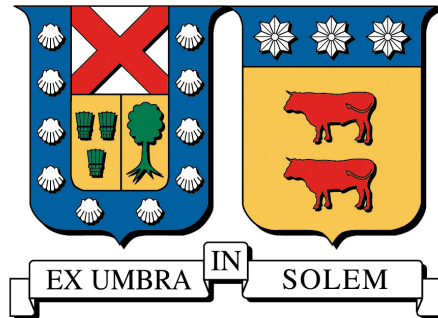


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE AERONÁUTICA
SANTIAGO – CHILE – CAMPUS VITACURA



**Estudio de implementación de suelos inteligentes en terminales
aéreas: caso de estudio en el aeropuerto internacional de
Santiago**

Felipe Andrés Sepúlveda Clavería

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO EN AVIACIÓN COMERCIAL

PROFESOR GUÍA : Sr. Martinus Potters.

PROFESOR CORREFERENTE : Sr. Álvaro Flores A.

Octubre 2025

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): Memoria o trabajo de título; Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: Estudio de implementación de suelos inteligentes en terminales aéreas: caso de estudio en el aeropuerto internacional de Santiago

Nombre del candidato(a): Felipe Andrés Sepúlveda Clavería

Carrera / Grado: INGENIERÍA EN AVIACIÓN COMERCIAL

Campus: Santiago Vitacura ; **Departamento:** AERONÁUTICA

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Martinus Potters, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

El trabajo **NO contiene información que amerite confidencialidad** y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.


El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

6 meses; 12 meses; 2 años; 3 años; 5 años; 10 años


Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 16/10/2025 ; **Firma:** 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 16/10/2025 ; **Firma:** 

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

BIB-FO2385 01

Agradecimientos

En primer lugar quiero agradecerme a mí por no rendirme luego a toda mi familia por el apoyo durante mi periodo universitario, a mis amigos por estar disponibles en los tiempos difíciles como también a los docentes de la universidad por brindarme sus conocimientos y apoyo durante este proceso, no hubiera podido realizar este estudio sin aplicar todo lo aprendido durante toda mi estancia en la carrera, este trabajo es el culmine de una etapa tan añorada, llena de experiencias, amistades fallas y victorias.

Este trabajo se lo dedico aquellos que nunca dudaron que lo lograría, a mi abuelo Ernesto el Sansano que me motivo a estudiar todos los días para que pudiéramos compartir alma mater, asimismo se lo dedico a mis profesores del colegio por no dejar que me rindiera con la materias que me costaban y/o no me gustaban, aquellos que a pesar de escuchar un no entiendo, se daban el tiempo de explicar todos los detalles hasta que lograra comprender la materia, lo que posteriormente me ayudo a no callarme las dudas en las clases de la universidad.

En adición a los agradecimientos le dedico este trabajo a mi padre Carlos que lo ha dado todo para brindarme la oportunidad de estudiar lo que me gusta, a mi madre Ximena por escucharme y darme amor en momentos donde me encontraba perdido y cabizbajo por mis notas, a mi hermana Pascal por enseñarme que el camino al éxito no es fácil ni rápido y finalmente a mis abuelos Rosa y Héctor que me dieron un techo, un plato de comida y la calidez de un hogar. Gracias al esfuerzo y apoyo de todos he logrado los primeros objetivos de mi camino.

Resumen Ejecutivo

El crecimiento sostenido del tráfico aéreo en el Aeropuerto Arturo Merino Benítez (AMB) plantea importantes desafíos en términos de sustentabilidad energética y experiencia del pasajero. Frente a este escenario, el presente estudio propone la implementación de un proyecto con una solución tecnológica innovadora para contribuir con los compromisos de carbono neutralidad y mejorar la infraestructura pública

El objetivo del proyecto es evaluar la factibilidad de implementar un sistema de eléctrico sustentable en las terminales de AMB basado en un suelo inteligente que es capaz de generar energía mediante el tránsito peatonal y que además es capaz de recolectar datos relevantes al flujo de pisadas. Junto a esto se buscará crear un espacio para la promoción de campañas publicitarias de manera sustentables.

El sistema que se busca implementar está compuesto por módulos de baldosas inteligentes que transforman la energía cinética del paso de los pasajeros a electricidad útil. De este modo se integran pantallas QLED y sensores que permitan recolectar y visualizar datos como cantidad de pisadas, energía generada, horarios de mayor y menor flujo entre otros, reforzando así las dimensiones estadísticas, educativas, emocional y de marketing del proyecto.

Para determinar la viabilidad del proyecto se realizó un análisis técnico de la instalación, como también de proyecciones de la demanda de pasajeros por cada terminal de AMB, un estudio legal sobre los aspectos del mismo que puedan influir en el proyecto como aranceles o impuestos y una evaluación financiera que concluyó ingresos esperados por la energía producida, publicidad y el valor que puede presentar un dato estadístico.

El proyecto resultó ser rentable según los indicadores financieros VAN, TIR y Payback, los cuales se evaluaron con un modelo CAPM (Capital Asset Pricing Model) los cuales dieron valores para el VAN de €1.595.736, una TIR del 57,23% y un periodo de recuperación de inversión al segundo periodo de operación. La solución propuesta es técnicamente viable, cumple con la normativa vigente y no presenta impactos negativos al medio ambiente. De este modo, se alinea con los compromisos internacionales de sustentabilidad para los estados y también a los de la industria aeronáutica. En este sentido,

va en la misma dirección de las políticas de innovación de la concesionaria del aeropuerto Nuevo Pudahuel.

Este proyecto tiene el potencial de posicionar al aeropuerto AMB como líder regional en innovación sustentable, a la vez que ofrece una nueva experiencia para los pasajeros y visitantes. Su valor se extiende más allá de la generación eléctrica ya que incorpora datos estadísticos que ayudarán a gestionar mejor los recursos para implementar expansiones o mejorar dentro del espacio de la terminal. Además da la oportunidad de brindar una educación ambiental basada en la emoción y en la experiencia de ser parte de las soluciones sustentables. En síntesis, la implementación de este sistema representa una oportunidad estratégica para modernizar el aeropuerto, promover la conciencia ecológica y diversificar las fuentes de electricidad sustentables utilizadas por AMB como también las fuentes de ingresos mediante tecnologías sustentables y datos inteligentes.

Executive summary

The sustained growth of air traffic at Arturo Merino Benítez Airport (AMB) presents significant challenges in terms of energy sustainability and passenger experience. In response to this scenario, the present study proposes the implementation of a project based on an innovative technological solution that aims to contribute to carbon neutrality commitments and enhance public infrastructure.

The objective of the project is to evaluate the feasibility of implementing a sustainable electric system in AMB's terminals based on a smart flooring technology capable of generating electricity through pedestrian traffic. In addition, the system is designed to collect relevant data on foot traffic patterns. The project also seeks to create a platform for promoting environmentally responsible advertising campaigns.

The system to be implemented consists of modular smart tiles that convert the kinetic energy of passenger footsteps into usable electricity. QLED screens and sensors will also be integrated to collect and visualize data such as the number of footsteps, energy generated, peak and off-peak pedestrian flow times, among others—thus reinforcing the statistical, educational, emotional, and marketing dimensions of the project.

To determine the project's feasibility, a technical installation analysis was conducted, along with passenger demand projections for each terminal at AMB, a legal study of relevant factors such as tariffs and taxes, and a financial evaluation that included expected revenue from energy generation, advertising, and the commercial value of statistical data.

The project proved to be financially viable according to the indicators Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), and Payback Period, evaluated using the Capital Asset Pricing Model (CAPM). The results indicated an NPV of €1,595,736, an IRR of 57.23%, and a payback period by the second year of operation.

The proposed solution is technically feasible, complies with current regulations, and has no negative environmental impact. As such, it aligns with international sustainability commitments both for governments and the aviation industry. It also supports the innovation policies of the airport concessionaire, Nuevo Pudahuel.

This project has the potential to position AMB as a regional leader in sustainable innovation while offering passengers and visitors a unique experience. Its value goes beyond electricity

generation, as it incorporates statistical data that will help improve resource management for future expansions or terminal space improvements. Additionally, it provides an opportunity for environmental education based on emotion and the experience of being part of sustainable solutions.

In summary, the implementation of this system represents a strategic opportunity to modernize the airport, promote ecological awareness, and diversify both the sustainable electricity sources used by AMB and its revenue streams through green technologies and smart data.

