....	9
2.2.2.4 Batería solar	9
2.2.2.5 Fuente de iluminación led.....	10
2.2.3 Principio de funcionamiento	12
2.2.4 Ventajas y desventajas del sistema	13
2.2.4.1 Ventajas.....	13
2.2.4.2 Desventajas	13
2.3 Postaciones.....	14
2.3.1 Postes de acero galvanizadas	14
2.3.2 Postes metálicos corrientes	14
2.4 Comparativa aspectos técnicos	16
2.4.1 Resultados	16
2.5 La energía en Chile	17
2.5.1 Aspectos generales.....	17
2.5.2 Precio de la energía	20
2.5.3 Precio de la energía: supuestos	20
2.5.4 Emisiones de dióxido de carbono	23
2.6 Evaluación económica de proyectos de eficiencia energética	26

2.6.1	Valor actual neto	26
2.6.2	Tasa interna de retorno.....	27
2.6.3	Tasa de interés.....	27
2.6.4	Periodo de recuperación de la inversión	28
2.6.5	Flujo de caja	29
2.6.5.1	Estructura flujo de caja.....	29
CAPÍTULO III.....		31
3	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO DE ESTUDIO Y DE LA ACTUALIZACIÓN	31
3.1	Proyecto de estudio	31
3.1.1	Ubicación	31
3.1.2	Caracterización.....	31
3.1.3	Imágenes del proyecto.....	34
3.1.4	Valores del proyecto	35
3.1.4.1	Construcción	35
3.1.4.2	Operación	35
3.1.4.3	Mantenimiento	36
3.1.4.4	Depreciación	37
3.1.5	Emisiones de CO ₂	37
3.2	Proyecto de actualización.....	38
3.2.1	Caracterización.....	38
3.2.2	Valores del proyecto de actualización.....	40
3.2.2.1	Instalación	40
3.2.2.2	Mantención.....	40
3.2.2.3	Depreciación	40
3.2.3	Valores del proyecto de actualización: deconstrucción total del sistema tradicional.....	41
3.2.3.1	Construcción	41
3.2.3.2	Mantenimiento	41
3.2.3.3	Depreciación	41
CAPÍTULO IV		42
4	EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO DE ACTUALIZACIÓN	42
4.1	Flujo de caja y resultado de los criterios de evaluación.....	42
4.1.1	Proyecciones en base a cambios en el precio de la energía.	44
4.1.1.1	Pesimista	44
4.1.1.2	Normal.....	46
4.1.1.3	Optimista.....	48
4.2	Flujo de caja y resultados al deconstruir sistema tradicional.....	50
4.2.1	Proyecciones en base a cambios en el precio de la energía.	52
4.2.1.1	Pesimista	52
4.2.1.2	Normal.....	54
4.2.1.3	Optimista.....	56
4.3	Resumen de resultados.....	58

CAPÍTULO V	59
5 ANÁLISIS DE RESULTADOS	59
CAPÍTULO VI	62
6 CONCLUSIONES	62
BIBLIOGRAFÍA	64
ANEXOS	66

SOLO USO ACADÉMICO

Índice de figuras

Fig. 1. Ampolleta de Haluro Metal.	4
Fig. 2. Ampolleta de vapor de sodio de alta presión.	5
Fig. 3. Panel Silicio monocristalino.	7
Fig. 4. Detalle Panel Silicio monocristalino.	8
Fig. 5. Controlador de carga PWM.	8
Fig. 6. Sensor de luminosidad exterior y movimiento.	9
Fig. 7. Batería solar.	10
Fig. 8. Fuente de iluminación.	11
Fig. 9. Chip Lumiled Luxeon Phillips.	11
Fig. 10. Principio de funcionamiento.	12
Fig. 11. Poste de acero galvanizado.	15
Fig. 12. Poste metálico cuadrado instalado en Pudahuel.	15
Fig. 13. Mapa matriz eléctrica Chile.	17
Fig. 14. Distribución de la generación de energía eléctrica en Chile.	18
Fig. 15. Consumo por sector.	19
Fig. 16. Proyección de los precios de la energía eléctrica residencial.	21
Fig. 17. Emisiones de dióxido de carbono por sector a nivel mundial.	23
Fig. 18. Emisiones mundiales de dióxido de carbono por tipo de combustible.	24
Fig. 19. Factor de emisiones de CO ₂	24
Fig. 20. Promedio tasa de interés del sistema bancario.	28
Fig. 21. Localización del proyecto viable de actualizar.	31
Fig. 22. Nomenclatura luminarias.	32
Fig. 23. Distribución de luminarias.	33
Fig. 24. Imágenes proyecto alumbrado público, comuna de Pudahuel.	34
Fig. 25. Nomenclatura luminarias solares.	38
Fig. 26. Distribución luminarias solares.	39

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Cálculo para obtener el total de la tarifa residencial en UF.	20
Ecuación 2. Factor de emisiones de dióxido de carbono en Chile.	25
Ecuación 3. Factor de emisiones con unidades de medida transformadas.	25
Ecuación 4. Valor presente neto para inversiones de eficiencia energética.	26
Ecuación 5. Calculo de valor actual neto en Excel.	26
Ecuación 6. Cálculo de la tasa interna de retorno en Excel.	27
Ecuación 7. Calculo del periodo de recuperación.	28
Ecuación 8. Flujo en T ₀	29
Ecuación 9. Flujo en T ₂₀	30

Índice de tablas

Tabla 1. Comparativa criterios técnicos de los tipos de luminarias.....	16
Tabla 2. Vida útil de cada tipo de lámpara expresada en horas y años.....	16
Tabla 3. Valores del proyecto tradicional.....	35
Tabla 4. Detalle de precios de construcción.....	35
Tabla 5 . Valores en CLP y en UF para el calculo de la tarifa residencial BTs.	36
Tabla 6. Valor por concepto de operación del sistema tradicional.....	36
Tabla 7. Valores por concepto de mantenimiento del sistema tradicional.	36
Tabla 8. Depreciación de los elementos del sistema tradicional.	37
Tabla 9. Precio instalación luminarias solares 100W.	40
Tabla 10. Valor por concepto de mantención del sistema de actualización.....	40
Tabla 11. Depreciación de luminaria solar.....	40
Tabla 12. Valor del proyecto de actualización.....	41
Tabla 13. Valores por concepto de mantenimiento del sistema de actualización.....	41
Tabla 14. Depreciación de los elementos del sistema de actualización.....	41
Tabla 15. Flujo de caja para actualización sistema de alumbrado público.....	42
Tabla 16. Resultados de criterios de evaluación.....	43
Tabla 17. Flujo de caja proyectado pesimista.	44
Tabla 18. Resultados de criterios de evaluación proyectada pesimista.....	45
Tabla 19. Flujo de caja proyectado normal.....	46
Tabla 20. Resultados de criterios de evaluación proyectada normal.....	47
Tabla 21. Flujo de caja proyectado normal.....	48
Tabla 22. Resultados de criterios de evaluación proyectada normal.....	49
Tabla 23. Flujo de caja proyecto de actualización.	50
Tabla 24. Resultados de criterios de evaluación.....	51
Tabla 25. Flujo de caja proyectado pesimista.	52
Tabla 26. Resultados de criterios de evaluación proyectada pesimista.....	53
Tabla 27. Flujo de caja proyectado normal.....	54
Tabla 28. Resultados de criterios de evaluación proyectado normal.....	55
Tabla 29. Flujo de caja proyectado optimista.	56
Tabla 30. Resultados de criterios de evaluación proyectada optimista.....	57
Tabla 31. Resumen de resultados.	58

Introducción

Con el pasar de los años en el mundo se están fundando nuevas formas de sistemas de generación energética, esto ha sido una necesidad debido a distintos factores, como lo son el alza del precio del petróleo debido a los riesgos de su suministro, el aumento en las emisiones mundiales de dióxido de carbono relacionadas con la energía y la caída de los costos de las energías eólica y fotovoltaica (IEA, 2018).

Conociendo que la demanda y la generación mundial de energía aumentaron en 2017 un 2,2% y un 2,8%, respectivamente, y que este aumento de la generación fue impulsado por un notable crecimiento de las energías renovables, ya que de este 2,8% un 17% corresponde a energía eólica y un 35% a energía solar (Dale, 2018).

En Chile el gasto público en energía eléctrica tiene un ítem de suma importancia y este es el alumbrado público, ya que este ocupa un 70% del gasto mensual que tienen las municipalidades (Fariña, 2015).

Teniendo en cuenta estos antecedentes se justifica la evaluación de inversiones de eficiencia energética para la construcción de sistemas de alumbrado público. Una actualización de los sistemas tradicionales de alumbrado público a sistemas fotovoltaicos nos permitirá disminuir los tiempos de ejecución para estas obras, prescindir del consumo y por ende del pago por la producción y transporte de energía eléctrica, como también a reducir las emisiones de dióxido de carbono en la operación de estos.

Objetivos

Con el motivo de evidenciar la conveniencia de las inversiones de eficiencia energética en alumbrado público es que se proponen los siguientes objetivos:

Objetivo general

Evaluar técnica y económicamente la actualización de un sistema tradicional de alumbrado público en un proyecto habitacional.

Objetivos específicos

1. Definir un proyecto habitacional con un sistema de alumbrado público tradicional soterrado viable de actualizar.
2. Establecer un proyecto fotovoltaico de actualización al proyecto tradicional.
3. Contrastar técnica y económicamente el sistema tradicional de iluminación pública y el sistema de iluminación fotovoltaico.

SOLO USO ACADÉMICO

Capítulo I

1 Metodología

Para alcanzar de los objetivos de esta investigación es que, en primera instancia, se realizará una descripción de los sistemas de alumbrado público y una comparación, entre las luminarias de los sistemas tradicionales y de los sistemas fotovoltaicos, considerando aspectos técnicos en común de ambos sistemas como lo son la vida útil, el flujo luminoso y la eficiencia lumínica.

Por otra parte, se describirá el sector energético chileno, identificando su distribución, sus características y el precio de la energía eléctrica residencial actual en Chile mediante la consulta en la compañía distribuidora de energía que se considere competente en el emplazamiento en donde se desarrollará el proyecto de actualización. También se analizarán escenarios supuestos de la variación de este precio en situaciones futuras y se hará una breve reseña con respecto al impacto ambiental del sector, enfocándose principalmente en las emisiones de dióxido de carbono.

En el desarrollo de esta investigación se aplicará una metodología de evaluación apoyada en bibliografía existente de métodos de evaluación económica de proyectos que nos permitirá, mediante algunos indicadores, establecer si nuestra actualización de alumbrado público resulta rentable o no para el horizonte de evaluación determinado.

También se considerará, como parte de la metodología, la búsqueda de un proyecto viable de actualizar mediante la consulta a profesionales del área, sean estos constructores civiles, ingenieros eléctricos, arquitectos u otros, que hayan sido parte de un proyecto o tengan información que contemple la construcción de sistemas de alumbrado público de tipo tradicional. Luego de obtenida la información se realizará una descripción del proyecto, dando a conocer, en términos generales, las características más relevantes para el cumplimiento de los objetivos de esta investigación.

Capítulo II

2 Marco teórico

2.1 Sistemas de alumbrado público tradicionales

Una de las configuraciones más versátiles de la energía es la electricidad, la cual permite que la ciudadanía disponga de iluminación, refrigeración, control de temperatura de sus hogares, acceso a los medios de comunicación, ya sea por televisión o radio, entre otros aspectos que están directamente relacionados con la calidad de vida de una población. (NAP, 2013).

Un sistema de alumbrado público es un servicio que se presta con el fin de suministrar iluminación de los bienes y de los espacios de libre circulación públicos, ya sea de tránsito vehicular o peatonal (Monsalve, 2009). En Chile lo que se usa tradicionalmente son luminarias de sodio de alta presión y haluros metálicos (Martínez, 2011). Estos tipos de luminarias tienen un detalle, y es que requieren de la utilización de equipos auxiliares, los cuales para fines de esta investigación se definirán, junto con los tipos de luminarias, de acuerdo con detallado por Álvarez (2009).

2.1.1 Tipos de lámparas

2.1.1.1 Haluro metálico

Las lámparas de haluro metal (Fig. 1) están compuestas por halogenuros metálicos como el Disprosio, Holmio y Tulio, y contienen un tubo de descarga lleno de mercurio a alta presión. Estas características le permiten a este tipo de lámpara obtener altos rendimientos en cuanto a color y eficiencia lumínica. La aplicación de este tipo de lámparas requiere de la utilización de equipos auxiliares como balastro, arrancador y condensador.

Fig. 1. Ampolleta de Haluro Metal.



Fuente: Phillips Ligthing, 2019.

Este tipo de lámpara tiene una vida útil de 12.000 horas, una eficiencia lumínica de 85 lm/W y un flujo luminoso de 8.500 (lm).

2.1.1.2 Vapor de sodio baja presión

Las lámparas de vapor de sodio de baja presión están compuestas por una cubierta exterior de vidrio vacío en forma de tubo, con una capa de óxido de indio en su interior. El vacío, junto con el óxido de indio actúan como un reflector selectivo que permiten que sodio, al condensarse, se deposite en las hendiduras del vidrio y se evapore con una pérdida mínima de calor. Estas lámparas necesitan para su encendido de equipos auxiliares

Este tipo de lámpara tiene una vida útil de 18.000 horas, una eficiencia lumínica de 100 lm/W y un flujo luminoso de 10.000 lúmenes (lm).

2.1.1.3 Vapor de sodio alta presión

Las lámparas de vapor de sodio de alta presión (Fig. 2) son utilizadas comúnmente en iluminaciones exteriores por su capacidad de acentuar elementos. Esta en comparación a las de baja presión contienen exceso de sodio, además de mercurio y xenón para facilitar el encendido y limitar la conducción de calor al tubo de descarga. Al igual que las demás, estas requieren de equipos auxiliares para su encendido.

Este tipo de lámpara tiene una vida útil de 24.000 horas, una eficiencia lumínica de 100 lm/W y un flujo luminoso de 15.000 lúmenes (lm).

Fig. 2. Ampolleta de vapor de sodio de alta presión.



Fuente: Phillips Lighting, 2019.