Tabla de contenidos

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	16
2. ANTECEDENTES GENERALES	17
2.1 OBJETIVOS	19
2.1.1 <i>Objetivo general.....</i>	<i>19</i>
2.1.2 <i>Objetivos específicos.....</i>	<i>19</i>
2.2 JUSTIFICACIÓN	20
2.3 METODOLOGÍA	21
2.3.1 <i>Etapa 1: Tipo de investigación y enfoque.</i>	<i>21</i>
2.3.2 <i>Etapa 2: Metodología teórica.</i>	<i>22</i>
2.3.3 <i>Etapa 3: Plan paso a paso.....</i>	<i>22</i>
2.3.4 <i>Etapa 4: Limitaciones y restricciones.</i>	<i>23</i>
2.4 ALCANCE	24
3 ESTADO DEL ARTE	25
3.1 ANTECEDENTES DEL TEMA EN ESTUDIO.	25
3.2 CONTAMINACIÓN AMBIENTAL Y COMO SE PUEDE CONTRARRESTAR.....	25
3.3 COMPROMISO DE LA AVIACIÓN CON EL MEDIOAMBIENTE.....	30
3.4 COMPROMISO DE CHILE CON EL MEDIOAMBIENTE	33
3.5 FUENTES DE ENERGÍA SUSTENTABLES	34
3.5.1 <i>Fuente de energía solar.</i>	<i>34</i>
3.5.2 <i>Fuente de energía eólica.....</i>	<i>37</i>
3.5.3 <i>Energía Cinética.</i>	<i>40</i>
3.6 ANTECEDENTES DE USO DE ESTA TECNOLOGÍA EN ENTORNOS URBANOS Y DE ALTO TRANSITO..	44
3.7 VALOR DE UN DATO.	49
4.DESARROLLO	51

4.1	DESARROLLO DEL PLAN PASO A PASO	51
4.1.1	<i>Diagnostico</i>	51
4.1.2	<i>Validación tecnológica</i>	62
4.1.3	<i>Diseño conceptual del proyecto</i>	63
4.1.4	<i>Evaluación del proyecto</i>	69
4.1.5	<i>Validación de la propuesta</i>	93
4.2	ANÁLISIS DE RESTRICCIONES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO.	93
5	CONCLUSIONES	95
6	TRABAJOS CITADOS	97
7	ANEXO	103

Índice de gráficos

GRÁFICO 1: BALANCE DE GEI (KT CO2 EQ) SERIE 1990-2022.....	17
GRÁFICO 2: EMISIONES DE CO2 TOTALES A NIVEL MUNDIAL EVOLUCIÓN DESDE 1970 HASTA 2024	28
GRÁFICO 3: EMISIONES DE CO2 TOTALES (KT DE EQUIVALENTE DE CO2) EN CHILE, EVOLUCIÓN DESDE 2000 HASTA 2024.....	28
GRÁFICO 4: COMPONENTES DE UN PANEL SOLAR	35
GRÁFICO 5: CONSUMO ELÉCTRICO DE AMB POR TERMINAL Y TOTAL EN KWH PARA EL PERIODO DE 2023-2024.....	52
GRÁFICO 6: TOTAL DE PASAJEROS DIFERENCIADO POR TERMINAL DESDE ENERO 2022 HASTA DICIEMBRE DEL 2024.....	54
GRÁFICO 7: COMPORTAMIENTO DEL BALANCE ELÉCTRICO DEL SISTEMA.....	88
GRÁFICO 8: COMPARATIVA DE PRODUCCIÓN ELÉCTRICA Y CO2 EQ REDUCIDO DE LAS EMISIONES HECHAS POR LA ELECTRICIDAD DEL SEN	92

Índice de tablas

TABLA 1: DATOS BASADOS EN LOS INFORMES ARMONIZADOS DE NEL Y IPCC SOBRE LA EL CICLO DE VIDA DE LOS GEI EN LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD.....	36
TABLA 2: INDICADORES DE CONSUMO ELÉCTRICO EN EL TERMINAL AMB DIFERENCIADO POR AÑO EN VALORES DE KWH	52
TABLA 4: INDICADORES DEL FLUJO DE PASAJEROS EN AMB EXPRESADO EN UNIDADES Y PORCENTAJES.	54
TABLA 5: VALIDACIÓN DEL ALCANCE DEL PROYECTO EN LOS 8 EJES PROPUESTOS POR SAPAG.....	69
TABLA 6: ETAPAS DEL CICLO DEL PROYECTO JUNTO A LOS PERIODOS DE DURACIÓN DE CADA CICLO	71
TABLA 7: DEMANDA DE PASAJEROS EN AMB DESDE 2022 A 2024	72
TABLA 8: DATOS TÉCNICOS RECOPIADOS DE LAS BALDOSAS DE LOS SISTEMAS SREC DIFERENCIADO POR EMPRESA.....	73

TABLA 9: PROPUESTA DE VALOR DE LOS DATOS ANALÍTICOS REFERENTES AL FLUJO DE PASAJEROS ENTREGADO POR LAS BALDOSAS 78

TABLA 10: DATOS TÉCNICOS DEL PROVEEDOR ENERGY FLOORS 2027 PARA INVERSIÓN INICIAL CONTABILIZANDO ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO..... 80

TABLA 11: DATOS TÉCNICOS DEL PROVEEDOR ENERGY FLOORS PARA MANTENIMIENTO..... 81

TABLA 12: DATOS TÉCNICOS DEL PROVEEDOR ENERGY FLOORS PARA LA OPERACIÓN 81

TABLA 13: SUPUESTOS PARA CREAR UNA ESTRUCTURA DE VENTA DE PUBLICIDAD 82

TABLA 14: ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL DEL EQUIPO, CON ROLES DE METODOLOGÍA SCRUM 83

TABLA 15: SUPUESTOS DEL FLUJO DE CAJA 86

TABLA 16: TIPOS DE COSTOS DEL FLUJO DE CAJA 87

TABLA 17: DISTRIBUCIÓN DE LAS BALDOSAS EN EL AEROPUERTO..... 88

TABLA 18: VALORES DE MANTENIMIENTO POR LOTE DE COMPRA..... 89

TABLA 19: COSTOS MENSUALES DEL PERSONAL DE TRABAJO 89

TABLA 20: INDICADORES DE CAPM 90

TABLA 21: INDICADORES ECONÓMICOS DEL PROYECTO 91

TABLA 22: DEMANDA DE PASAJEROS DEL TERMINAL NACIONAL PARA EL PERIODO ENTRE 2022 Y 202 CON I.E.E 105

TABLA 23: DEMANDA DE PASAJEROS DEL TERMINAL INTERNACIONAL PARA EL PERIODO ENTRE 2022 Y 2024 CON I.E.E..... 105

TABLA 24: DEMANDA DE PASAJEROS DEL AEROPUERTO COMPLETO PARA EL PERIODO ENTRE 2022 Y 2024 CON I.E.E..... 106

TABLA 25: PROYECCIÓN DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA PARA EL TERMINAL NACIONAL PARA LOS PERIODOS PROYECTADOS DESDE 2025 HASTA 2046 107

TABLA 26: PROYECCIÓN DE PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD PARA LA TERMINAL INTERNACIONAL PARA EL PERIODO ENTRE 2025 A 2046 107

TABLA 27: PROYECCIÓN DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA PARA TODO EL AEROPUERTO PARA LOS PERIODOS PROYECTADOS DESDE 2025 HASTA 2046 108

Índice de figuras

ILUSTRACIÓN 1: LAS EMISIONES MUNDIALES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI).....	27
ILUSTRACIÓN 2: MOLINO DE VIENTO EN PAÍSES BAJOS.....	38
ILUSTRACIÓN 3: TIPOS DE TURBINAS EÓLICAS DE EJE VERTICAL Y HORIZONTAL.	39
ILUSTRACIÓN 4: APLICACIONES MÁS COMUNES DE MATERIALES PIEZOELÉCTRICOS, COMO EN SISTEMAS MICROELECTROMECAÁNICA, BIOMECAÁNICA Y RECOLECCIÓN DE ENERGÍA.	41
ILUSTRACIÓN 5: REPRESENTACIÓN DEL EFECTO PIEZOELÉCTRICO DIRECTO. AL APLICAR UNA FUERZA MECÁNICA SOBRE LA ESTRUCTURA CRISTALINA, SE PRODUCE UN DESPLAZAMIENTO DE CARGAS QUE GENERA UN VOLTAJE.....	42
ILUSTRACIÓN 6: APLICACIÓN DE LA LEY DE LENZ PARA UNA BOBINA CON UN IMÁN EN MOVIMIENTO.....	43
ILUSTRACIÓN 7: CASO ADIDAS MARATHON, CHILE.....	45
ILUSTRACIÓN 8: CASO HEATHROW AIRPORT, UK.....	45
ILUSTRACIÓN 9: INSTALACIÓN EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE ABU DABI EN EMIRATOS ÁRABES UNIDOS.....	46
ILUSTRACIÓN 10: INSTALACIÓN DE BALDOSAS EN LA ENTRADA DE LA SEDE CENTRAL DE WÜRTH EN EGNA ITALIA.....	47
ILUSTRACIÓN 11: INSTALACIONES DE LA EMPRESA NS EN ESTACIONES FERROVIARIAS COMO CAMPAÑA PARA UNA MOVILIDAD SUSTENTABLE EN EL TRANSPORTE FERROVIARIO DE PAÍSES BAJOS.....	48
ILUSTRACIÓN 12: INSTALACIÓN EN EL PARQUE PRESIDENT KITCHEN GARDEN EN MGARR MALTA.....	49
ILUSTRACIÓN 13: DIAGRAMA DE FLUJO DE LOS PASAJEROS AL TOMAR UN VUELO DE SALIDA.....	56
ILUSTRACIÓN 14: DIAGRAMA DE FLUJO DE LOS PASAJEROS AL LLEGAR EN UN VUELO.....	57
ILUSTRACIÓN 15: PLANOS DEL TERCER PISO DEL TERMINAL NACIONAL DE AMB CON SEÑALIZACIONES DE LAS ZONAS IMPORTANTES Y LAS RUTAS DEL FLUJO DE PASAJEROS.	58
ILUSTRACIÓN 16: PLANOS DEL PRIMER PISO DEL TERMINAL NACIONAL DE AMB CON SEÑALIZACIONES DE LAS ZONAS IMPORTANTES Y LAS RUTAS DEL FLUJO DE PASAJEROS.	59
ILUSTRACIÓN 17: PLANOS DEL TERCER PISO DEL TERMINAL INTERNACIONAL DE AMB CON SEÑALIZACIONES DE LAS ZONAS IMPORTANTES Y LAS RUTAS DEL FLUJO DE PASAJEROS.	60