2.1.2 Equipos auxiliares

2.1.2.1 Balastros

Los balastros son dispositivos que limitan la corriente que se concentra en la lámpara. De no usarse la corriente aumentaría a tal punto que destruiría la lámpara.

2.1.2.2 Ignitores

Los ignitores o arrancadores suministran la tensión necesaria entre los electrodos de la luminaria para iniciar la descarga y vencer la resistencia del gas a la corriente eléctrica.

2.1.2.3 Condensadores

Los condensadores son almacenadores de energía que ayudan a regular el factor de potencia de los balastros. Estos son necesarios tanto para encender la lámpara, como también para su operación y su apagado.

SOLO USO ACADÉMICO

2.2 Sistemas de iluminación fotovoltaico integrado

2.2.1 Energía solar fotovoltaica

Existen diversas formas de generar energía eléctrica. Una de ellas es la obtenida directamente de la luz, proceso que se conoce con el nombre de efecto fotovoltaico y que para su obtención necesita de un material que absorba la luz del sol y sea capaz de transformar esta energía radiante en energía eléctrica, y de esto se encargan las células fotovoltaicas (Jimenez, 2014). Si bien este proceso es fundamental para entender el funcionamiento de los sistemas de iluminación fotovoltaicos es tan solo una parte, ya que estos sistemas se conforman de más elementos, todos igual de importantes, para su correcto funcionamiento.

2.2.2 Elementos de un sistema de iluminación fotovoltaico integrado

Un sistema de fotovoltaico de iluminación integrado se compone de un panel o módulo fotovoltaico monocristalino, un controlador de carga, un sensor de luminosidad exterior y movimiento, una batería solar y una fuente de iluminación led (Develop & Solution, 2018).

2.2.2.1 Panel fotovoltaico

Un panel o módulo fotovoltaico es una placa que se compone de células fotovoltaicas de silicio mono cristalino protegidas por un marco de vidrio y un marco de aluminio, tal como se puede observar en las Fig. 3 y Fig. 4. Las células se pueden encontrar en diferentes materiales, pero principalmente se desarrollan de silicio monocristalino (Gasquet, 2004).

Fig. 3. Panel Silicio monocristalino.



Fuente: Cortesía Develop & Solution, 2019.

Fig. 4. Detalle Panel Silicio monocristalino.



Fuente: Cortesía Develop & Solution, 2019.

2.2.2.2 El controlador

El regulador o controlador (Fig. 5) tiene como función la regulación de la carga y descarga de la batería, de este modo puede reducir o aumentar el paso de corriente que genera el panel fotovoltaico hacia la batería de acuerdo con el nivel de carga que esta tenga, como también puede cortar suministro de energía a la fuente de iluminación en el caso de que la batería este en niveles de carga bajos. (Gutierrez, 2002)

Fig. 5. Controlador de carga PWM.



Fuente: Cortesía Develop & Solution, 2019.

2.2.2.3 Sensor de luminosidad exterior y movimiento

Este sensor (Fig. 6) tiene como finalidad optimizar la duración de la batería basado en dos funciones. La primera de ellas es detectar los niveles de luminosidad natural y en base a estos apagar o encender la fuente de luz. Mientras que la segunda función es identificar, en el radio de alcance de la luz, si es que existe algún movimiento; de este modo si no detecta movimiento la fuente de iluminación funcionará al 30% de su potencia, de lo contrario la fuente de iluminación funcionará al 100% de su potencia.

Fig. 6. Sensor de luminosidad exterior y movimiento.



Fuente: Cortesía Develop & Solution, 2019.

2.2.2.4 Batería solar

La batería solar, que se puede observar en la Fig. 7, está compuesta fosfato de litio y hierro (LiFePO_4), y tienen como principal función el almacenamiento de energía. Estas trabajan en conjunto con el regulador, ya que este va a suministrarle mas o menos energía de acuerdo con los niveles de carga que esta posea.

Fig. 7. Batería solar.



Fuente: Cortesía Develop & Solution, 2019.

2.2.2.5 Fuente de iluminación led

La fuente de luz led de los sistemas de iluminación fotovoltaicos integrados son chips Lumiled Luxeon Phillips, tal como podemos apreciar en la Fig. 8 y en la Fig. 9. Estos son diseñados especialmente para aplicaciones exteriores de alta eficiencia y bajo costo. Su eficiencia lumínica supera los 130 lm/W y su vida útil garantizada es de 55.000 horas.

Fig. 8. Fuente de iluminación.



Fuente: Cortesía Develop & Solution, 2019.

Fig. 9. Chip Lumiled Luxeon Phillips.



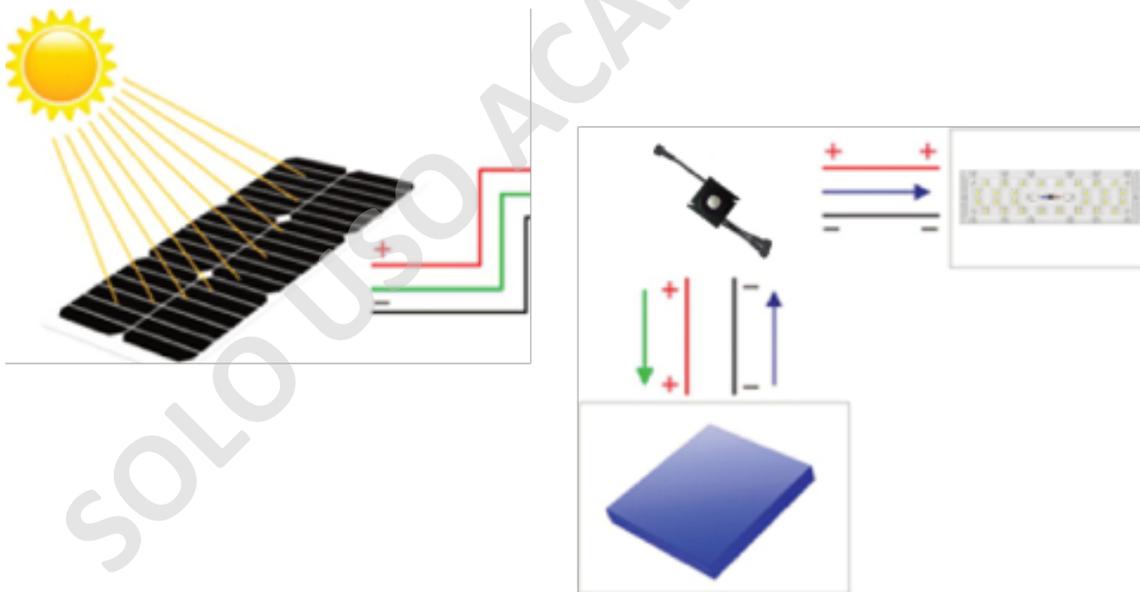
Fuente: Cortesía Develop & Solution, 2019.

2.2.3 Principio de funcionamiento

El principio de funcionamiento básico de la luminaria fotovoltaica integrada, según la Fig. 10, se puede definir de la siguiente manera.

1. La energía solar es captada por el panel.
2. El regulador lleva la energía hacia la batería. En caso de encontrarse la batería con su nivel de carga completo, el regulador impide el paso de energía hacia ella.
3. El sensor detecta bajos niveles de luminosidad exterior y el regulador, que funciona en conjunto con el sensor, permite el paso de energía desde la batería hacia la fuente iluminación led.
4. Encendida la fuente de iluminación led, si el sensor no detecta movimientos físicos dentro de su radio de alcance hará que el regulador limite la energía que va hacia la fuente de iluminación en un 70%.

Fig. 10. Principio de funcionamiento



Fuente: Cortesía Develop & Solution, 2019.

2.2.4 Ventajas y desventajas del sistema

2.2.4.1 Ventajas

Una de las grandes ventajas de los sistemas de iluminación fotovoltaicos es que el sol, su fuente de energía, es inagotable. También la utilización de estos sistemas en su funcionamiento no contaminan atmosféricamente, ya que, no producen gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO₂), ni tampoco acústicamente, debido a que su generación es totalmente silenciosa (Ministerio de Energía & Educar Chile, n.d.).

Así mismo, como menciona Educar Chile y el Ministerio de Energía, otra de las ventajas de su aplicación es su accesibilidad física y su amplia disponibilidad. Estas pueden ser utilizadas en lugares remotos en donde podría ser difícil el acceso a otras fuentes de energía.

En cuanto a los costos de operación y mantención, con la utilización de este tipo de sistemas las cuentas de electricidad disminuyen en niveles considerables o bien, totalmente. Mientras que para la mantención no se requiere de grandes reinversiones, solo un limpieza anual del panel y el recambio de algunos elementos como la batería y las lámparas (GreenMatch, 2019).

Otro aspecto que puede considerarse una ventaja es la gran vida útil que presentan las luces led que disponen estos sistemas de iluminación que alcanza las 55.000 horas.

2.2.4.2 Desventajas

Como se indica en el sitio web de GreenMatch las desventajas de estos sistemas, al igual que las ventajas, son bastantes.

La inversión en sistemas fotovoltaicos implica una alta inversión inicial, aunque mencionan que las nuevas tecnologías de fabricación que se desarrollan día a día han provocado y seguirán provocando una disminución en los precios de estos equipos.

La dependencia del clima es otro de los factores que afectan negativamente a estos sistemas, ya que la eficiencia de captación puede verse afectada drásticamente en días nublados o lluviosos. También es considerada una desventaja el hecho de que no se genere energía las 24 horas del día.

Si bien en su funcionamiento no generan gases de efecto invernadero, si lo hacen en su fabricación y transporte, como también la toxicidad de los componentes de sus materiales afectan indirectamente al medio ambiente una vez que estos son desechados.

2.3 Postaciones

Las postaciones, según el pliego normativo RPTD N°11 de la superintendencia de electricidad y combustibles, son estructuras de soporte que pueden ser metálicas reticuladas, o postes metálicos, postes de hormigón, postes de madera u otro tipo de materiales.

Las estructuras metálicas reticuladas son de sección cuadrada y conformada por perfiles angulares laminados en espesores no menores a 5mm.

Los postes metálicos son postes cuyo cuerpo puede ser fabricado con tubos laminados sin costura o simplemente una lamina de acero doblada y unida mediante soldadura. Los más usados son los de acero galvanizado.

Los postes de hormigón son, preferentemente, del tipo armado, elaborados con materiales que responden a las normas nacionales o internacionales pertinentes.

Para fines de esta investigación se considerará mostrar y definir especialmente los postes de acero galvanizado cónicos circulares y los de acero corriente rectos en perfiles cuadrados.

2.3.1 Postes de acero galvanizadas

Los postes galvanizados, que se pueden observar en la Fig. 11, se fabrican según la norma ASTM A 123/A 123 M – 02 A galvanizados en caliente, desde los 3 hasta los 15 metros de altura y se montan en su respectiva fundación y canastillo de anclaje. Son los mas usados debido a su protección contra la abrasión y la corrosión.

2.3.2 Postes metálicos corrientes

Los postes metálicos se fabrican desde los 3 hasta los 12 metros de altura. Estos al igual que los galvanizados se montan sobre una fundación con su respectivo canastillo de anclaje. Su base de sujeción es de aluminio fundido. Estos se emplean en todo tipo de proyectos de alumbrado y su valor equivale a un cuarto del valor de los galvanizados en caliente. Este se puede apreciar en la Fig. 12.

Fig. 11. Poste de acero galvanizado.



Fuente: Metalur, 2019.

Fig. 12. Poste metálico cuadrado instalado en Pudahuel.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

2.4 Comparativa aspectos técnicos

Los criterios para comparar los distintos tipos de luminaria o lámparas mencionados anteriormente serán algunos de los descritos por Enríquez (2004) como el flujo luminoso y la eficiencia lumínica. También se considerará como criterio la vida útil de cada tipo de lámpara.

Flujo luminoso: El flujo luminoso es la cantidad de luz que puede emitir una luminaria o lámpara en la unidad de un segundo y su unidad de medida es el Lumen o lm, denotada por la letra griega ϕ

Eficiencia lumínica: La eficiencia lumínica es el flujo luminoso (ϕ) de una lámpara y la potencia que esta tiene. Se expresa en Lumen/watt o lm/W.

Vida útil: La vida útil de una luminaria es básicamente la cantidad de horas que estará en operación antes de requerir un recambio.

2.4.1 Resultados

Tabla 1. Comparativa criterios técnicos de los tipos de luminarias.

Luminaria	Potencia (W)	Flujo luminoso (lm)	Eficiencia lumínica (lm/W)
LED SOLAR	100	14.500	145
Haluro metalico (HM)	100	8.500	85
Sodio AP (Alta Presión)	100	10.000	100
	150	15.000	100

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Vida útil de cada tipo de lámpara expresada en horas y años.

Luminaria	Vida uti (Hrs)	Vida util (Años)
LED SOLAR	55.000	14
HM	12.000	3
Sodio AP	24.000	6

Fuente: Elaboración propia.

2.5 La energía en Chile

2.5.1 Aspectos generales

La matriz eléctrica en Chile esta compuesta, como se puede observar en la Fig. 13, por tres sistemas independientes que abastecen distintas zonas geográficas del territorio nacional. Estos sistemas son: el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) que esta conformado por los antiguos sistemas Interconectado Central (SIC) y el Interconectado del Norte Grande (SING) y otros dos sistemas medianos en las regiones de Aysén y Magallanes, que son el Sistema de Aysén (SEA) y el Sistema de Magallanes (SEM) (Generadoras de Chile, 2017).

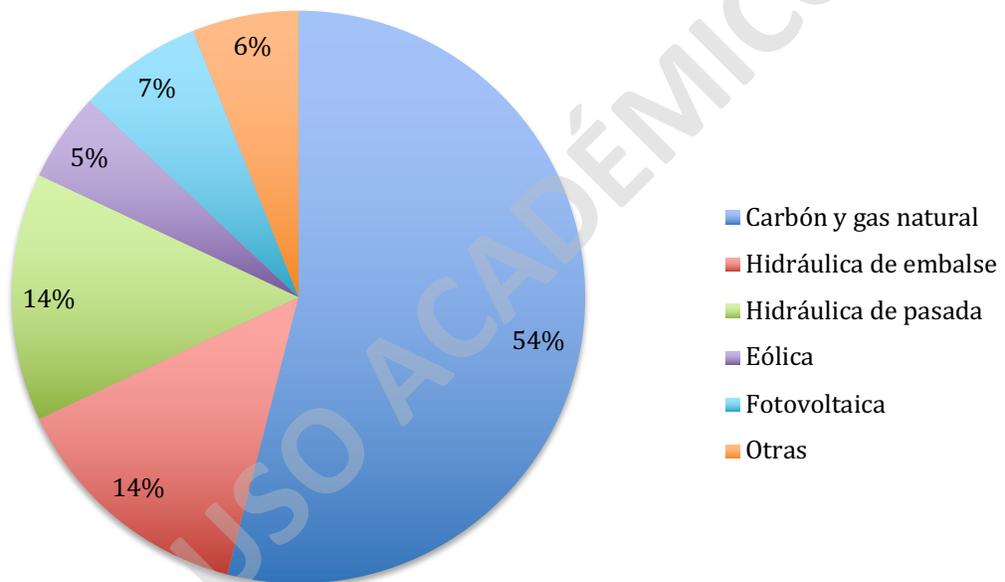
Fig. 13. Mapa matriz eléctrica Chile.



Fuente: Energía abierta, CNE, 2019.

Según datos recogidos del anuario estadístico de la Comisión Nacional de Energía del año 2018 y como se detalla en la Fig. 14, la generación eléctrica del país fue de 76.175 GWh, de los cuales un 54% corresponde a energía obtenida mediante la utilización de carbón y gas natural. El restante 46% se distribuye en energía hidráulica de embalse (14%), hidráulica de pasada (14%), eólica (5%), solar fotovoltaica (7%) y otras (6%).

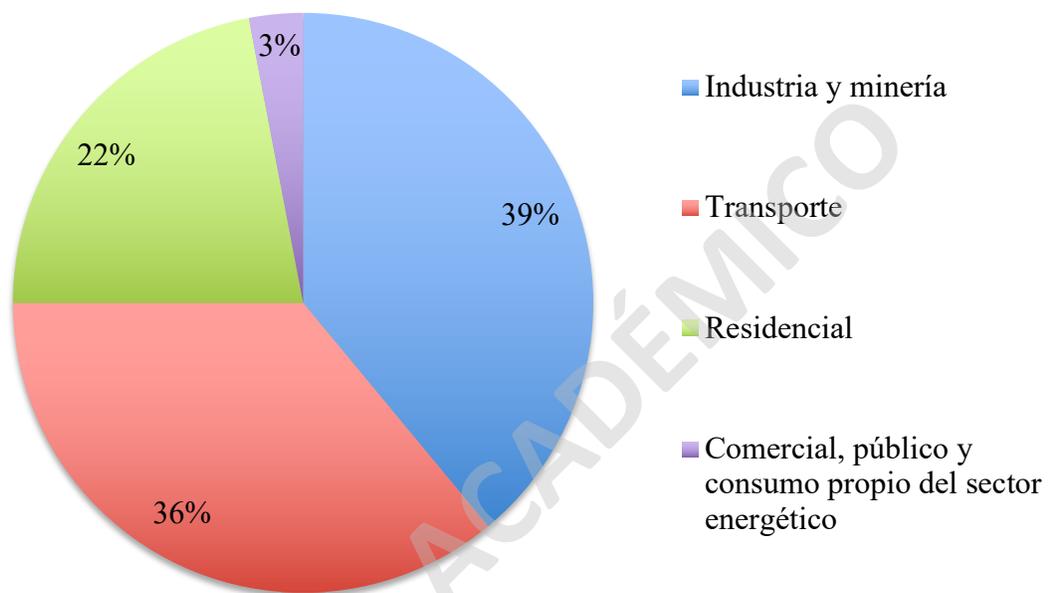
Fig. 14. Distribución de la generación de energía eléctrica en Chile



Fuente: Elaboración propia en base a información del anuario estadístico de la CNE, 2018.

Ahora bien, la generación de la matriz eléctrica de Chile está destinada principalmente a la demanda que ejercen de tres sectores; industria y minería (39%), el transporte (36%) y el sector residencial (22%). Mientras que el 3% restante de la demanda energética corresponde al sector comercial y público, y el consumo propio del sector de energía.

Fig. 15. Consumo por sector.



Fuente: Elaboración propia en base a información del anuario estadístico de la CNE, 2018.

2.5.2 Precio de la energía

El consumo energético es lo que sustenta el desarrollo y las actividades de tipo sociales y económicas de un país de tal forma que las naciones industrializadas que presentan economías de gran escala presentan mayores demandas de energía para mantener su funcionamiento (Pastén, 2012).

Durante la última década, el precio de la energía eléctrica en Chile ha ido en constante alza. De acuerdo con lo señalado por el Ministerio de Energía en la licitación del suministro eléctrico para las familias, comercio y pequeñas empresas del año 2006, el valor promedio fue adjudicado por US\$65 por MWh y para la misma licitación, en el año 2013, esta fue adjudicada por un valor de US\$128 por MWh. Ahora bien, según estimaciones del Ministerio de Energía estos valores licitados podrían subir otro 34% en los próximos 10 años (Fariña, 2015).

Teniendo en consideración lo anterior y tomando en cuenta la energía eléctrica de uso residencial como base para el desarrollo de esta investigación, se puede mencionar que en la actualidad el precio de este tipo de energía está definido en el tarifado de suministro par clientes residenciales de la compañía Enel Distribución, de acuerdo a lo que establece el artículo N°191 de DFL N°4 de 2006 del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, en el cual se detallan las opciones tarifarias y condiciones de aplicaciones según lo que indica el Decreto N°11T de 2006, los Decretos N°5T, N°2T y N°20T de 2019, todos del Ministerio de Energía y de la Resolución Exenta N°828, 827 y 753, de la Comisión Nacional de Energía (Enel Distribución, 2019).

En este tarifado, la compañía Enel Distribución expresa el precio total para la red de baja tensión residencial de acuerdo con tres cargos; administración del servicio, transporte de electricidad y electricidad consumida. Con lo que se puede determinar la siguiente ecuación:

Ecuación 1. Cálculo para obtener el total de la tarifa residencial en UF.

$$\begin{aligned} \text{Total tarifa} &= \text{Administración de servicio (UF/mes)} \\ &+ \text{Transporte de electricidad (UF/kWh)} \\ &+ \text{Electricidad consumida (UF/kWh)} \end{aligned}$$

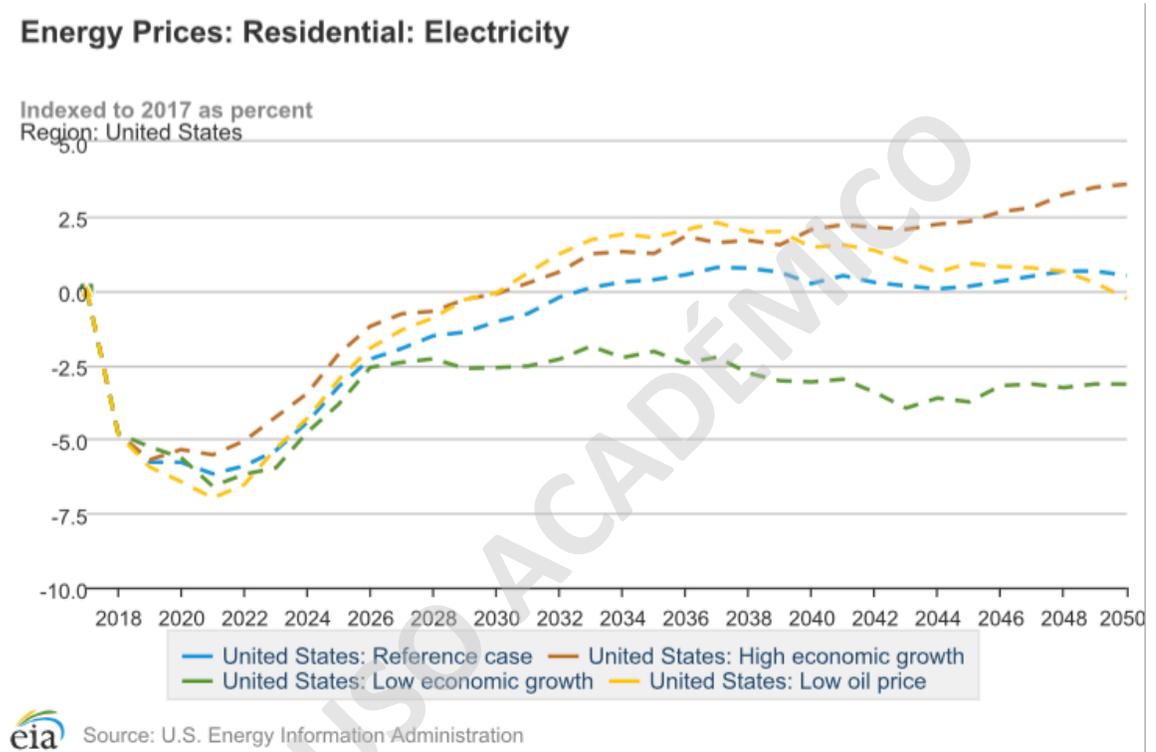
Fuente: Elaboración propia en base a Tarifado Enel, 2019.

2.5.3 Precio de la energía: supuestos

Si bien no existen aproximaciones o proyecciones futuras del precio de la energía eléctrica en Chile, se tendrá en consideración las proyecciones que se hacen en Estados Unidos, basándose en la lógica de que la economía mundial está impulsada por lo que sucede en dicho país.

Bajo este concepto es que se plantea una proyección del precio de la energía eléctrica residencial en distintos escenarios económicos, como una baja en el precio del petróleo, un bajo crecimiento de la economía y también un alto crecimiento de esta.

Fig. 16. Proyección de los precios de la energía eléctrica residencial.



Fuente: U.S. Energy Information Administration (EIA), 2019.

En esta proyección (Fig. 16), la cual tiene como base de referencia los precios por energía eléctrica de uso residencial en Estados Unidos para el año 2018 y como horizonte de proyección el año 2050, se puede determinar que:

Una baja del precio del petróleo podría estar directamente relacionada con la aplicación de energías renovables no convencionales (ERNC) en la generación de energía eléctrica, considerando esta baja se puede inferir que el precio de la energía de uso residencial al año 2050 no presentaría grandes variaciones y disminuiría en un 0,27%.

En el caso de presentarse un bajo crecimiento de la economía, la energía eléctrica presentaría una variación un tanto más considerable, ya que el precio disminuiría en un

3,16%, y, por el contrario; si la economía manifestase un crecimiento, el precio de la energía aumentaría un 3,57% al año 2050.

Ahora bien, si las condiciones y criterios actuales que determinan los valores por la electricidad se mantuviesen al año 2050, lo proyectado indica que esta presentaría un precio 0,5% más elevado que el valor del año 2018.

De acuerdo los resultados que entregan los distintos escenarios de esta proyección es posible determinar, a grandes rasgos, que la energía eléctrica de uso residencial no presentaría variaciones considerables en cuanto a su precio. Sin embargo, es de suma importancia conocer estos supuestos, ya que al momento de evaluar económicamente una inversión de eficiencia energética se tendrán distintos escenarios que permitirán conocer la situación pesimista, normal proyectada y optimista de tal inversión.

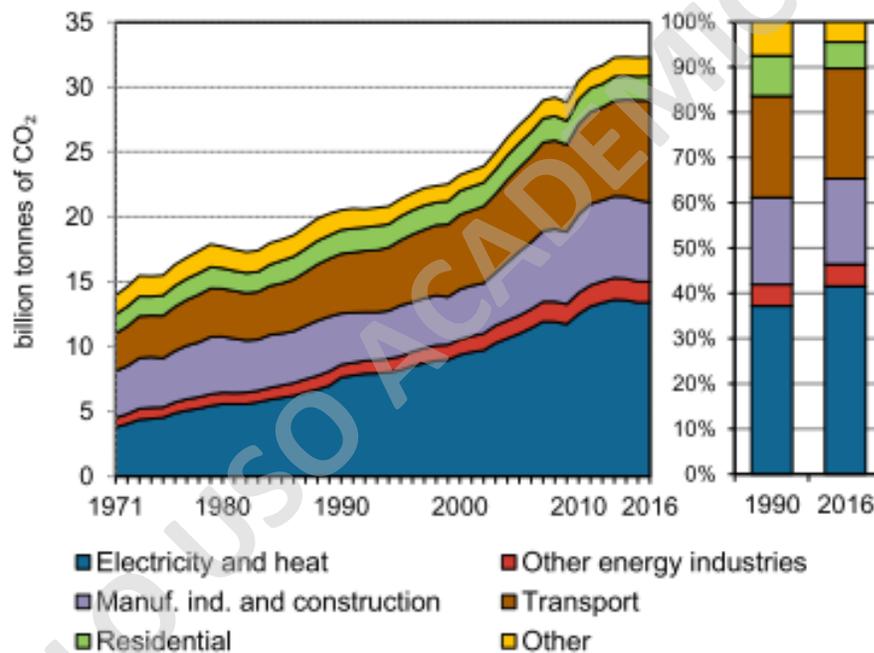
SOLO USO ACADÉMICO

2.5.4 Emisiones de dióxido de carbono

A nivel mundial las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) han ido en constante aumento a medida que pasan los años. Es así como desde el año 1990 al año 2016 estas han aumentado un 57% (EIA, 2018). Estas emisiones se pueden diversificar por sector y es aquí donde destaca uno en particular, la energía eléctrica.

Como evidencia la Fig. 17, en el año 2016 la energía eléctrica en general concentra más del 40% del total de las emisiones de CO₂, considerando la generación y en gasto propio de la industria.

Fig. 17. Emisiones de dióxido de carbono por sector a nivel mundial.