ILUSTRACIÓN 18: PLANOS DEL PRIMER PISO DEL TERMINAL INTERNACIONAL DE AMB CON SEÑALIZACIONES DE LAS ZONAS IMPORTANTES Y LAS RUTAS DEL FLUJO DE PASAJEROS.	61
ILUSTRACIÓN 19: PLANOS DEL TERCER PISO DE LA TERMINAL NACIONAL DE AMB CON SEÑALIZACIÓN DE LUGARES PARA IMPLEMENTAR LAS BALDOSAS	64
ILUSTRACIÓN 20: PLANOS DEL PRIMER PISO DE LA TERMINAL NACIONAL DE AMB CON SEÑALIZACIONES DE LOS LUGARES ÓPTIMOS PARA IMPLEMENTAR LAS BALDOSAS	64
ILUSTRACIÓN 21: PLANOS DEL TERCER PISO DEL TERMINAL INTERNACIONAL DE AMB CON SEÑALIZACIONES DE LOS LUGARES PARA IMPLEMENTAR LAS BALDOSAS	66
ILUSTRACIÓN 22: PLANOS DEL PRIMER PISO DEL TERMINAL INTERNACIONAL DE AMB CON SEÑALIZACIONES DE LOS LUGARES PARA IMPLEMENTAR LAS BALDOSAS	67
ILUSTRACIÓN 23: UBICACIÓN DE 3 MÓDULOS EN LA SALIDA DE LA ENTREGA DE EQUIPAJE EN EL TERMINAL NACIONAL.	76
ILUSTRACIÓN 24: UBICACIÓN DE 2 MÓDULOS EN LA SALIDA DEL SECTOR DE TIENDAS DESPUÉS DE AVSEC EN LAS SALIDAS DE LOS VUELOS NACIONALES	76
ILUSTRACIÓN 25: UBICACIÓN DE 1 MÓDULO EN LA ENTRADA DE AVSEC DE VUELOS NACIONALES	77
ILUSTRACIÓN 26: UBICACIÓN DE 2 MÓDULOS EN LA ENTRADA DE EMIGRACIONES EN LOS VUELOS DE SALIDA DE LA TERMINAL INTERNACIONAL.	77
ILUSTRACIÓN 27: UBICACIÓN DE UN MÓDULO EN LA SALIDA AL ÁREA PÚBLICA DE LLEGADAS DE VUELOS EN LA TERMINAL INTERNACIONAL.....	78
ILUSTRACIÓN 18: PASAJEROS INTERNACIONALES LLEGADOS A CHILE POR AEROPUERTOS AÑO 2022 (ENERO - DICIEMBRE), FUENTE: JUNTA AERONÁUTICA CIVIL	103
ILUSTRACIÓN 19: PASAJEROS INTERNACIONALES SALIDOS DESDE CHILE POR AEROPUERTOS 2022 (ENERO- DICIEMBRE) FUENTE: JUNTA AERONÁUTICA CIVIL	103
ILUSTRACIÓN 20: TRÁFICO DE PASAJEROS NACIONALES LLEGADOS A LOS AEROPUERTOS AÑO 2022 (ENERO- DICIEMBRE) FUENTE: JUNTA AERONÁUTICA CIVIL.....	104
ILUSTRACIÓN 21: TRÁFICO DE PASAJEROS NACIONALES SALIDOS DE LOS AEROPUERTOS AÑO 2022 (ENERO- DICIEMBRE) FUENTE: JUNTA AERONÁUTICA CIVIL	104

Índice de ecuaciones.

ECUACIÓN 1: VARIACIÓN ENTRE VARIABLES.	53
ECUACIÓN 2: ÍNDICE DE ESTACIONALIDAD ESTANDARIZADA	72
ECUACIÓN 3: PRODUCCIÓN ELÉCTRICA DEL PERIODO	73
ECUACIÓN 4: TASA DE DESCUENTO ESPERADA.	90
ECUACIÓN 5: VALOR ACTUAL NETO	90
ECUACIÓN 6: TASA INTERNA DE RETORNO	91

Siglas

AMB: Aeropuerto Arturo Merino Benítez

SEN: Sistema Eléctrico Nacional

TIR: Tasa Interna de Retorno

VAN: Valor Actual Neto

IATA: International Air Transport Association

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

OMM: Organización Meteorológica Mundial

CORSIA: Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation

ACI: Airports Council International

JAC: Junta Aeronáutica Civil

PDI: Policía de Investigaciones

AVSEC: Aviation Security

NCEI: National Centers for Environmental Information

AR6: Sixth Assessment Report

GEI: Gases de Efecto Invernadero.

SCL: Código IATA y OACI para el Aeropuerto Internacional Arturo Merino Benítez.

COP21: 21^a Conferencia de las Partes

1. Introducción

Según indica la IPCC¹ en su reporte AR6 Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change “Los últimos datos disponibles (2018) indican que la aviación es responsable de aproximadamente el 2,4% del total de las emisiones antropogénicas de CO₂” (p. 1086). A pesar de estas cifras, la industria aeronáutica está tomando medidas para enfrentar la situación medioambiental. Un ejemplo de esto es el comunicado N66 de la IATA el cual titularon “Cero emisiones netas de CO₂ en 2050” (2021), en el cual hablan respecto al compromiso que se tiene en la aviación mundial para reducir sus emisiones de CO₂ y llegar a ser netas al 2050, cómo también lograr la reducción en diferentes sectores de la industria tales como lo son los combustibles sostenibles, tecnologías de la aeronáutica, operaciones e infraestructura más eficientes junto al desarrollo de nuevas fuentes de energía de cero emisiones.

Como bien se sabe, los GEI según el anexo del AR6 del IPCC son “el vapor de agua (H₂O), el dióxido de carbono (CO₂), el óxido nitroso (N₂O), el metano (CH₄) y el ozono (O₃). Sin embargo existen GEI producidos por el hombre los cuales incluyen el hexafluoruro de azufre (SF₆), hidrofluorocarbonos (HFC), clorofluorocarbonos (CFC) y perfluorocarbonos (PFC) (p. 14) (p. 1804). Estos gases son parte del proceso conocido como el “efecto invernadero”. Según el acuerdo de París de 2015 hay que mantener el calentamiento global por debajo de los 1,5 °C sobre la temperatura del periodo pre industrial, actualmente la temperatura promedio del planeta es 1,88 °C más alta para el periodo de mar 2023 hasta febrero de 2024 según datos del NCEI² lo cual es ligeramente superior de los 1,5 °C de los objetivos del acuerdo de París en la COP21.

Es fundamental que como sociedad impulsemos cambios concretos que contribuyan al cumplimiento de los objetivos de sostenibilidad. Uno de los métodos más relevantes para avanzar en esta dirección es la transición energética hacia fuentes renovables o de cero emisiones. Entre las más ampliamente utilizadas a nivel global se encuentran la energía solar, eólica y de biomasa. También existen otras fuentes menos comunes, como la energía geotérmica, oceánica y la cinética. Estas energías se consideran prácticamente inagotables, ya que provienen de recursos disponibles a largo plazo, capaces de ser aprovechados durante toda la existencia humana. En este contexto, el presente trabajo explorará la posibilidad de alimentar parte del consumo energético del Aeropuerto Arturo Merino Benítez (AMB) mediante la energía cinética proveniente del movimiento de las personas que pasan por el aeropuerto. Para ello, se estudiará primero el funcionamiento de la tecnología utilizada

¹ Intergovernmental Panel on Climate Change

² National Centers for environmental information

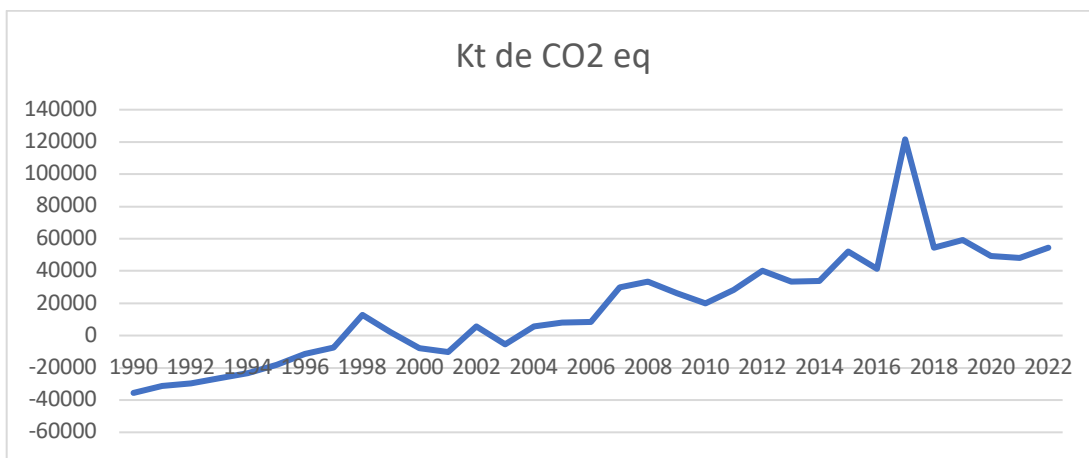
para transformar la energía cinética en energía eléctrica, para luego presentar un proyecto que permita cubrir una porción de la demanda total del aeropuerto para así diversificar su matriz energética.

2. Antecedentes Generales

Este estudio se origina de la creciente demanda de energías renovables para satisfacer nuestras necesidades de consumo eléctrico creciente. Dentro de estas se destaca el uso de tecnologías basadas en la transformación de la energía cinética como la generada al caminar o al mover cualquier cuerpo, a través de sistemas de captura. Este tipo de soluciones podrían representar un aporte significativo para sectores de alto consumo energético como la industria aeronáutica, contribuyendo así a reducir la huella de carbono emitida.

Según registra el INGEI³ desde los años 1990 hasta el 2022 se ha presentado un aumento en las emisiones de CO2 equivalente de un 135%, y desde el 2020 ha incrementado un 7,1%. Esto se puede observar en el siguiente grafico del balance de emisiones de GEI

Gráfico 1: Balance de GEI (kt CO2 eq) serie 1990-2022



Fuente: INGEI de Chile

¿Y cómo se pensará en resolver este problema?. Múltiples países buscan, una solución a este problema y Chile no se queda afuera de la búsqueda de una solución para reducir los impactos del cambio climático y esto se demostró tras la presentación del informe a nivel

³ Inventario nacional de gases de efecto Invernadero

nacional donde se explican los objetivos que hay que cumplir junto a las fechas límite y una ruta de acciones, sumando a todo esto está la ley 21.455⁴ y la actualización del NDC⁵.

Para el alcance de este estudio se tomarán como directriz los objetivos propuestos por Chile después de firmar el acuerdo de París, cuando lanzó su “Estrategia climática a largo plazo de Chile a 2050” (ECLP) donde se estipularon diferentes objetivos para cada sector industrial en el país. Dentro del sector energético se presentaron los siguientes objetivos:

1. Alcanzar una matriz energética baja en carbono para 2050
2. Establecer la eficiencia energética de como pilar de desarrollo en sectores industrial residencial, entre otros.
3. Incrementar el uso de tecnologías y energías de bajas emisiones, como hidrogeno verde, en todos los sectores de la economía
4. Lograr el acceso equitativo a servicios energéticos de la calidad que permitan satisfacer las necesidades energéticas de las personas y contribuir al desarrollo humano.
5. Descentralización y diversificación de los recursos energéticos para un sector energético más resiliente bajo en emisiones, incluyendo tanto autoconsumo de energía como las tecnologías renovables de gran escala.
6. Reducir la vulnerabilidad al cambio climático y facilitar su integración en el desarrollo y gestión del sector energía
7. Diseñar y promover el uso de instrumentos económicos, incorporando mejoras en los existentes, para acelerar la transición energética en línea con los objetivos climáticos y lo que mandata la ciencia.

Y para el sector de transportes se fijaron los siguientes objetivos:

1. Orientar las decisiones en materia de movilidad y desarrollo urbano territorial, a fin de priorizar los modos del desplazamiento más sustentable tanto urbanos como interurbanos, utilizando para ello sistemas de movilidad integrados, multimodales y orientados al bien estar social y la calidad de vida, poniendo en el centro a los usuarios/as y atendiendo la dimensión social de la movilidad

⁴ También conocida como la Ley Marco de cambio climático

⁵ Sus siglas están en inglés y su significado es Contribuciones determinadas nacionales

2. Incorporar en los procesos de formulación de los instrumentos de ordenamiento territorial y planificación urbana, objetivos de movilidad sostenible y de cambio climático.
3. Promover iniciativas de fortalecimiento del transporte público y modos de transporte activo, eficientes y sostenibles para su priorización por sobre el uso de vehículos particulares.
4. Fortalecer la planificación gestión y operación de los sistemas de transporte público urbanos, de manera que puedan transformarse en alternativas atractivas, efectivas y eficientes frente al transporte individual.
5. Potenciar el uso de innovaciones tecnológicas como aliadas para el desarrollo sostenible en pro de una mayor eficiencia, flexibilidad y adaptabilidad de los sistemas de transporte en términos de cobertura, accesibilidad, seguridad, operatividad, monitoreo y planificación
6. Aumentar el uso de tecnologías limpias en el transporte público urbano, transporte privado, transporte interurbano de pasajeros y transporte de carga urbano e interurbano.
7. Incorporar en las decisiones y en la planificación una participación activa y efectiva de la ciudadanía reforzando las identidades y valores locales, fortaleciendo la descentralización y la articulación multi nivel, para avanzar en el desarrollo coherente y sinérgico de nuestro territorio.

Teniendo esto en cuenta, se puede tener una imagen de cuál es la situación actual en Chile respecto al cambio climático y cuáles son sus acciones para seguir, todo esto bajo los objetivos propuestos en la ECLP anteriormente descritos.

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo general

- Evaluar y cuantificar la instalación de un sistema de suelos inteligentes en el aeropuerto de AMB.

2.1.2 Objetivos específicos

- Analizar los requerimientos y necesidades en términos de sustentabilidad y experiencia del pasajero en el Aeropuerto de AMB.

- Identificar y comparar las tecnologías actuales de los suelos inteligentes y sus posibles aplicaciones en entornos aeronáuticos.
- Cuantificar la capacidad de producción energética y de recolección de datos estadísticos, mediante la proyección del flujo de pasajeros a 20 años.
- Determinar costes, beneficios, limitaciones y riesgos asociados a la implementación de los suelos inteligentes.
- Realizar una evaluación técnico-económica integral del proyecto.

2.2 Justificación

La crisis climática ha impulsado el desarrollo de múltiples estrategias de mitigación. Según el IPCC, uno de los enfoques más relevantes es la transición hacia sistemas de abastecimiento eléctrico basados en fuentes renovables o de cero emisiones, como el hidrógeno, la bioenergía, la energía solar, eólica, térmica y cinética. No obstante, existen tecnologías emergentes, como los sistemas de recolección de energía cinética (SREC), tecnología capaz de generar energía limpia a partir de la presión ejercida al caminar, mediante tecnologías como la electromagnética y piezoeléctrica que serán explicadas con mayor detalle en la sección de desarrollo.

Esta tecnología de SREC ya ha sido evaluada en contextos similares. Un ejemplo de esto puede ser la empresa Pavegen con su instalación en el aeropuerto de Abu Dabi en los Emiratos Árabes Unidos donde se instalaron baldosas triangulares en una zona de alto tránsito peatonal para generar energía del pasar de los viajeros, creando así una nueva experiencia para quienes circulan por esta terminal, haciendo participe a los viajeros de los progresos del país de emiratos árabes en su transición a ser más sustentable.

En paralelo, el sector aeronáutico enfrenta un crecimiento sostenido en la demanda. La Agencia Europea de Seguridad Aérea (AESA) proyecta un aumento del 42% en el número de pasajeros para el año 2040, por otra parte, la International Air Transport Association (IATA) eleva esta cifra a un 100% de aumento. Actualmente, el sitio web [flightradar24](#) informa que hay alrededor de 220.000 vuelos al día alrededor del mundo ([Flightradar24, 2025](#)).

En el caso de Chile, el Ministerio de Energía reportó que en 2023 el factor de emisión del SEN se redujo a 0,2384 [tCO₂e/MWh] lo cual refleja el compromiso activo que se posee con la descarbonización de la matriz energética. En contexto el aeropuerto AMB consume un promedio de 4,75 [MWh] mensuales lo cual equivaldría a unos 1,1324 [tCO₂e], contribuyendo así a la huella de carbono del país.