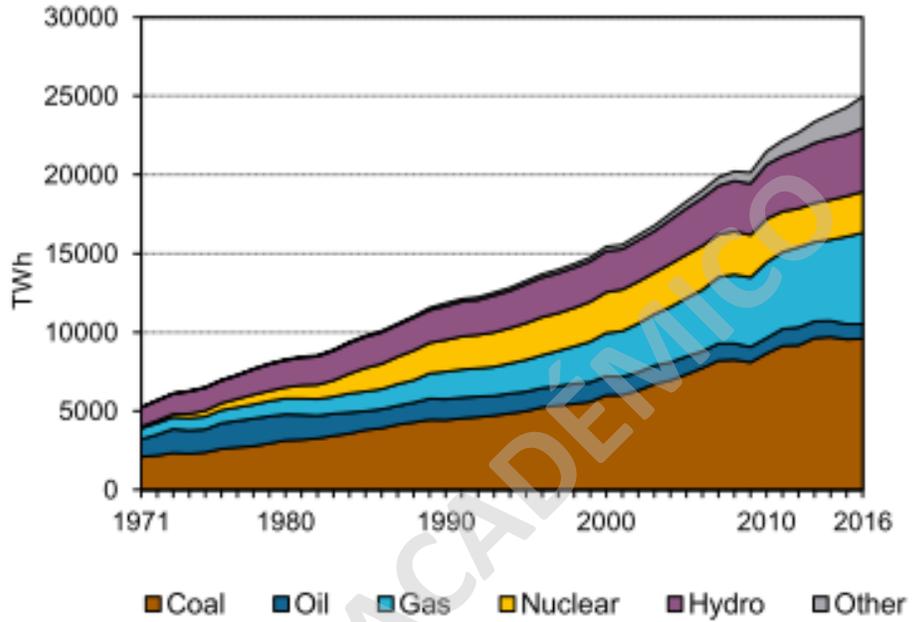


Fuente: EIA, 2018

Teniendo al sector energético como principal emisor de dióxido de carbono a nivel mundial se puede evidenciar que la situación de la industria energética chilena sigue los patrones mundiales de emisiones de CO₂.

Como se observa en la Fig. 14, la electricidad en Chile está predominada por la generación en base a recursos no renovables, como lo son el carbón y el gas natural los cuales, en el año 2016, tal como se observa en la Fig. 18, representaron el 60% de las emisiones a nivel mundial.

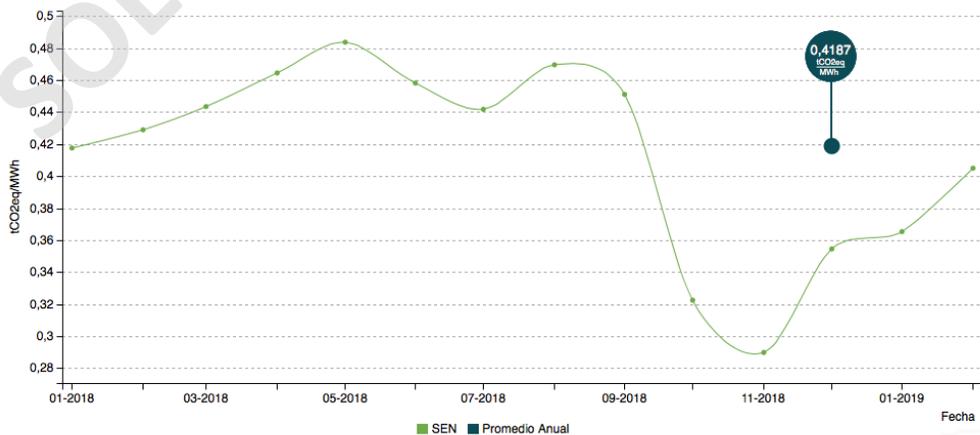
Fig. 18. Emisiones mundiales de dióxido de carbono por tipo de combustible.



Fuente: EIA, 2018

Para poder cuantificar las emisiones de dióxido de carbono de la generación de electricidad en Chile existe un factor que permite calcularlas de acuerdo con el consumo energético. Este factor es un promedio que se calcula anualmente y tal como se aprecia en la Fig. 19 para el año 2018 fue expresado en la Ecuación 2.

Fig. 19. Factor de emisiones de CO₂



Fuente: Energía abierta, CNE, 2018.

Ecuación 2. Factor de emisiones de dióxido de carbono en Chile.

$$\text{Factor de emisiones} = 0,4187 \frac{\text{tCO}_2\text{eq}}{\text{MWh}}$$

Fuente: (CNE & Ministerio de Energía, 2018)

Sin embargo, para la conveniencia de los cálculos a realizar en el desarrollo de nuestra investigación se transformarán las unidades de medida de magnitudes tonelada (*t*) y megawatts (MW). De este modo utilizaremos *kgCO₂eq* en vez de *tCO₂eq* y kWh en vez de MWh, como se expresa en la Ecuación 3.

Ecuación 3. Factor de emisiones con unidades de medida transformadas.

$$\text{Factor de emisiones} = 0,4187 \frac{\text{kgCO}_2\text{eq}}{\text{kWh}}$$

Fuente: Elaboración propia.

2.6 Evaluación económica de proyectos de eficiencia energética

2.6.1 Valor actual neto

Como señala Hernández (2018) al momento de tomar la decisión de invertir en un proyecto de eficiencia energética se esta mirando hacia el futuro, ya que esta decisión, o las consecuencias de esta, pueden tener impactos hoy, mañana o mucho más lejos en el tiempo. Desde este punto de vista es que hay que considerar ciertos aspectos al momento de realizar una inversión de eficiencia energética vinculados con el tiempo futuro como lo son el momento en que se realiza la inversión, el horizonte de la inversión y el coste de capital.

El coste de capital es definido como la tasa de descuento que se aplica en las evaluaciones económicas de eficiencia energética basadas en el NPV o VAN y este ultimo indicador es el que Hernández (2018) representa como se muestra en la Ecuación 4, en donde " I_0 " es la inversión el día de hoy de una alternativa A y es compensada por el valor de los beneficios futuros de todos los periodos correspondientes a la modelación " PVB_A " descontados a una tasa " d ", para así lograr el límite de aceptación de la inversión en donde NPV es igual a cero.

Ecuación 4. Valor presente neto para inversiones de eficiencia energética

$$NPV = -I_0 + PVB_A; \quad \text{donde } PVB_A = \sum_{n=1}^H \frac{B_n}{(1 + d)^n}$$

Ahora bien, para la evaluación financiera de esta investigación que será realizada mediante la utilización del software Excel, se realizará el calculo de este indicador mediante la Ecuación 5, en donde "**tasa**" corresponde a la tasa de descuento a lo largo de la evaluación, mientras que lo señalado como "**valor**" representan los flujos de caja para cada periodo de la evaluación, por ello es que se define un horizonte "**valorN**", el cual seria el ultimo periodo de nuestra evaluación.

Ecuación 5. Calculo de valor actual neto en Excel.

$$VNA(\text{tasa}; \text{valor1}; [\text{valor2}]; \dots [\text{valorN}])$$

Fuente: (Microsoft, 2019b).

2.6.2 Tasa interna de retorno

La tasa interna de retorno (TIR) se puede definir como la tasa de interés que se paga sobre los flujos o saldos monetarios de cada periodo de la inversión, o simplemente se puede expresar como la tasa de interés que hace que el VAN sea igual a cero (Meza Orozco, 2013). Se pueden definir tres criterios para definir la aceptación o el rechazo de un proyecto usando la TIR y estos según Meza Orozco (2008) son los siguientes:

1. Si la TIR es mayor a la tasa de descuento, el proyecto se debe aceptar, ya que el inversionista obtiene rendimientos mayores a lo exigido.
2. Si la TIR es igual a la tasa de descuento, la decisión de invertir o no resulta indiferente.
3. Si la TIR es menor que la tasa de descuento, la inversión debe rechazarse.

Para el cálculo de la TIR se usará, al igual que con el VAN, el software Excel y será mediante la Ecuación 6 , en donde “valores” es el conjunto de todos flujos de caja del horizonte de evaluación, mientras que “estimar” es una función opcional, y no será utilizada en nuestro caso, en la cual quien esta realizando la evaluación estima el valor del resultado de la función TIR.

Ecuación 6. Cálculo de la tasa interna de retorno en Excel

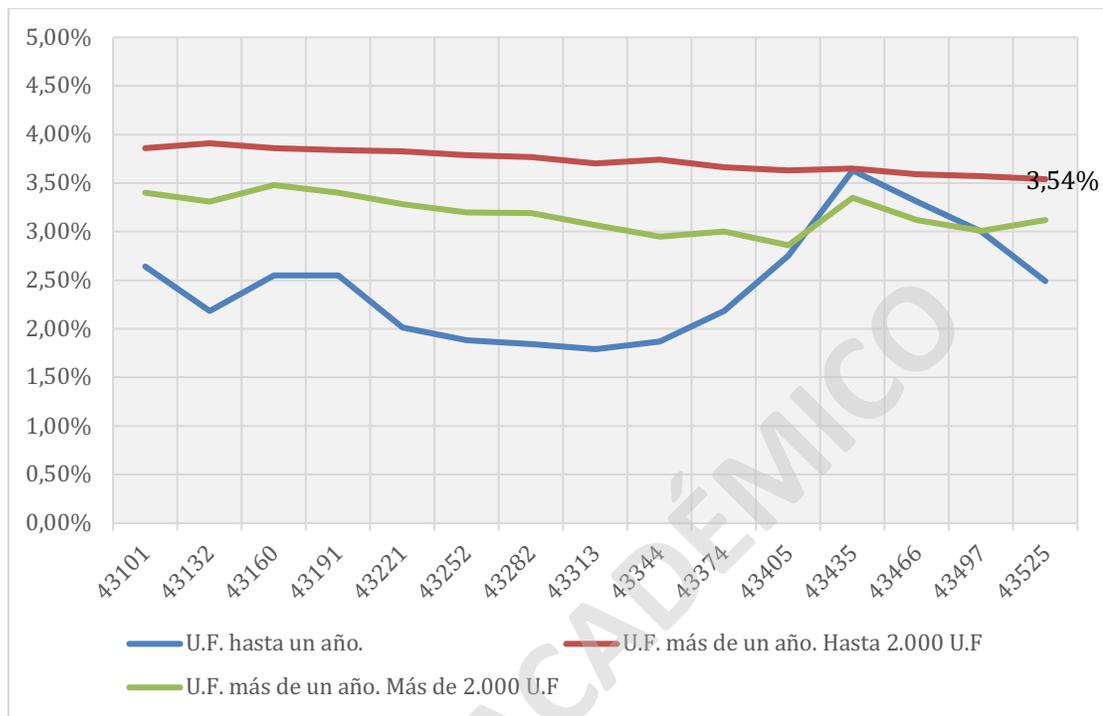
TIR(valores, [estimación])

Fuente: (Microsoft, 2019a).

2.6.3 Tasa de interés

Para motivos de esta investigación, y tal cual propone Weitzman (1999), al momento de evaluar económicamente proyectos de impacto ambiental se debe utilizar una tasa “normal baja” real de entre 3-5% para los primeros 25 años. Teniendo esto como referencia y basándose en los datos del reporte de tasas de interés promedio del sistema bancario de la SBIF (2019), cuando realicemos la evaluación económica de nuestro proyecto se utilizará una tasa real de 3,54% la cual se define en la Fig. 20, como la tasa correspondiente a operaciones en UF entre 0-2000UF en plazos mayores a 1 año.

Fig. 20. Promedio tasa de interés del sistema bancario.



Fuente: SBIF, 2019.

2.6.4 Período de recuperación de la inversión

El período de recuperación de la inversión o *payback* es un método considerado para medir la liquidez, como también el riesgo de una inversión. Este permite establecer el plazo de tiempo que se requiere para que los flujos de caja de una inversión recuperen la inversión inicial. (Váquiro, 2013). El *payback* se puede calcular según la Ecuación 7 en donde, “-PF_{Ja}” es el último período con flujo acumulado negativo, “|-F_{Ja}” es el valor absoluto del último flujo acumulado negativo, mientras que “F_{Ja + 1}” es el valor del flujo de caja del período siguiente.

Ecuación 7. Cálculo del período de recuperación.

$$\text{Payback} = -PF_{Ja} + \frac{|-F_{Ja}|}{F_{Ja + 1}}$$

Fuente: Elaboración propia en base a Váquiro (2013).

2.6.5 Flujo de caja

Para la construcción del flujo de caja se considerarán, según el periodo, principalmente cinco aspectos que serán. Estos son: la deconstrucción del sistema antiguo, la venta residual de este sistema, los ahorros con aplicación del sistema de actualización y finalmente la venta residual de la actualización.

La inversión inicial se refiere al valor de todos los elementos que se adquieren, como también a las herramientas, maquinarias, mano de obra y otros gastos para la construcción del sistema de alumbrado público de actualización. Este valor, al igual que la deconstrucción de ambos sistemas se obtendrán mediante la oportuna consulta a empresas especialistas del rubro (Anexo 1, Anexo 2 y Anexo 3)

Para determinar el precio de venta del sistema tradicional se considerará que los elementos de este se deprecian al 100% antes de su venta, sin considerar la luminaria, la cual tiene una vida útil de 10 (SII, 2003). Este valor, a la hora de modelar, se proyectará en el supuesto de que al tercer periodo se realizará la reinversión para llevar a cabo su reemplazo.

Los ahorros o beneficios del sistema de actualización serán calculados restándole los costos de mantención de este nuevo sistema fotovoltaico de alumbrado público al pago por concepto de consumo energético y mantención del sistema tradicional.

Finalmente, para obtener el valor de la venta de la actualización se considerará el valor residual de las luminarias solares, las cuales tiene una vida útil de 25 años.

2.6.5.1 Estructura flujo de caja

En cuanto a la estructuración del flujo de caja, se tendrán distintas formas para establecer el flujo en distintos instantes, dependiendo del instante " T " de la modelación en el que se sitúe el flujo. Esto se puede evidenciar en la Ecuación 8 y en la Ecuación 9.

Ecuación 8. Flujo en T_0 .

$$\text{FLUJO EN } T_0 = \begin{array}{l} - \text{INVERSIÓN INICIAL} \\ + \text{VENTA SISTEMA TRADICIONAL} \\ - \text{DECONSTRUCCIÓN} \end{array}$$

Fuente: Elaboración propia.

Para los periodos de operación, de T_1 a T_{19} los flujos estarán determinado simplemente por los ahorros, concepto que como se explico anteriormente será la diferencia de costos de operación y mantención de ambos sistemas.