Y como solución a esta problemática, este estudio propone analizar la viabilidad de implementar un SREC en zonas de tránsito obligatorio de pasajeros por la terminal, así como en áreas de operación en loza, en áreas de descenso y embarque de los pasajeros. Con la energía generada por estos SREC como podrían ser las baldosas piezoeléctricas de Energy Floors, con su modelo de kinetic walkway es capaz de generar unos 2 [Ws] de potencia dependiendo si se está caminando, brincando o bailando sobre la baldosa. La energía producida puede ser utilizada para abastecer el sistema de iluminación u otros consumos eléctricos dentro de la terminal, mediante una conexión Off-Grid o fuera de la red, esto con la finalidad de contribuir con los objetivos definidos en el área de transporte en el ECLP:

- 2: Con movilidad sostenible creando valor al desplazamiento de grandes masas de personas.
- 5: Potenciando la innovación tecnológica usando invenciones tecnológicas dentro del último tiempo.
- 6: Usando una tecnología limpia y baja en emisiones de CO₂
- 7: Haciendo a la ciudadanía un miembro activo en este proceso de cambio reforzando el sentimiento de pertenencia y de colaboración colectiva.

Asimismo, desde la perspectiva del área eléctrica del mismo documento, este proyecto contribuye con los objetivos:

- 3 : Contribuyendo al uso de energías de baja emisión.
- 5 : Diversificando los recursos energéticos de la matriz aeronáutica.

2.3 Metodología

La presente investigación se estructura en cinco etapas principales. En primer lugar, se describe el tipo de investigación y su enfoque metodológico. Luego, se presenta la metodología teórica que respalda científicamente los fenómenos físicos involucrados y las estrategias de evaluación del proyecto. A continuación, se detalla una ruta paso a paso para desarrollar el proyecto a escala del aeropuerto AMB. Posteriormente, se analizan las limitaciones y restricciones que podrían afectar su ejecución. Finalmente, se incluye un esquema visual que facilita la comprensión global del estudio.

2.3.1 Etapa 1: Tipo de investigación y enfoque.

El presente estudio se enmarca en un enfoque de diseño, orientado a la evaluación técnica y económica junto al desarrollo de un sistema integrado para la generación de electricidad mediante el uso de un SREC en AMB. Esta metodología puede considerarse

como una aproximación cuantitativa, tomando en cuenta una recopilación de datos tanto técnicos como económicos lo cual permitirá una evaluación con valores objetivos utilizando proyecciones en la producción de energía del SREC y en los beneficios económicos o no económicos que este pueda llegar a entregar.

2.3.2 Etapa 2: Metodología teórica.

El presente estudio se enmarca en un enfoque de diseño, orientado a la evaluación técnica y económica integrando algunos procesos entregados en el texto de Preparación y evaluación de proyectos (Sapag, Sapag, & Sapag, 2008) y para la evaluación técnica se revisaron estudios e investigaciones relacionadas al caso de estudio, los cuales se pueden encontrar en el apartado de bibliografía.

además, se revisarán los documentos de especificaciones técnicas de las diferentes tecnologías que se investigarán.

2.3.3 Etapa 3: Plan paso a paso.

Para esta etapa se esquematizará un plan que constará con 6 fases para el desarrollo de la investigación junto al planteamiento del proyecto.

Fase 1: Diagnóstico.

Dentro de la fase de diagnóstico se buscare los datos actuales del consumo energético del aeropuerto entre 2021 y 2024 para posteriormente crear encontrar el índice de estacionalidad del consumo en caso de tener alguna tendencia en el consumo, analizar los flujos de pasajeros por terminal en AMB para para los años 2021 hasta 2024 posteriormente determinar zonas de interés dentro de la distribución interna de la terminal finalmente se recopilaran todas las normativas técnicas relevantes a la seguridad dentro de la terminal.

Fase 2: Investigación tecnológica.

Posteriormente en la fase 2 de investigación tecnológica, se procederá a buscar material de respaldo técnico y científico para comprender el fenómeno detrás de la producción de energía de los distintos SREC, en adición a la investigación se recopilarán casos de usos de esta tecnología por el mundo y para cerrar la fase se buscarán proveedores de las tecnología disponible.

Fase 3: Diseño conceptual del proyecto.

Para la Fase 3 de diseño conceptual del proyecto se realizarán las definiciones más importantes para el desarrollo del proyecto, como las zonas de interés para la instalación de

un SREC además hay que dimensionar la cantidad de metros cuadrados que se pueden comprar con un presupuesto determinado, dimensionar la capacidad de producción del sistema propuesto con los datos obtenidos de los diferentes proveedores de esta tecnología.

Fase 4: Evaluación técnica y económica.

En la fase 4 de evaluación técnica y económica se desarrollara una evaluación para determinar si es posible llevar a cabo el proyecto solo considerando aspectos técnicos y evaluando el desempeño en un ambiente como el de AMB, complementando a esto se desarrollara una evaluación económica basada en los estándares del libro Preparación y evaluación de proyectos (Sapag, Sapag, & Sapag, 2008) el cual se utilizara para identificar costos y beneficios que el proyecto puede llegar a presentar. Con esto se buscará calcular diferentes KPI económicos para usarlos posteriormente para evaluar si la propuesta es virtualmente rentable.

Fase 5: Proyecciones.

Junto a la evaluación de los KPI económicos se procederá a calcular las proyecciones a 20 años y cuáles serían los aportes que puede llegar a generar la propuesta a lo largo de los años estableciendo algunos supuestos relevantes para que el proyecto pueda llevarse a cabo, con esto se espera poder calcular los valores de producción energética, costes asociados al funcionamiento del SREC, beneficios relacionados a la implementación del SREC.

Fase 6: Validación de la propuesta y conclusiones.

Una vez terminada la evaluación y la proyecciones se comenzara a comparar los posibles aportes del proyecto con los objetivos nacionales planteados en la ECLP junto a los objetivos planteados por nuevo Pudahuel para ir alineados con los objetivos del país, terminando estas evaluaciones hacer un análisis de riesgo y oportunidades que presenta el proyecto frente a los objetivos propuestos en la ECLP y otros similares para aportar al cambio climático y la transición a energía limpia, además de proponer conclusiones preliminares del proyecto.

2.3.4 Etapa 4: Limitaciones y restricciones.

Después de terminar el plan paso a paso se realizara un análisis de gestión de riesgo basándose en los lineamientos de la IEC 31010:2019 la cual es una norma que complementa a la ISO 31000 sobre la gestión de riesgo, la cual nos permitirá identificar las limitaciones de la tecnología y del proyecto junto a las restricciones que podrían afectar al proyecto,

posteriormente se procederá a crear un plan para minimizar el efecto de estas restricciones para una eventual implementación de este sistema.

2.4 Alcance

El presente estudio combina un enfoque exploratorio, descriptivo y proposicional, orientado al análisis de un proyecto que propone la implementación de un sistema de suelos inteligentes basado en tecnología de SREC en el Aeropuerto Arturo Merino Benítez (AMB). Desde una perspectiva exploratoria, se busca identificar el potencial de esta tecnología en entornos aeroportuarios nacionales, considerando que no existen implementaciones previas ni estudios formales en el contexto chileno. A nivel descriptivo, se realizará una caracterización técnica del funcionamiento de los sistemas piezoeléctricos, complementada con un análisis del consumo energético actual del aeropuerto, como también el flujo de pasajeros y la infraestructura disponible. Finalmente, desde el enfoque proposicional, se plantea el diseño conceptual de un proyecto de instalación de suelos capaces de transformar la energía cinética de las personas a energía eléctrica utilizable, con el fin de evaluar su desempeño esperado en términos económicos y ambientales, incluyendo estimaciones de generación de energética, costos de implementación mantenimiento y beneficios asociados como la reducción de la huella de carbono a nivel nacional, aportes a la educación de las personas entre otros.

El objetivo principal es determinar la viabilidad del sistema como una solución complementaria que contribuya a la transición energética nacional y a la sostenibilidad de la industria aérea, alineándose con los lineamientos establecidos en la ECLP de Chile. El alcance de esta investigación se limita al diseño y evaluación del proyecto en el contexto geográfico de las terminales de AMB, durante el período comprendido entre los años 2022 y 2024, considerando proyecciones técnicas y económicas a un horizonte de hasta veinte años. No se contemplara en esta investigación la etapa de ejecución, implementación ni pruebas piloto en terreno, sin embargo se espera que los resultados de esta investigación sirvan como base para una futura implementación real a escala piloto o comercial de esta tecnología en Chile u el resto de Latino América.

3 Estado del arte

3.1 Antecedentes del tema en estudio.

En este apartado se expondrá información relevante para comprender el tópico de la memoria, donde los subcapítulos que cumplirán esta tarea son:

- Contaminación ambiental y como se puede contrarrestar
- Compromiso de la aviación con el medioambiente.
- Compromiso de Chile con el medioambiente.
- Fuente de energía sustentable
- Antecedentes de uso de tecnologías similares en otros lugares o industrias de mundo (casos aplicados).

3.2 Contaminación ambiental y como se puede contrarrestar

Si queremos hablar de sobre la contaminación ambiental habrá que comprender primero su significado y para iremos a su raíz etimológica a lo cual la administración nacional oceánica y atmosférica de Estados Unidos de América o también conocida como NOAA por sus siglas en inglés, en uno de sus portales de educación explican lo siguiente.

“The word pollution is derived from the Latin term polluere, which means to soil or defile”

lo cual en su traducción literaria sería tal que así,

“ La palabra contaminación es derivado del latín polluere, que significa ensuciar o manchar”⁶

Por ende si se habla de contaminación ambiental se refiere al acto de ensuciar lo que nos rodea, sin embargo como se habla a escalas globales, lo que nos rodea sería todo el globo, ¿pero de que maneras se puede ensuciar el planeta? Pues la respuestas realmente es bastante simple, el ambiente lo podemos ensuciar desde el aire, agua, del suelo, acústica, lumínica, visual y térmica liberando sustancias o compuestos creados por el ser humano un ejemplo

⁶ La palabra *defile* tiene como significado manchar, profanar, deshonrar y contaminación.

Usando como referencia el diccionario Word Reference Inglés- Español ©2025

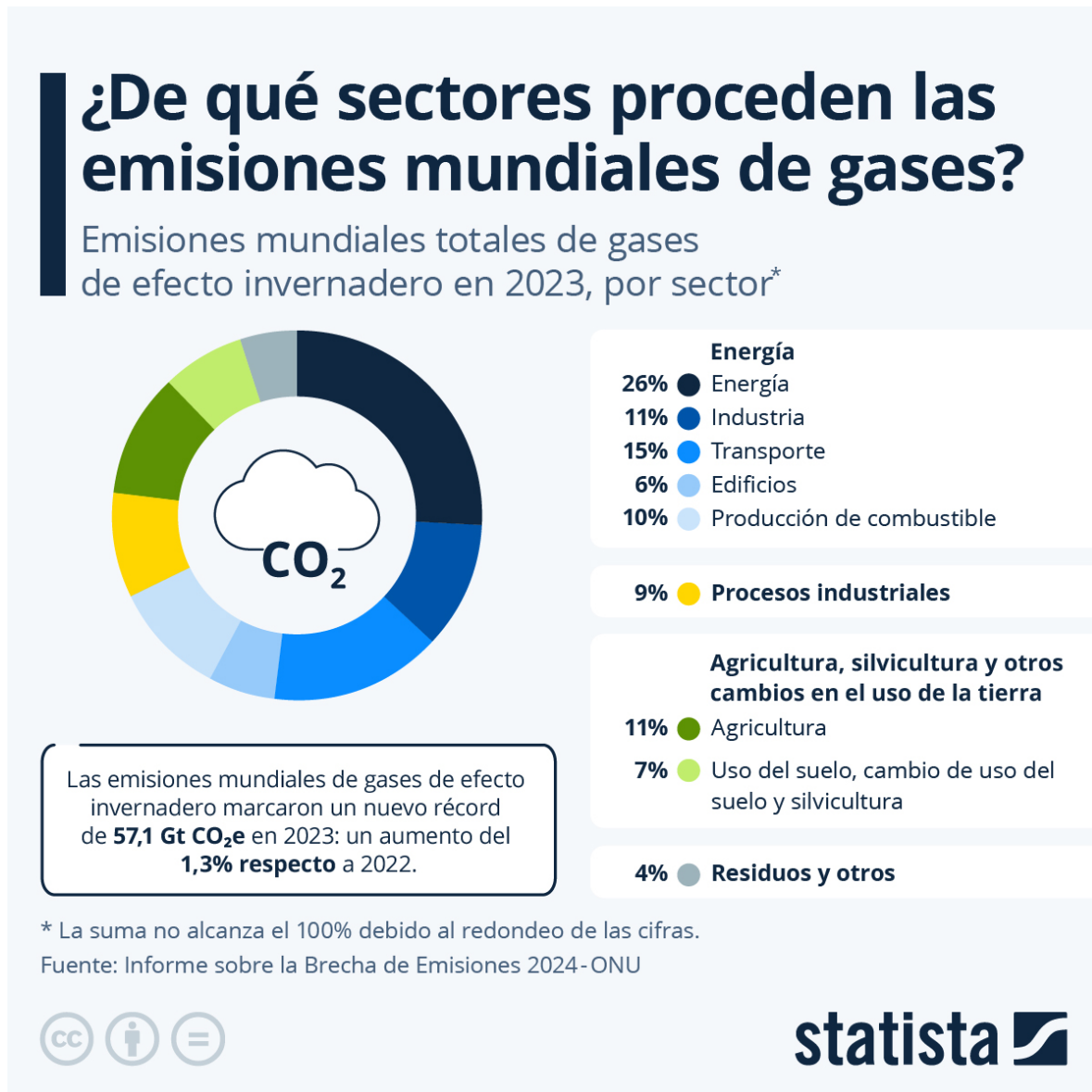
de ello tenemos el smog en las ciudades más pobladas, como Santiago, Hong Kong, Bali, Rio de Janeiro, entre otras muchas más, contaminan su aire con GEI procedente de la quema de combustible por autos y maquinarias industriales para producir electricidad.

Según la NASA el efecto invernadero es “la forma en que el calor queda atrapado cerca de la superficie de la Tierra por los gases de efecto invernadero (GEI). Se puede pensar en estos gases que atrapan el calor como una manta que envuelve a la Tierra, y mantiene al planeta más cálido de lo que sería sin ella. Los gases de efecto invernadero incluyen dióxido de carbono, metano, óxidos nitrosos y vapor de agua. (El vapor de agua, que responde física o químicamente a los cambios de temperatura, se denomina una "retroalimentación".)” (NASA, 2023).

Si bien los GEI son el vapor de agua, metano, óxido nitroso, ozono entre otros más, se suelen medir como CO₂ equivalente para fines prácticos para dimensionar con mayor facilidad las emisiones de GEI a escala global, tomando esto en cuenta, Statista estimó que para 2023 se emitieron unos 57,1 [GT CO₂eq]⁷

⁷ Esto equivale a $57,1 \times 10^9$, toneladas de Co₂ equivalente

Ilustración 1: Las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (GEI)

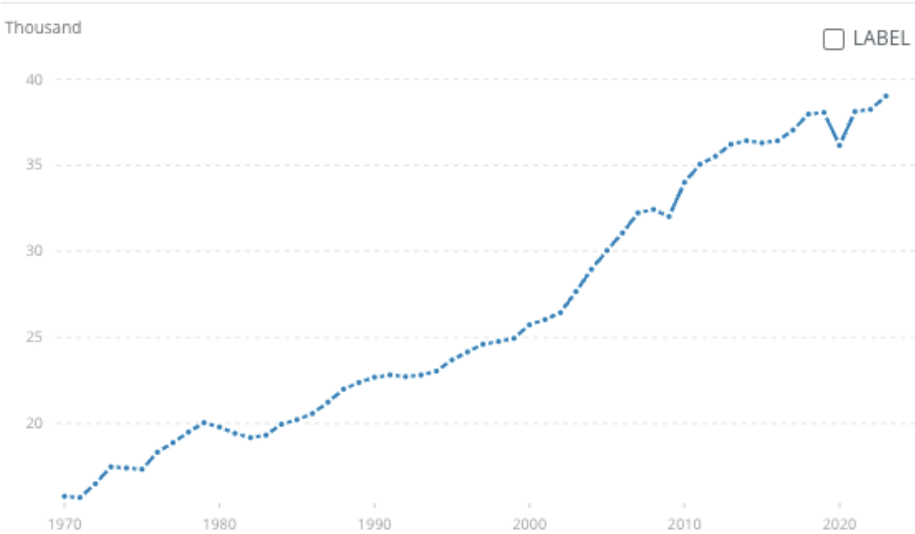


Fuente: María Florencia Melo, Data Journalist de Statista

Considerando estos datos tenemos que solo la industria de la energía produjo unos 14,8 [Gt CO₂ eq] solo en 2023, para poner estos datos en perspectiva, un avión Airbus A321 pesa alrededor de unos 48.500 [kg] el CO₂ equivalente producido por la industria energética equivaldría a unos insignificantes 306.103 aviones, lo que es unas 100 veces más que el total de A321 producidos por Airbus desde 1993 hasta la actualidad.