Ecuación 9. Flujo en T_{20} .

FLUJO EN T_{20} = AHORROS + VENTA DE SISTEMA DE ACTUALIZACIÓN

Fuente: Elaboración propia.

SOLO USO ACADÉMICO

Capítulo III

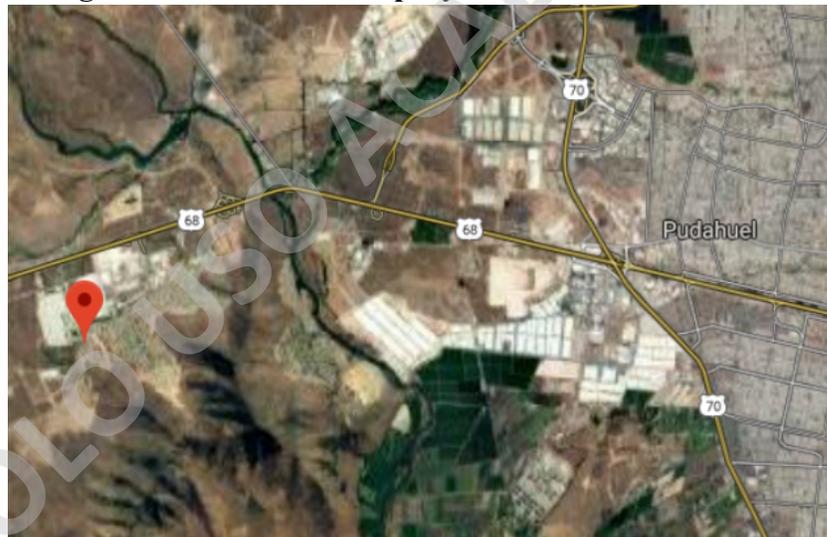
3 Descripción del proyecto de estudio y de la actualización

3.1 Proyecto de estudio

3.1.1 Ubicación

Luego de haber consultado a profesionales del área, profesores y también en algunas fuentes digitales por información de proyectos habitacionales o memorias técnicas de redes de alumbrado público soterradas, se han logrado recopilar antecedentes de cuatro proyectos, pero para efectos de esta investigación se considerará viable la utilización de un proyecto habitacional localizado al poniente de la comuna de Pudahuel, Región Metropolitana, como se puede ver en la Fig. 21, en la cual la ubicación del proyecto se indica con un marcador rojo.

Fig. 21. Localización del proyecto viable de actualizar.



Fuente: Google maps, 2019.

3.1.2 Caracterización

Este proyecto considera la construcción de las redes de distribución eléctricas de baja tensión subterráneas (BTs) y las redes de alumbrado público que se compone de la instalación de 17 luminarias, de las cuales 13 corresponden a luminarias Milenium con lámparas de 100 y 150 watts Na para lugares de tránsito peatonal y vehicular, y 4 Calima I de 100 watts HM para los sectores de áreas verdes. Estas tendrán la nomenclatura de la

Fig. 22 y se puede apreciar su distribución en planta en la Fig. 23, en donde se muestra además de las luminarias, las canalizaciones en color azul.

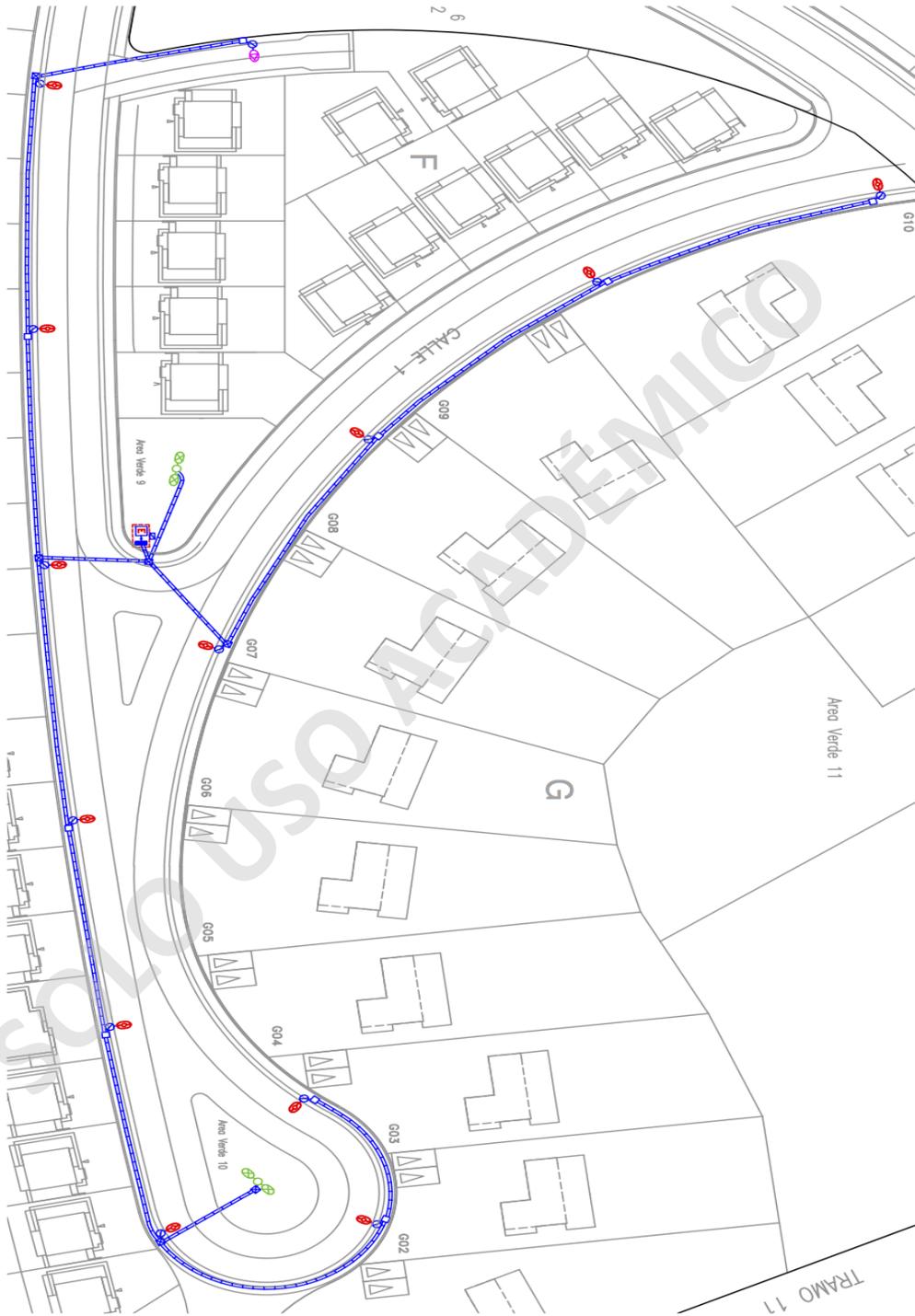
Con respecto a la postación esta será en postes rectos de perfil cuadrado de 100*100*5mm, 8 metros útil, siendo fijados una fundación de hormigón con su canastillo de anclaje. Mientras que en áreas verdes se proyectan postes perfil circular de 75 mm de diámetro y 5,5 metros altura útil, en su respectiva fundación y canastillo de anclaje.

Fig. 22. Nomenclatura luminarias.

-  LUMINARIA CALIMA I DE 100W H.M.
-  LUMINARIA SL-250 DE MILENIUM DE 150w Na
-  LUMINARIA SL-250 DE MILENIUM DE 100w Na

SOLO USO ACADÉMICO

Fig. 23. Distribución de luminarias.



3.1.3 Imágenes del proyecto

Fig. 24. Imágenes proyecto alumbrado público, comuna de Pudahuel



Fuente: Elaboración propia, 2019.

3.1.4 Valores del proyecto

3.1.4.1 Construcción

Tabla 3. Valores del proyecto tradicional.

Tipo	Deconstrucción	Construcción
Proyecto tradicional Na-HM	UF 15,93	UF 1.156,77

En la Tabla 3 se puede observar dos conceptos de precio o valor, uno es la deconstrucción el cual será fundamental para realizar una modelación financiera acertada y real. Por otro lado, se encuentra el precio de la construcción del sistema y de las redes de distribución, este ultimo se conforma de varias obras que se detallan en la Tabla 4.

Tabla 4. Detalle de precios de construcción.

TRADICIONAL	UF
O.Civiles Red B.T	UF 639,82
Alumbrado: OC	UF 146,22
Alumbrado: Equipos	UF 86,09
Alumbrado: Postes	UF 138,57
Alumbrado: Otros	UF 140,87
Alumbrado: Empalme	UF 5,20
	UF 1.156,77

3.1.4.2 Operación

Como se ha mencionado anteriormente, los sistemas de alumbrado y distribución tradicionales están conectados a la red de generación del sistema eléctrico nacional y por ende están sujetos al pago de una facturación mensual por el uso de energía eléctrica. En la Tabla 5 se detallan los valores en pesos y en UF para el cálculo de la tarifa residencial de la Ecuación 1.

Tabla 5 . Valores en CLP y en UF para el calculo de la tarifa residencial BTs.

Moneda	Administración por servicio (Costo fijo Mensual)	Valor de distribución x kWh	Precio x kWh
CLP	\$ 610,17	\$ 12,207	\$ 116,52
UF	UF 0,02	UF 0,0004	UF 0,004

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Valor por concepto de operación del sistema tradicional.

Tipo	Cantidad	Horas uso diario (h)	kW diario	kWh diarios	kWh mensuales	A pagar mensualmente por electricidad	A pagar anualmente por electricidad
Haluro 100W	4	11	0,1	1,1	132	UF 0,62	UF 7,39
Sodio 150W	12	11	0,15	1,65	594	UF 2,77	UF 33,25
Sodio 100W	1	11	0,1	1,1	33	UF 0,15	UF 1,85
				TOTALES	769,626	UF 3,56	UF 42,76

Fuente: Elaboración propia.

El valor total en UF del proyecto tradicional por concepto de operación del servicio eléctrico, como se puede apreciar en la Tabla 6, es de 42,76 UF anuales, a los cuales se le sumará, en algunos periodos, los valores de mantenimiento que se expresan en la Tabla 7. que hacen referencia al reemplazo de las lámparas al momento de cumplir su vida útil.

3.1.4.3 Mantenimiento

Tabla 7. Valores por concepto de mantenimiento del sistema tradicional.

Concepto	Vida util	Valor	Uso diario	Noches funcionamiento	Vida util	Mano de obra	Mantención total proyecto
Lámpara Haluro 100W	12.000 horas	UF 0,34	11 horas	1091	3 años	UF 1,27	UF 6,45
Lámpara Sodio 150W	24.000 horas	UF 0,21	11 horas	2181	6 años	UF 1,27	UF 17,79
Lámpara Sodio 100W	24.000 horas	UF 0,22	11 horas	2181	6 años	UF 1,27	UF 1,49

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la Tabla 7. el sistema de alumbrado público del proyecto tradicional presenta valores de mantención para todos los tipos de luminarias que afectarán la modelación financiera, ya que las lámparas de Haluro 100W, Sodio 150W y Sodio 100W, se deben cambiar cada 3, 6 y 6 años, respectivamente.

3.1.4.4 Depreciación

Tabla 8. Depreciación de los elementos del sistema tradicional.

TRADICIONAL	UF	Depreciación (Años)	Dep. Anual	Residual al año 3 (Año de recambio)
O.Civiles Red B.T	UF 639,82	25	UF 25,59	-
Alumbrado: OC	UF 146,22	25	UF 5,85	-
Alumbrado: Equipos	UF 86,09	10	UF 8,61	UF 60,26
Alumbrado: Postes	UF 138,57	80	UF 1,73	UF 133,37
Alumbrado: Otros	UF 140,87	10	UF 14,09	-
Alumbrado: Empalme	UF 5,20	10	UF 0,52	-
	UF 1.156,77		UF 56,39	UF 193,64

Fuente: Elaboración propia.

3.1.5 Emisiones de CO₂

Estos sistemas se caracterizan por su alta generación de gases de efecto invernadero, principalmente de CO₂.

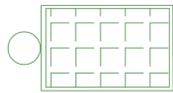
Según la Ecuación 3, la totalidad de las luminarias que operan en este proyecto consumen anualmente 9.235,515 kWh, los que producen 3.867 kg de CO₂ equivalentes al año.

3.2 Proyecto de actualización

3.2.1 Caracterización

El proyecto de actualización contempla la construcción de un sistema de alumbrado público fotovoltaico de luminarias integradas. La propuesta de este nuevo proyecto se basa en la instalación de 17 luminarias fotovoltaicas LED de 100W. La distribución de estas será de acuerdo con la Fig. 26 y su nomenclatura será según la Fig. 25.

Fig. 25. Nomenclatura luminarias solares.