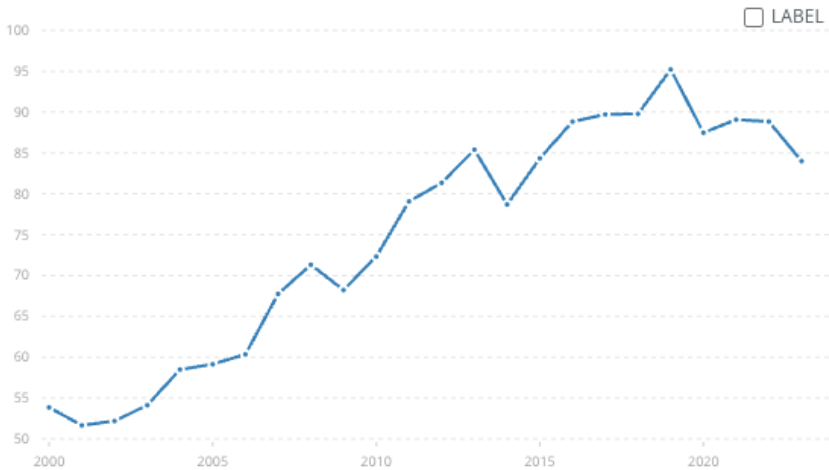
Por otra parte, el banco mundial posee estudios de las emisiones de GEI totales de equivalentes de CO2 a nivel global y por regiones lo cual nos permitirá analizar el comportamiento del mundo y el de Chile, lo que nos dará la oportunidad de ver como hemos llevado el tema de reducción de CO2 equivalente como país frente al resto del mundo.

Gráfico 2: Emisiones de CO2 totales a nivel mundial evolución desde 1970 hasta 2024



Fuente: (World Bank Group, 2025)

Gráfico 3: Emisiones de CO2 totales (kt de equivalente de CO2) en Chile, evolución desde 2000 hasta 2024



Fuente: (World Bank Group, 2025)

Ambas ilustraciones toman el periodo de tiempo desde los años 2000 hasta 2024 como se puede apreciar en ambas graficas existe un descenso en las emisiones, estas disminuciones pueden deberse a la pandemia del SAR-COV-19 del 2019 y a sus medidas de resguardos

como las cuarentenas y los confinamientos, lo cual pudo tener este efecto a gran escala, sin embargo esto no se sabe con certeza debido a que existen muchísimas variables que pueden afectar en mayor o menor medida al cambio en estas emisiones, lo que no se puede poner en duda es que esta pandemia si cambio vidas y a la sociedad a nivel mundial, y las emisiones de CO2 equivalente puede ser un indicador de ello.

Para complementar a esto existe además una gran diferencia entre ambos gráficos, ya que uno muestra la tendencia mundial y el otro la tendencia que tenemos como país, y lo que más llama la atención es que en la gráfica de Chile tiene una pequeña tendencia en los últimos años de bajar sus emisiones de CO2 equivalente, pero ¿cómo exactamente se logra bajar la emisiones de CO2 equivalente?. El Ministerio del medio ambiente otorga la siguiente descripción de a palabra mitigación *“Es una intervención humana encaminada a reducir las fuentes o potencias los sumideros (absorciones) de gases de efecto invernadero. Es decir, abordar las causas del cambio climático”* (MMA, s.f.). utilizando esta descripción podemos desglosar como cada industria puede mitigar sus emisiones de CO2 equivalente:

1. Energía: Convertir la producción de la red eléctrica en fuentes de baja emisión o completamente nulas, como lo son las energías renovables (Eólica, hidráulica, geotérmica, Biomásas, etc.) , mejorar la eficiencia de los aparatos que utilicen fuentes de energía (ampolletas, refrigeradores, hervidores, automóviles, buses, etc.), reducir el uso de combustibles fósiles para generar electricidad.
2. Industria: Creando procesos productivos más eficientes en el uso de recursos energéticos, reducción de uso de combustibles fósiles, implementando maquinarias impulsada con biocombustibles o electricidad.
3. Transporte: Reducción de uso de combustibles fósiles, aumentar la eficiencia de los motores, promover el uso de transporte público, promover el uso de vehículos menores como bicicletas, patinetas, etc.
4. Edificios: uso eficiente de los materiales de construcción, reducir el uso de plásticos de un solo uso, aumentar dotación de maquinarias de bajas emisiones, reducir el uso de materiales desechables.

5. Producción de combustibles: Aumentar dotación de biocombustibles, aumentar la eficiencia de los motores en el uso de los combustibles, transicionar a sistemas de combustión limpia.⁸
6. Procesos industriales: aumentar la eficiencia en las fábricas he industrias, aumentar fuentes de alimentación energética sustentable como biocombustibles o energías renovables.
7. Agricultura: reducción de pesticidas de origen químico y aumentar el uso de material orgánico para prevenir plagas he intoxicación de los alimentos y la tierra, aumentar la eficiencia en el uso de agua en sectores con escasez hídrica, uso de maquinarias de bajas emisiones.
8. Uso del suelo y silvicultura: aumentar dotación de bosques sustentables donde no se talen los árboles y promoviendo la poda de madera sin matar a los árboles quienes la producen, aumentar las reservas naturales y reducir la deforestación de bosques nativos y la destrucción de reservas ecológicas.

3.3 Compromiso de la aviación con el medioambiente

La Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA) que representa alrededor de 290 aerolíneas ha emitido una serie de comunicados indicando las medias a seguir para lograr estas metas, donde se destaca el “*COMUNICADO N°: 66*” donde traducido del inglés se tiene: “Las aerolíneas del mundo han tomado una decisión crucial para garantizar un transporte aéreo sostenible. La reconexión del mundo tras el COVID-19 está claramente encauzada hacia el “cero neto”. Eso garantizará la libertad de las generaciones futuras para explorar, aprender, negociar, construir mercados, apreciar culturas y conectarse con personas de todo el mundo de manera sostenible. Con los esfuerzos colectivos de toda la cadena de valor y el respaldo de las políticas gubernamentales, la aviación logrará cero emisiones netas en 2050”, dijo Willie Walsh, director general de IATA. Además, se destaca el apartado de los hitos donde se expuso lo siguiente: “La combinación de medidas necesarias para lograr

⁸ El termino de combustión limpia se refiere a un proceso que busca minimizar la contaminación atmosférica mediante la utilización de sistemas mayormente de doble cámara donde se permite quemar las partículas más finas de la combustión para así mejorar la eficiencia de esta.

cero emisiones netas para la aviación en 2050 irá evolucionando en base a la tecnología más rentable disponible en cada momento. La siguiente hipótesis de base se plantea sobre el enfoque actual:

- **2025:** Con el apoyo apropiado de políticas gubernamentales, se espera que la producción de

SAF alcance los 7.900 millones de litros (2% del consumo total de combustible).

- **2030:** La producción de SAF es de 23.000 millones de litros (5,2% del consumo total de

combustible). Los ANSP han implementado en su totalidad las Mejoras por Bloques del

Sistema de Aviación, de la OACI, y programas regionales, como el Cielo Único Europeo.

- **2035:** La producción de SAF es de 91.000 millones de litros (17% del consumo total de

combustible). Se destinan aviones eléctricos y/o de hidrógeno para el mercado regional (de

50 a 100 plazas en vuelos de 30 a 90 minutos).

- **2040:** La producción de SAF es de 229.000 millones de litros (39% del requerimiento total de

combustible). Se destinan aviones de hidrógeno para el mercado de corta distancia (100 a

150 asientos, vuelos de 45 a 120 minutos).

- **2045:** La producción de SAF es de 346.000 millones de litros (54% del requerimiento total de

combustible).

- **2050:** La producción de SAF alcanza los 449.000 millones de litros (65% del requerimiento

total de combustible).” (IATA, 2021).

Ahora en cuanto a las emisiones de los aeródromos tenemos que: “la experiencia de gestión y reducción consistentes del carbono dentro del programa Airport Carbon Accreditation, los aeropuertos europeos han pasado nuevamente a primer plano. En su

Resolución histórica adoptada en junio de 2019, se comprometieron a emisiones netas de carbono cero de las operaciones totalmente bajo su propio control para 2050 a más tardar. Yendo más allá de eso, han pedido a todas las partes interesadas de la industria que trabajen conjuntamente en el desarrollo de una ambición compartida, una hoja de ruta y una visión para que todo el sistema de transporte aéreo sea Net Zero.

Para alcanzar su compromiso, los aeropuertos europeos reducirán sus emisiones absolutas en la mayor medida posible y abordarán las emisiones restantes mediante la inversión en la eliminación y el almacenamiento de carbono. Esto significa que el compromiso Net Zero 2050 requiere que los aeropuertos reduzcan sus emisiones idealmente a cero.

Para ello, los aeropuertos pueden:

- Reducir el consumo de energía y combustible mediante el diseño de nueva infraestructura energéticamente eficiente y la modernización de la infraestructura existente
- Invertir en vehículos y equipos de bajo consumo energético.
- Cambiar a fuentes de energía y combustible sin emisiones de carbono.” (ACI, 2021)

Por otra parte, el director general Mundial de la ACI, Luis Felipe de Oliveira, dijo: “La iniciativa de los Aeropuertos del Mañana del Foro Económico Mundial-ACI Mundo ayudará a los aeropuertos a transformarse de centros de pasajeros en centros de energía. Es un momento emocionante para los aeropuertos: la transformación energética les brinda la oportunidad de seguir liderando y cambiar el futuro de la aviación para mejor. La descarbonización es un problema global crítico que requiere una respuesta global. Con el apoyo de los gobiernos y la colaboración de las partes interesadas a lo largo del ecosistema de la aviación, incluidos los productores de energía, los formuladores de políticas y la comunidad financiera en general, juntos podemos hacer que la transformación neta cero del aeropuerto sea una historia de éxito, al tiempo que mejoramos un futuro sostenible y resistente para los aeropuertos del mañana.” (ALA, 2023).