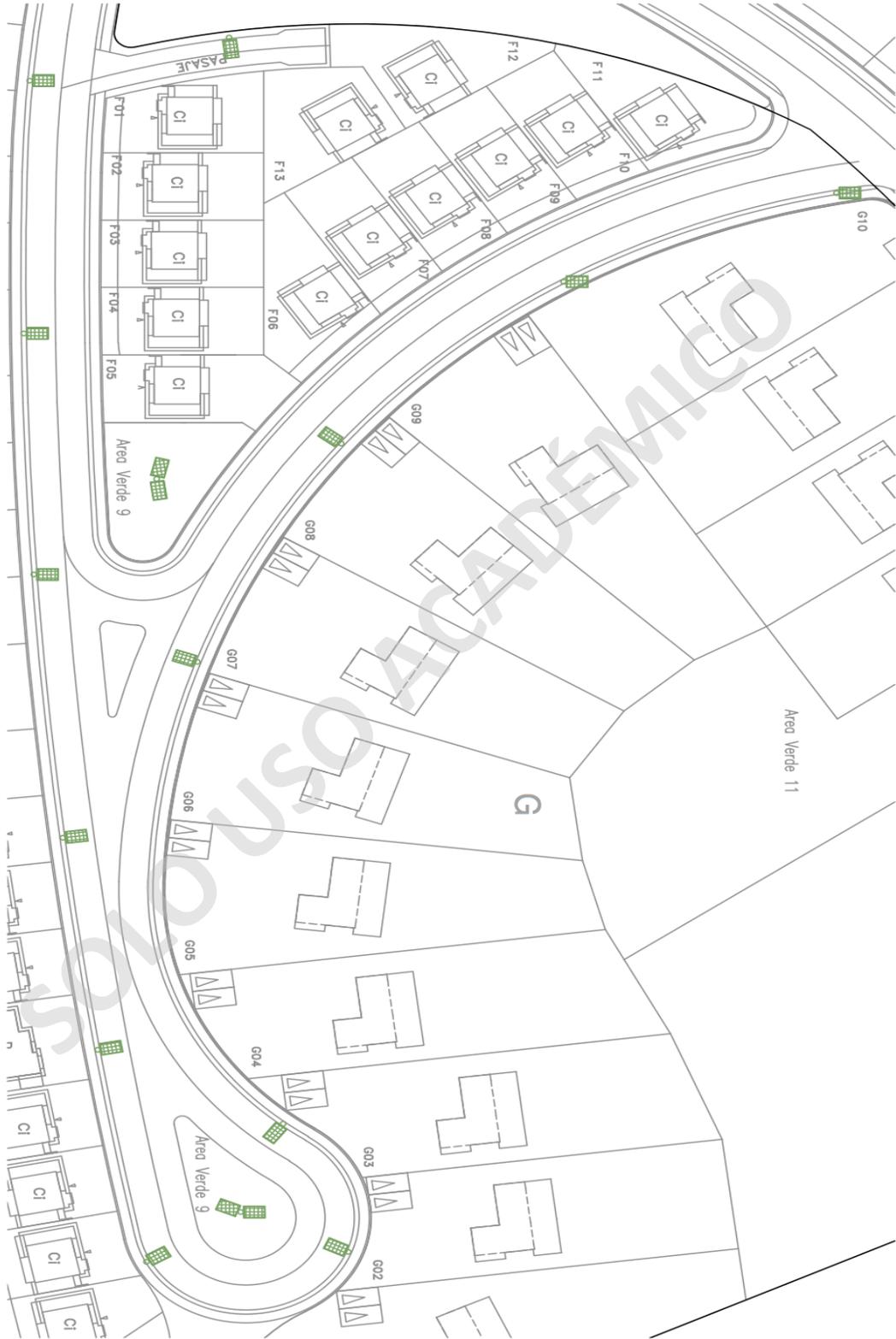
LUMINARIA FOTOVOLTAICA LED 100W
C/POSTE GALVANIZADO 6M

Fuente: Elaboración propia.

La instalación de las luminarias se proyecta realizar mediante la fijación de estas en los postes existentes del proyecto. Del mismo modo es importante mencionar que este tipo de luminarias es de rápida y fácil instalación, ya que no requiere de la conexión cableada a la red de distribución, ni entre los componentes de ella.

En el caso de considerarse la deconstrucción total del sistema tradicional la ejecución de la construcción de las luminarias solares se proyecta realizar mediante la fijación de estas en postes galvanizados de 6 metros, los cuales tendrán su respectiva fundación y canastillo de anclaje.

Fig. 26. Distribución luminarias solares.



3.2.2 Valores del proyecto de actualización

3.2.2.1 Instalación

Tabla 9. Precio instalación luminarias solares 100W.

Tipo	Precio equipo	Precio de instalación	Costo unitario	Total proyecto
Luminaria solar 100W	UF 15,55	UF 2,17	UF 17,72	UF 301,27

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.2 Mantenimiento

Tabla 10. Valor por concepto de mantenimiento del sistema de actualización.

Concepto	Vida util (horas)	Valor	Uso diario	Noches funcionamiento	Vida util (años)	M.O (Incluye limpieza panel)	Total
LED SOLAR Y BATERIA	55000	UF 0,69	11 horas	5000	13,7	UF 1,27	UF 33,26

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.3 Depreciación

Tabla 11. Depreciación de luminaria solar.

ACTUALIZACIÓN	Precio	Depreciación (Años)	Dep. Anual	Residual al año 20
Equipos	UF 264,92	25	UF 10,60	UF 52,98

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3 Valores del proyecto de actualización: deconstrucción total del sistema tradicional.

En el caso de ejecutarse la deconstrucción total del sistema tradicional para la posterior construcción del sistema de actualización, los valores para tener en consideración a la hora de modelar económicamente la propuesta serán los siguientes:

3.2.3.1 Construcción

Tabla 12. Valor del proyecto de actualización.

Tipo	Valor unitario equipo	Valor unitario instalación	Valor unitario total	Total proyecto
Luminaria solar 100W	UF 15,80	UF 8,70	UF 24,50	UF 416,48

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3.2 Mantenimiento

Tabla 13. Valores por concepto de mantenimiento del sistema de actualización.

Concepto	Vida útil (horas)	Valor	Uso diario	Noches funcionamiento	Vida útil (años)	M.O (Incluye limpieza panel)	Total
LED SOLAR Y BATERIA	55000	UF 0,69	11 horas	5000	13,7	UF 1,27	UF 33,26

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3.3 Depreciación

Tabla 14. Depreciación de los elementos del sistema de actualización.

ACTUALIZACIÓN	UF	Depreciación (Años)	Dep. Anual	Residual al año 20
Equipos	UF 268,61	25	UF 10,74	UF 53,72
OC:Postes	UF 119,00	80	UF 1,49	UF 89,25
OC: Otros	UF 28,86	25	UF 1,15	
	UF 416,48		UF 13,39	UF 142,97

Fuente: Elaboración propia.

Capítulo IV

4 Evaluación económica del proyecto de actualización

4.1 Flujo de caja y resultado de los criterios de evaluación.

Tabla 15. Flujo de caja para actualización sistema de alumbrado público.

TASA	3,54%					
	0	1	2	3	4	5
INVERSIÓN	-UF 301,88					
VENTA SISTEMA TRADICIONAL	UF 60,26					
AHORROS		UF 31,17	UF 31,17	UF 37,62	UF 31,17	UF 31,17
DECONSTRUCCIÓN	-UF 15,93					
VENTA ACTUALIZACIÓN						
FLUJO	-UF 257,55	UF 31,17	UF 31,17	UF 37,62	UF 31,17	UF 31,17
FLUJO ACUMULADO	-UF 257,55	-UF 226,38	-UF 195,20	-UF 157,58	-UF 126,41	-UF 95,24
VALOR ACTUAL	-UF 248,74	UF 15,32	UF 10,27	UF 9,32	UF 6,19	UF 5,17
	6	7	8	9	10	11
	UF 56,90	UF 31,17	UF 31,17	UF 37,62	UF 31,17	UF 31,17
	UF 56,90	UF 31,17	UF 31,17	UF 37,62	UF 31,17	UF 31,17
	-UF 38,34	-UF 7,16	UF 24,01	UF 61,63	UF 92,80	UF 123,98
	UF 8,09	UF 3,88	UF 3,45	UF 3,75	UF 2,82	UF 2,59
	12	13	14	15	16	17
	UF 56,90	UF 31,17	-UF 2,08	UF 37,62	UF 31,17	UF 31,17
	UF 56,90	UF 31,17	-UF 2,08	UF 37,62	UF 31,17	UF 31,17
	UF 180,87	UF 212,05	UF 209,96	UF 247,58	UF 278,76	UF 309,93
	UF 4,36	UF 2,22	-UF 0,14	UF 2,35	UF 1,83	UF 1,73
	18	19	20			
	UF 56,90	UF 31,17	UF 31,17			
			-UF 36,97			
			UF 52,98			
	UF 56,90	UF 31,17	UF 47,19			
	UF 366,83	UF 398,00	UF 445,19			
	UF 2,99	UF 1,56	UF 2,24			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16. Resultados de criterios de evaluación.

VAN	UF 237,38
TIR	12,07%
PAYBACK	7,02

Fuente: Elaboración propia.

SOLO USO ACADÉMICO

4.1.1 Proyecciones en base a cambios en el precio de la energía.

4.1.1.1 Pesimista

Tabla 17. Flujo de caja proyectado pesimista.

TASA	3,54%					
	0	1	2	3	4	5
INVERSIÓN	-UF 301,88					
VENTA SISTEMA TRADICIONAL	UF 60,26					
AHORROS		UF 29,82	UF 29,82	UF 36,27	UF 29,82	UF 29,82
DECONSTRUCCIÓN	-UF 15,93					
VENTA ACTUALIZACIÓN						
FLUJO	-UF 257,55	UF 29,82	UF 29,82	UF 36,27	UF 29,82	UF 29,82
FLUJO ACUMULADO	-UF 257,55	-UF 227,73	-UF 197,91	-UF 161,64	-UF 131,81	-UF 101,99
VALOR ACTUAL	-UF 248,74	UF 14,65	UF 9,82	UF 8,99	UF 5,92	UF 4,94
	6	7	8	9	10	11
	UF 55,55	UF 29,82	UF 29,82	UF 36,27	UF 29,82	UF 29,82
	UF 55,55	UF 29,82	UF 29,82	UF 36,27	UF 29,82	UF 29,82
	-UF 46,44	-UF 16,62	UF 13,20	UF 49,47	UF 79,29	UF 109,11
	UF 7,90	UF 3,71	UF 3,30	UF 3,61	UF 2,70	UF 2,48
	12	13	14	15	16	17
	UF 55,55	UF 29,82	-UF 3,43	UF 36,27	UF 29,82	UF 29,82
	UF 55,55	UF 29,82	-UF 3,43	UF 36,27	UF 29,82	UF 29,82
	UF 164,66	UF 194,48	UF 191,05	UF 227,32	UF 257,14	UF 286,96
	UF 4,26	UF 2,12	-UF 0,23	UF 2,26	UF 1,75	UF 1,65
	18	19	20			
	UF 55,55	UF 29,82	UF 29,82			
			-UF 36,97			
			UF 52,98			
	UF 55,55	UF 29,82	UF 45,84			
	UF 342,51	UF 372,33	UF 418,17			
	UF 2,92	UF 1,49	UF 2,18			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18. Resultados de criterios de evaluación proyectada pesimista.

VAN	UF 218,24
TIR	11,46%
PAYBACK	7,34

Fuente: Elaboración propia.

SOLO USO ACADÉMICO

4.1.1.2 Normal

Tabla 19. Flujo de caja proyectado normal.

TASA	3,54%					
	0	1	2	3	4	5
INVERSIÓN	-UF 301,88					
VENTA SISTEMA TRADICIONAL	UF 60,26					
AHORROS		UF 31,39	UF 31,39	UF 37,83	UF 31,39	UF 31,39
DECONSTRUCCIÓN	-UF 15,93					
VENTA ACTUALIZACIÓN						
FLUJO	-UF 257,55	UF 31,39	UF 31,39	UF 37,83	UF 31,39	UF 31,39
FLUJO ACUMULADO	-UF 257,55	-UF 226,16	-UF 194,78	-UF 156,94	-UF 125,55	-UF 94,17
VALOR ACTUAL	-UF 248,74	UF 15,42	UF 10,34	UF 9,38	UF 6,23	UF 5,20
	6	7	8	9	10	11
	UF 57,11	UF 31,39	UF 31,39	UF 37,83	UF 31,39	UF 31,39
	UF 57,11	UF 31,39	UF 31,39	UF 37,83	UF 31,39	UF 31,39
	-UF 37,06	-UF 5,67	UF 25,72	UF 63,55	UF 94,94	UF 126,33
	UF 8,12	UF 3,91	UF 3,47	UF 3,77	UF 2,84	UF 2,61
	12	13	14	15	16	17
	UF 57,11	UF 31,39	-UF 1,87	UF 37,83	UF 31,39	UF 31,39
	UF 57,11	UF 31,39	-UF 1,87	UF 37,83	UF 31,39	UF 31,39
	UF 183,44	UF 214,83	UF 212,96	UF 250,79	UF 282,18	UF 313,57
	UF 4,38	UF 2,24	-UF 0,12	UF 2,36	UF 1,84	UF 1,74
	18	19	20			
	UF 57,11	UF 31,39	UF 31,39			
			-UF 36,97			
			UF 52,98			
	UF 57,11	UF 31,39	UF 47,40			
	UF 370,68	UF 402,06	UF 449,47			
	UF 3,00	UF 1,57	UF 2,25			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20. Resultados de criterios de evaluación proyectada normal.

VAN	UF 240,40
TIR	12,17%
PAYBACK	6,98

Fuente: Elaboración propia.

SOLO USO ACADÉMICO

4.1.1.3 Optimista

Tabla 21. Flujo de caja proyectado normal.

TASA	3,54%					
	0	1	2	3	4	5
INVERSIÓN	-UF 301,88					
VENTA SISTEMA TRADICIONAL	UF 60,26					
AHORROS		UF 32,70	UF 32,70	UF 39,15	UF 32,70	UF 32,70
DECONSTRUCCIÓN	-UF 15,93					
VENTA ACTUALIZACIÓN						
FLUJO	-UF 257,55	UF 32,70	UF 32,70	UF 39,15	UF 32,70	UF 32,70
FLUJO ACUMULADO	-UF 257,55	-UF 224,85	-UF 192,15	-UF 153,00	-UF 120,30	-UF 87,60
VALOR ACTUAL	-UF 248,74	UF 16,07	UF 10,77	UF 9,70	UF 6,49	UF 5,42
	6	7	8	9	10	11
	UF 58,42	UF 32,70	UF 32,70	UF 39,15	UF 32,70	UF 32,70
	UF 58,42	UF 32,70	UF 32,70	UF 39,15	UF 32,70	UF 32,70
	-UF 29,18	UF 3,52	UF 36,22	UF 75,37	UF 108,07	UF 140,77
	UF 8,30	UF 4,07	UF 3,62	UF 3,90	UF 2,96	UF 2,72
	12	13	14	15	16	17
	UF 58,42	UF 32,70	-UF 0,56	UF 39,15	UF 32,70	UF 32,70
	UF 58,42	UF 32,70	-UF 0,56	UF 39,15	UF 32,70	UF 32,70
	UF 199,19	UF 231,89	UF 231,33	UF 270,48	UF 303,18	UF 335,88
	UF 4,48	UF 2,33	-UF 0,04	UF 2,44	UF 1,92	UF 1,81
	18	19	20			
	UF 58,42	UF 32,70	UF 32,70			
			-UF 36,97			
			UF 52,98			
	UF 58,42	UF 32,70	UF 48,71			
	UF 394,30	UF 427,00	UF 475,72			
	UF 3,07	UF 1,63	UF 2,32			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22. Resultados de criterios de evaluación proyectada normal.

VAN	UF 258,99
TIR	12,77%
PAYBACK	6,70

Fuente: Elaboración propia.

SOLO USO ACADÉMICO

4.2 Flujo de caja y resultados al deconstruir sistema tradicional.

Tabla 23. Flujo de caja proyecto de actualización.

TASA	3,54%					
	0	1	2	3	4	5
INVERSIÓN	-UF 416,48					
VENTA SISTEMA TRADICIONAL	UF 193,64					
AHORROS		UF 31,17	UF 31,17	UF 37,62	UF 31,17	UF 31,17
DECONSTRUCCIÓN	CLF -123,22					
VENTA ACTUALIZACIÓN						
FLUJO	-UF 346,06	UF 31,17	UF 31,17	UF 37,62	UF 31,17	UF 31,17
FLUJO ACUMULADO	-UF 346,06	-UF 314,89	-UF 283,71	-UF 246,09	-UF 214,92	-UF 183,75
VALOR ACTUAL	-UF 334,23	UF 15,32	UF 10,27	UF 9,32	UF 6,19	UF 5,17
	6	7	8	9	10	11
	UF 56,90	UF 31,17	UF 31,17	UF 37,62	UF 31,17	UF 31,17
	UF 56,90	UF 31,17	UF 31,17	UF 37,62	UF 31,17	UF 31,17
	-UF 126,85	-UF 95,68	-UF 64,50	-UF 26,88	UF 4,29	UF 35,46
	UF 8,09	UF 3,88	UF 3,45	UF 3,75	UF 2,82	UF 2,59
	12	13	14	15	16	17
	UF 56,90	UF 31,17	-UF 2,08	UF 37,62	UF 31,17	UF 31,17
	UF 56,90	UF 31,17	-UF 2,08	UF 37,62	UF 31,17	UF 31,17
	UF 92,36	UF 123,54	UF 121,45	UF 159,07	UF 190,25	UF 221,42
	UF 4,36	UF 2,22	-UF 0,14	UF 2,35	UF 1,83	UF 1,73
	18	19	20			
	UF 56,90	UF 31,17	UF 31,17			
			-UF 46,32			
			UF 142,97			
	UF 56,90	UF 31,17	UF 127,83			
	UF 278,32	UF 309,49	UF 437,32			
	UF 2,99	UF 1,56	UF 6,08			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24. Resultados de criterios de evaluación.

VAN	UF 189,08
TIR	8,45%
PAYBACK	9,86

Fuente: Elaboración propia.

SOLO USO ACADÉMICO

4.2.1 Proyecciones en base a cambios en el precio de la energía.

4.2.1.1 Pesimista

Tabla 25. Flujo de caja proyectado pesimista.

TASA	3,54%					
	0	1	2	3	4	5
INVERSIÓN	-UF 416,48					
VENTA SISTEMA TRADICIONAL	UF 193,64					
AHORROS		UF 28,51	UF 28,51	UF 34,96	UF 28,51	UF 28,51
DECONSTRUCCIÓN	-UF 123,22					
VENTA ACTUALIZACIÓN						
FLUJO	-UF 346,06	UF 28,51	UF 28,51	UF 34,96	UF 28,51	UF 28,51
FLUJO ACUMULADO	-UF 346,06	-UF 317,55	-UF 289,03	-UF 254,07	-UF 225,56	-UF 197,04
VALOR ACTUAL	-UF 334,23	UF 14,01	UF 9,39	UF 8,66	UF 5,66	UF 4,72
	6	7	8	9	10	11
	UF 54,24	UF 28,51	UF 28,51	UF 34,96	UF 28,51	UF 28,51
	UF 54,24	UF 28,51	UF 28,51	UF 34,96	UF 28,51	UF 28,51
	-UF 142,81	-UF 114,29	-UF 85,78	-UF 50,82	-UF 22,30	UF 6,21
	UF 7,71	UF 3,55	UF 3,16	UF 3,48	UF 2,58	UF 2,37
	12	13	14	15	16	17
	UF 54,24	UF 28,51	-UF 4,74	UF 34,96	UF 28,51	UF 28,51
	UF 54,24	UF 28,51	-UF 4,74	UF 34,96	UF 28,51	UF 28,51
	UF 60,45	UF 88,96	UF 84,22	UF 119,18	UF 147,69	UF 176,21
	UF 4,16	UF 2,03	-UF 0,32	UF 2,18	UF 1,67	UF 1,58
	18	19	20			
	UF 54,24	UF 28,51	UF 28,51			
			-UF 46,32			
			UF 142,97			
	UF 54,24	UF 28,51	UF 125,17			
	UF 230,45	UF 258,96	UF 384,13			
	UF 2,85	UF 1,42	UF 5,95			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26. Resultados de criterios de evaluación proyectada pesimista.

VAN	UF 151,42
TIR	7,52%
PAYBACK	10,78

Fuente: Elaboración propia.

SOLO USO ACADÉMICO

4.2.1.2 Normal

Tabla 27. Flujo de caja proyectado normal.

TASA	3,54%					
	0	1	2	3	4	5
INVERSIÓN	-UF 416,48					
VENTA SISTEMA TRADICIONAL	UF 193,64					
AHORROS		UF 31,60	UF 31,60	UF 38,05	UF 31,60	UF 31,60
DECONSTRUCCIÓN	-UF 123,22					
VENTA ACTUALIZACIÓN						
FLUJO	-UF 346,06	UF 31,60	UF 31,60	UF 38,05	UF 31,60	UF 31,60
FLUJO ACUMULADO	-UF 346,06	-UF 314,46	-UF 282,86	-UF 244,81	-UF 213,21	-UF 181,60
VALOR ACTUAL	-UF 334,23	UF 15,53	UF 10,41	UF 9,43	UF 6,28	UF 5,24

	6	7	8	9	10	11
	UF 57,33	UF 31,60	UF 31,60	UF 38,05	UF 31,60	UF 31,60
	UF 57,33	UF 31,60	UF 31,60	UF 38,05	UF 31,60	UF 31,60
	-UF 124,28	-UF 92,68	-UF 61,07	-UF 23,02	UF 8,58	UF 40,18
	UF 8,15	UF 3,93	UF 3,50	UF 3,79	UF 2,86	UF 2,63

	12	13	14	15	16	17
	UF 57,33	UF 31,60	-UF 1,65	UF 38,05	UF 31,60	UF 31,60
	UF 57,33	UF 31,60	-UF 1,65	UF 38,05	UF 31,60	UF 31,60
	UF 97,51	UF 129,11	UF 127,45	UF 165,50	UF 197,10	UF 228,71
	UF 4,40	UF 2,25	-UF 0,11	UF 2,37	UF 1,86	UF 1,75

	18	19	20
	UF 57,33	UF 31,60	UF 31,60
			-UF 46,32
			UF 142,97
	UF 57,33	UF 31,60	UF 128,25
	UF 286,03	UF 317,64	UF 445,89
	UF 3,01	UF 1,58	UF 6,10

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28. Resultados de criterios de evaluación proyectado normal.

VAN	UF 195,15
TIR	8,60%
PAYBACK	9,73

Fuente: Elaboración propia

SOLO USO ACADÉMICO

4.2.1.3 Optimista

Tabla 29. Flujo de caja proyectado optimista.

TASA	3,54%					
	0	1	2	3	4	5
INVERSIÓN	-UF 416,48					
VENTA SISTEMA TRADICIONAL	UF 193,64					
AHORROS		UF 34,28	UF 34,28	UF 40,73	UF 34,28	UF 34,28
DECONSTRUCCIÓN	-UF 123,22					
VENTA ACTUALIZACIÓN						
FLUJO	-UF 346,06	UF 34,28	UF 34,28	UF 40,73	UF 34,28	UF 34,28
FLUJO ACUMULADO	-UF 346,06	-UF 311,78	-UF 277,50	-UF 236,77	-UF 202,49	-UF 168,21
VALOR ACTUAL	-UF 334,23	UF 16,84	UF 11,29	UF 10,09	UF 6,81	UF 5,68
	6	7	8	9	10	11
	UF 60,01	UF 34,28	UF 34,28	UF 40,73	UF 34,28	UF 34,28
	UF 60,01	UF 34,28	UF 34,28	UF 40,73	UF 34,28	UF 34,28
	-UF 108,21	-UF 73,92	-UF 39,64	UF 1,08	UF 35,36	UF 69,65
	UF 8,53	UF 4,27	UF 3,79	UF 4,06	UF 3,11	UF 2,85
	12	13	14	15	16	17
	UF 60,01	UF 34,28	UF 1,02	UF 40,73	UF 34,28	UF 34,28
	UF 60,01	UF 34,28	UF 1,02	UF 40,73	UF 34,28	UF 34,28
	UF 129,65	UF 163,93	UF 164,95	UF 205,68	UF 239,96	UF 274,24
	UF 4,60	UF 2,44	UF 0,07	UF 2,54	UF 2,01	UF 1,90
	18	19	20			
	UF 60,01	UF 34,28	UF 34,28			
			-UF 46,32			
			UF 142,97			
	UF 60,01	UF 34,28	UF 130,93			
	UF 334,25	UF 368,53	UF 499,46			
	UF 3,15	UF 1,71	UF 6,22			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30. Resultados de criterios de evaluación proyectada optimista.

VAN	UF 223,08
TIR	9,52%
PAYBACK	8,97

Fuente: Elaboración propia

SOLO USO ACADÉMICO

4.3 Resumen de resultados

Tabla 31. Resumen de resultados.

	Caso recambio de luminarias				Caso deconstrucción total			
	Real	Proyecciones			Real	Proyecciones		
		Optimista	Normal	Pesimista		Optimista	Normal	Pesimista
VAN	UF 237,38	UF 258,99	UF 240,4	UF 218,24	UF 189,08	UF 223,08	UF 195,15	UF 151,42
TIR	12,07%	12,77%	12,17%	11,46%	8,45%	9,52%	8,60%	7,52%
PAYBACK	7,02	6,7	6,98	7,34	9,68	8,97	9,73	10,78

Fuente: Elaboración propia.

SOLO USO ACADÉMICO

Capítulo V

5 Análisis de resultados

Para poder determinar la conveniencia de la actualización de sistemas de alumbrado público y cumplir con parte de los objetivos de esta investigación, es que se ha realizado una comparación técnica y también modelaciones económicas expuestas junto con sus respectivos resultados en los apartados 2.4 y 4. A la hora de analizar estos resultados es posible determinar que:

Desde el punto de vista técnico la Tabla 1 muestra los criterios lumínicos de las lámparas de tipo LED SOLAR, HM y Sodio AP, evidenciando que las de tipo LED SOLAR de 100W presentan mejor eficiencia lumínica que las otras opciones y si bien es superada de manera ínfima en flujo luminoso por las de Sodio AP de 150W, esta supera considerablemente a las lámparas de HM de 100W y de Sodio AP de 100W.

La diferencia de flujo luminoso que tienen las lámparas LED SOLAR de 100W con respecto a las lámparas de Sodio AP de 150W no significa una desventaja. Esto se puede justificar debido a que las luminarias de Sodio AP requieren de 50W más de potencia para generar casi el mismo flujo luminoso que las mencionadas en primera instancia.

Por otro lado, se puede realizar un análisis comparativo, basados de otro factor importante como lo es la vida útil. La Tabla 2 expone la vida útil de cada luminaria y por lo tanto nos señala cada cuanto tiempo es necesario un recambio de luminaria. Considerando esto las lámparas SOLAR LED continúan siendo convenientes, ya que, en comparación con las otras luminarias de HM y Sodio AP, tienen un 79% y un 57%, más de vida útil, respectivamente.

Este análisis técnico también nos permite establecer el beneficio medioambiental de esta propuesta, ya que la aplicación de la tecnología solar fotovoltaica en sistemas de alumbrado público consigue disminuir la emisión anual de cerca de 4 toneladas de dióxido de carbono.

Desde el punto de vista económico se tienen dos casos de análisis de acuerdo con el apartado 4 y en el resumen de la Tabla 31.

En el primer caso, como detalla el apartado 4.1, si la actualización del proyecto se realizará en los postes ya existentes, se reducirían los valores de deconstrucción y también el precio de venta ambos sistemas, por ende, es posible precisar lo siguiente.

Si la inversión se realizará en estos momentos los resultados nos señalan que el proyecto es totalmente rentable, ya que presenta una TIR de 12,07%, que supera

considerablemente a la tasa de descuento exigida al proyecto, y una creación de valor de UF237,38, recuperando la inversión al séptimo año de operación. Sin lugar a duda este escenario es el ideal tanto para el o los inversores, como también para la empresa a cargo de la ejecución, debido a que la reutilización de los postes existentes trae consigo beneficios monetarios al evitar la compra de postes nuevos y también beneficios, por la simpleza de la instalación, en cuanto a los tiempos y procesos de ejecución.

De acuerdo con las proyecciones del apartado 4.1.1 por una parte nos encontraremos con la una situación optimista en la cual un valor actual neto de UF258,99 y una TIR de 12,77%, nos indican que en la inversión es rentable en su totalidad y en este caso la inversión se recuperaría al termino del sexto año de operación.

Un escenario proyectado normal continuaría reflejando el beneficio de esta inversión, ya que, en este caso un valor actual neto de UF240,4, una TIR de 12,17%, sumado que la recuperación de la inversión se lograría al término del sexto año, dan a conocer una alta creación de valor y un cumplimiento, y superación de la rentabilidad exigida.

Del mismo modo, para las proyecciones de este apartado, está la situación pesimista, en donde las cifras del VAN, de la TIR y del PAYBACK, nos reflejan que la inversión continuaría siendo rentable al crear valor por cerca de UF219, cumpliendo y superando, al igual que en las otras proyecciones, la tasa descuento exigida y finalmente teniendo un periodo de recuperación de 7,34 años.

En el segundo caso de la evaluación realizada en el apartado 4.2, en donde se considera la deconstrucción total del sistema de alumbrado tradicional, al analizar los resultados es posible señalar que:

Si la inversión en la actualización se realizará al tercer periodo de operación del sistema tradicional esta presentaría una tasa interna de retorno de 8,45%, lo cual significaría que se alcanza y se supera la tasa exigida en un principio y por lo tanto se obtiene una rentabilidad 4,91 puntos porcentuales sobre la esperada por el inversionista, logrando una creación de valor de UF190. Esta cifra resulta considerablemente mayor al límite de aceptación mínimo de una inversión en donde el VAN es igual a cero y, por ende, la inversión resulta rentable. Finalmente se puede determinar que la inversión en este proyecto de actualización se recuperaría al término del noveno año.

Si consideramos las modelaciones económicas basadas en las proyecciones de la Fig. 16, es posible determinar que en una situación optimista la inversión es totalmente rentable ya que se crea valor por alrededor de UF233, pudiendo cumplir con el límite de aceptación mínimo trabajando hasta con una tasa de un 9,52%. En este escenario la inversión se recuperaría al termino del octavo año de evaluación. (Apartado 4.2.1.3)

Para el escenario proyectado normal la inversión también resultaría rentable, ya que presentaría una creación de valor por UF195,15, cifra que hasta con una tasa exigida de

un 8,6% cumpliría con el límite de aceptación. En este caso la inversión se recuperaría al término del noveno periodo. (Apartado 4.2.1.2)

Ahora bien, el escenario pesimista la inversión continuaría siendo rentable, ya que crearía valor por UF151,42, siendo posible exigirle una tasa de hasta 7,52% y aun así cumpliría con el límite de aceptación mínimo. La recuperación de la inversión en este caso se completaría al término del décimo año. (Apartado 4.2.1.1)

Cabe destacar que, si bien los escenarios optimista, normal y pesimista son proyecciones basadas en variaciones en el precio de la energía, no se abordaron otras variables como el precio de la tecnología de iluminación fotovoltaica en el futuro, o bien, la variación del precio de la mano de obra o de los materiales para construir. Estas variables podrían ser importantes consideraciones para el desarrollo de investigaciones futuras.

SOLO USO ACADÉMICO

Capítulo VI

6 Conclusiones

Realizada la evaluación técnico económica para la actualización de un proyecto de alumbrado público es posible concluir lo siguiente:

- Se logró definir, mediante la consulta a distintos profesionales del área, un proyecto de alumbrado público soterrado viable de actualizar en la comuna de Pudahuel. En el cual, debido a la existencia de postes metálicos, fue posible evaluar en dos situaciones. La primera de ellas se realizó teniendo en cuenta la instalación de las nuevas luminarias sobre los postes existentes, mientras que la segunda opción fue renovar completamente el sistema, sin reutilizar nada. Resultando ser considerablemente más conveniente la reutilización de los postes, ya que, la evaluación económica de esta opción presentó un VAN de UF237,38, una TIR de 12,07% y un periodo de recuperación de la inversión de 7 años.
- Se estableció una actualización del sistema de alumbrado público utilizando luminarias led de tipo solar fotovoltaica. Esta nueva propuesta de luminarias resultó técnicamente superior a las tradicionales, ya sea por sus características lumínicas, como también porque sus fuentes de luz presentan, en comparación con las de haluro metal y sodio de alta presión, un 57% y un 79% más de vida útil, respectivamente. Otro aspecto, no menor, es que al utilizar sistemas de iluminación fotovoltaicos se logra evitar la emisión de casi 4 toneladas de dióxido de carbono al año.
- Se logró contrastar técnica y económicamente la actualización de sistemas de alumbrado público tradicionales, logrando demostrar las conveniencias de ejecutar la construcción de sistemas fotovoltaicos para iluminación pública en las condiciones actuales y también en las situaciones futuras que puedan presentar variaciones en el precio de la energía, ya que, tanto en el escenario pesimista, como en el normal proyectado y en el optimista, la actualización demostró crear valor y cumplir con la tasa de descuento exigida.
- Si bien es conveniente de ejecutar en términos técnicos y financieros, existen otros factores que no se pueden dejar de mencionar como consideración a la hora de tomar una decisión de inversión en este tipo de proyectos. Una de ellas es que los sistemas fotovoltaicos están en constante desarrollo y, por ende, la oferta de productos presenta un alto grado de obsolescencia y fluctuación de precios.
- Una última consideración para tener en cuenta a la hora de evaluar inversiones de este tipo es la incertidumbre con respecto a eventos climáticos catastróficos, o bien, a cambios políticos y económicos que puedan ocurrir en el futuro y que

afectarán al proyecto. Un ejemplo es el caso hipotético de que la radiación solar baje a tal punto de que no sean posibles de su captación y posterior almacenamiento en forma de electricidad.

SOLO USO ACADÉMICO

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, J. (2009). *Luminotecnia*. Recuperado el 9 de mayo de 2019 desde https://www4.frba.utn.edu.ar/html/Electrica/archivos/Apuntes_EyM/Capitulo_12_Luminotecnia.pdf
- CNE & Ministerio de Energía. (2018). Factores de Emisión. Consultado el 24 de mayo de 2019 desde <http://energiaabierta.cl/visualizaciones/factor-de-emision-sic-sing/>
- Dale, S. (2018). *Energy in 2017: two steps forward, one step back*. (June). Recuperado desde <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/news-and-insights/speeches/bp-stats-review-2018-spencer-dale-speech.pdf>
- Develop & Solution. (2018). *Catalogo Luminarias Solares*. Recuperado desde http://www.gelighting.com/LightingWeb/la/north/images/Catalogo_Luminarias.pdf
- EIA (2018). *CO2 emissions from fuel combustion* (pp. 1–51). pp. 1–51. Recuperado desde http://edgar.jrc.ec.europa.eu/docs/IEA_PARTIII.pdf
- EIA. (2018). *World Energy Outlook 2018: The Future is Electrifying*. Recuperado desde <https://www.iea.org/workshops/world-energy-outlook-2018-the-future-is-electrifying.html>
- Enel Distribución. (2019). *Tarifas de suministro electrónico destinadas a usuarios residenciales*.
- Enríquez, G. (2004). *El ABC del alumbrado y las instalaciones en baja tensión*. (p.98-102). DF, México: Limusa S.A.
- Fariña, F. (PNUD). (2015). *Memoria final experiencias de alumbrado público y eficiencia energética en Chile*. 29. Recuperado desde http://www.cl.undp.org/content/dam/chile/docs/medambiente/undp_cl_medioambiente_memoria_alumbrado_publico.pdf
- Gasquet, I. H. L. (2004). Conversión de la luz solar en Energía Eléctrica: Manual Teórico y Práctico sobre los sistemas Fotovoltaicos. *Conversión de La Luz Solar En Energía Eléctrica: Manual Teórico y Práctico.*, 52(90), 196. Recuperado desde <http://www.solartronic.com/download/SistemasFV.pdf>
- Generadoras de Chile. (2017). Generación Eléctrica en Chile. Consultado el 15 de mayo de 2019 en <http://generadoras.cl/generacion-electrica-en-chile>
- GreenMatch. (2019). Pros and Cons of Solar Energy. Consultado el 29 de mayo de 2019, desde <https://www.greenmatch.co.uk/blog/2014/08/5-advantages-and-5-disadvantages-of-solar-energy>
- Gutierrez, M. (2002). Manual de instalacion y mantenimiento de sistemas solares fotovoltaicos. *Proyecto de Trabajo Comunal Universitario: Soluciones Energéticas Para La Vida Cotidiana*.
- Hernández, H. (2018). Economic assessment of energy efficiency investments in dwellings = Evaluación económica de inversiones de eficiencia energética en viviendas. *Building & Management*, 1(2), 36. <https://doi.org/10.20868/bma.2017.2.3552>
- Jimenez, J. (2014). *Energía solar fotovoltaica y energía eólica*. 204. Recuperado desde www.casadellibro.com/libro-energia-solar-fotovoltaica-y-energia-

eolica/9788494198045/2337528

- Martinez, C. (2011). *Aplicaciones en alumbrado público*. 1–4. Recuperado desde <http://biblioteca.cchc.cl/datafiles/23336-2.pdf>
- Meza Orozco, J. de J. (2013). *Evaluación financiera de proyectos* (3ª ed.; Ecoe Ediciones, Ed.). Bogotá.
- Microsoft. (2019a). TIR (función TIR). Consultado el 25 de mayo de 2019, desde <https://support.office.com/es-es/article/tir-función-tir-64925eaa-9988-495b-b290-3ad0c163c1bc>
- Microsoft. (2019b). VNA (función VNA). Consultado el 24 de mayo de 2019, desde <https://support.office.com/es-es/article/vna-función-vna-8672cb67-2576-4d07-b67b-ac28acf2a568>
- Ministerio de Energía, & Educar Chile. (n.d.). Ventajas y desventajas de la energía solar. Consultado el 23 de mayo de 2019, desde <https://www.aprendeconenergia.cl/ventajas-y-desventajas-de-la-energia-solar/>
- Monsalve, Y. (2009). La Prestación Y El Cobro Del Servicio De Alumbrado Público, Desde Una Perspectiva Jurídica Y Económica. *Eumed*. Retrieved from <http://www.eumed.net/rev/ea/03/ymma.htm>
- NAP, G. (2013). ENERGIA SOLAR imp. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Pastén, C. (2012). Chile, energía y desarrollo. *Chile, Energía y Desarrollo. Obras y Proyectos, 11*, 28–39.
- SBIF. (2019). *Tasa de interés promedio del sistema bancario*.
- SII. (2003). Nueva tabla de vida útil de los bienes físicos del activo inmovilizado. Consultado el 10 de mayo de 2019, desde http://www.sii.cl/pagina/valores/bienes/tabla_vida_enero.htm
- Váquiro, J. D. (2013). Periodo de recuperación de la inversión - PRI ©. Recuperado el 24 de mayo de 2019, desde <http://www.pymesfuturo.com/pri.htm>
- Weitzman, M. L. (1999). “Just Keep Discounting, But ...” In *Discounting and Intergenerational Equity*. Recuperado desde <http://scholar.harvard.edu/weitzman/publications/just-keep-discounting>

ANEXOS

Anexo 1. Kohler, C. (2019). *Consulta valores.* [email].

Consulta valores Recibidos x



Sebastian Castañeda

vie., 24 may. 12:19 (hace 12 días) ☆

Estimado, Quisiera consultarle el valor del repuesto de batería y LED 100W para las luminarias integradas de 100W y también me gustaría co...



Cristian Kohler

vie., 24 may. 19:22 (hace 12 días) ☆ ↶ ⋮

para mí ▾

Estimado Sebastian, los valores de los repuestos de las luminarias solares integradas son los siguientes:

- Set de recambio led : USD 5,72 equivalente \$3.990 pesos
- Set de recambio de baterías de litio : USD 21,48 equivalente a \$.14.990
- El plazo de llegada a Chile es de 48hrs, en caso de un pedido mayor que se tenga que traer por barco es de 35 días.

Atte,



**Maquinarias
y
Equipos**

Cristian Kohler

Gerente Comercial

Teléfono: +56972323201

Nataniel Cox 31 Oficina 37 Santiago. 8330165 Chile

ckohler@mymaquinarias.cl

Anexo 2. CS proyectos. (2019). Aclaración y cotización. [email]

Aclaración y cotización. Recibidos x



Contacto CS proyectos <contacto@csproyectos.com>
para mí ▾

23:42 (hace 0 minutos) ☆ ↶ ⋮

Estimado Sebastian:

Respondiendo a tu consulta, te comento que las postaciones que nosotros realizamos para alumbrado público son en acero o en madera. Principalmente trabajamos, dependiendo de los requerimientos que tenga tu proyecto, con metal corriente de 3 a 12 metros o acero galvanizado de 3 a 15 metros. También existe la posibilidad de realizarlas en hormigón armado con lo cual aumentarían considerablemente los valores.

Con respecto a tu requerimiento te envío la cotización para el desmantelamiento de las luminarias de tu proyecto. Y de paso te comento que para las luminarias solares el precio de instalación sería de \$60.000 c/u.

Cotización N°015

Cliente: Sebastian Castañeda

Contacto: Sebastian.castanedacc@gmail.com

Concepto	Precio unitario	Precio total
Desconexión empalme	\$ 12.176	\$ 12.176
Retiro de empalme	\$ 26.444	\$ 26.444
Retiro de medidor	\$ 11.028	\$ 11.028
Gastos operacionales	\$ 50.000	\$ 50.000
Retiro luminarias	\$ 20.000	\$ 340.000
TOTAL		\$ 439.648

Favor ante cualquier ayuda que pueda prestarte, no dudes en contactarme.

Atte.
Juan Pablo Roa



CS proyectos

SOLO USO ACADÉMICO

Anexo 3. Kohler, C. (2019). Cotización [pdf]

LUMINARIAS SOLARES

COTIZACIÓN



Dirección; Nataniel Cox 31, Oficina 37
Ciudad: Santiago, Chile
Fono: +56972323201
Contacto: Cristián Köhler

Fecha: 05 Junio 2019
Cotización Nr: 155/19
Validez: 30 días

CLIENTE

Nombre: Sebastian Castañeda
RUT :
ATTN:

Dirección:
Mail: sebastian.castanedacc@gmail.com
Fono:

Estimado(s), junto con saludarlo(a), y según solicitado adjunto cotización de Luminarias en base a Energía Solar de última generación.

Luminarias (watts)	Modelo	Especificaciones	Lumenes/Watts	Precio Unitario	Cantidad	Valor Total
100W		12.8V 42AH LiFeO4 battery 18V 100W solar monocrystalline panel Philips Lumileds 5050 leds 5000K; CRI>70 PIR motion sensor T.Flux:13600lm MPPT/6Hours charging	170 lm/w	429.990	1	429.990

- 1) Forma de Pago : Contado
- 2) Garantía 3 año.

Quedando atento a sus comentarios,
Develop & Solutions Spa
Cristian Köhler C.

SOLO USO ACADÉMICO