Con todo lo anteriormente expuesto se puede concluir que existe el interés de la industria aeronáutica a nivel mundial en reducir la huella de carbono, interés que se ve reflejado en las diferentes iniciativas propuestas y creadas por las grandes organizaciones líderes en esta industria como la IATA, la ACI, OACI entre otras, con esto se espera poder llegar a la carbono neutralidad a 2050

3.4 Compromiso de Chile con el medioambiente

Chile en 2015 fue parte de la COP 21 en París donde se establecieron objetivos para frenar el cambio climático, proponiendo un límite en el aumento de la temperatura global por debajo de los 2 grados siendo el límite en 1,5 grados centígrados, este trato fue firmado por Chile el 20 de septiembre del 2016 y posteriormente ratificó⁹ en 2017

Posterior a esto Chile presento en la COP 26 del 2021 su estrategia climática de largo plazo (ECLP) cumpliendo así con el artículo 4 del acuerdo de París, dentro de este plan estratégico se estipula que para lograr mitigar las consecuencias del cambio climático se fijara como objetivo para 2050 una reducción de 130 millones [tonCO2 eq] para ello se crea una estrategia para cada sector de contribución, donde se ha logrado identificar los ejes de energía y transporte como directrices para el desarrollo del proyecto.

Dentro de los lineamientos, destacan los siguientes objetivos del sector de transporte:

- 2. Planificación urbana con movilidad sostenible
- 5. Uso de tecnologías innovadoras
- 6 Aumento de tecnologías limpias
- 7 participación ciudadana y gobernanza

Y para el sector de energía destacan los objetivos

- 3. Tecnologías bajas en emisiones
- 5. Descentralización energética

Como bien se puede apreciar en Chile existe una conciencia ecológica de parte de la administración pública, donde ya se ha presentan un compromiso real con las reducciones de CO2 de nuestro país a través del ECLP y en adición a esto el gobierno el pasado 13 de Junio del 2022 promulgo la LEY 21.455, también conocida como LEY MARCO DE CAMBIO CLIMÁTICO, que daría apoyo a la directriz del país para cumplir con sus objetivos, además cabe destacar la siguiente cita hecha por el ministerio del medio ambiente, *“A través de una videoconferencia, el Gobierno de Chile hizo entrega oficial de la actualización de su Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), transformándose en el primer país latinoamericano y uno de los primeros países*

⁹ Ratificar: tr. Y prnl. Aprobar o confirmar actos, palabras o escritos dándolos por valederos y ciertos

del mundo en hacerlo. Este documento es una obligación establecida por el Acuerdo de París, y contiene los compromisos para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) al 2030 y enfrentar los impactos del cambio climático.” (Ministerio de Medio Ambiente de Chile, 2020). Esto demuestra que como país tenemos un interés sólido en lograr mitigar los efectos del cambio climático.

3.5 Fuentes de energía sustentables

Para poder hablar sobre este tema primero se debe comprender que es lo que se entiende comúnmente por energías sustentables o renovable y para ello el ministerio de energía comenta lo siguiente

“Son aquellas que provienen de fuentes consideradas inagotables, y que se caracterizan porque en sus procesos de transformación y aprovechamiento no se consumen a escala humana, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen o porque son capaces de regenerarse en el tiempo. Entre estas fuentes de energía se consideran la hidráulica, la solar, la eólica y la de los océanos. De igual forma, dependiendo de su modo de explotación, también pueden ser catalogadas como renovables la energía proveniente de la biomasa, la energía geotérmica y los biocombustibles.” (Ministerio de Energía de Chile, 2023)

Por otra parte, la IPCC declara como definición *“La energía renovable es cualquier forma de energía de origen solar, geofísico o biológico que se renueva mediante procesos naturales a un ritmo igual o superior a su tasa de utilización. Se obtiene de los flujos continuos o repetitivos de energía que se producen en el entorno natural y comprende tecnologías de baja emisión de carbono, como la energía solar, la hidroeléctrica, la eólica, la mareomotriz y del oleaje, y la energía térmica oceánica, así como combustibles renovables tales como la bio-masa.”* (Verbruggen, 2011).

Tomando en cuenta estas descripciones se puede considerar como fuentes de energía sustentable todas aquellas fuentes de energía que se consideren inagotables en a lo largo del tiempo, para poder tener un poco más de claridad vamos a revisar fuentes de energía sustentables que pueden ser útiles dentro de un aeropuerto.

Dentro de estas descripción se pueden considerar las siguientes energías renovables posibles de usar en Chile, tales como, la energía eólica, solar, oceánica y cinética. Dentro de este estudio se evaluará la prefactibilidad de la energía cinética principalmente.

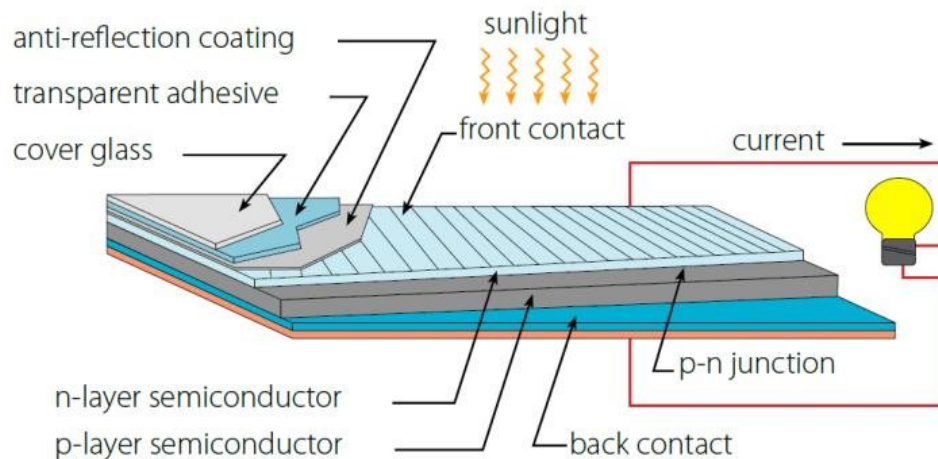
3.5.1 Fuente de energía solar.

Para comprender la relevancia de la energía solar en el contexto de las fuentes de energía sustentables, es vital la comprensión de los fundamentos físicos que hacen posible aprovechar esta tecnología. Esta forma de generar energía ha sido utilizada por la humanidad

desde mediados del siglo XX, la cual se basa en la conversión de la radiación solar a electricidad gracias a los dispositivos fotovoltaicos. Para la finalidad de este estudio, se abordarán únicamente los principios esenciales que logran explicar el funcionamiento de esta tecnología, con la finalidad de dar una contextualización de su potencial frente a entornos aeroportuarios.

La base del funcionamiento de la energía solar fotovoltaica se encuentra justamente en su efecto fotovoltaico el cual es un proceso físico en don la celda solar convierte la radiación del sol en energía eléctrica, esto es gracias a que la luz está compuesta por partículas de energías llamadas **fotones**, cuando estos impactan con la placa de la celda fotovoltaica, los átomos del material semiconductor liberan electrones del átomo, dejándolo libre para moverse. Sin embargo esto no es suficiente, además las celdas poseen dos capas diferentes, una conocida como **capa de tipo N** con carga negativa pues esta posee un exceso de electrones libres y la otra capa conocida como **tipo P** con carga positiva que tiene un déficit de electrones, al unir ambas capas, se crea un campo eléctrico permanente en la frontera entre ambas conocida popularmente como unión P-N. Este campo actúa como una barrera, impidiendo que los electrones de la capa N se recombinen con los huecos de la capa P.

Gráfico 4: Componentes de un panel solar



Fuente: (Omojola, 2015)

Para lograr crear una corriente se debe lograr hacer que la luz solar libere sus electrones al impactar con la celda y genere un campo eléctrico interno que va a interactuar sobre los electrones de la luz, esto produce que los electrones libres sean empujados hacia las capas N

y P, al separar las cargas se genera una diferencia de potencial, o voltaje, entre estas capas, similar a lo que sucede en una batería AA. Posteriormente para crear un circuito eléctrico se tiene que conectar unos contactos metálicos en la parte superior e inferior de la celda y esto se utiliza para unirla a un circuito externo para conectar el sistema eléctrico con la finalidad de prender una ampolla, un computador o ya dependiendo de los tamaños en la escala del sistema fotovoltaico puede llegar a alimentar una parte de la población de un país o ciudad (M.R. Cisneros, 2020)

Existen algunos factores que pueden influir directamente en la eficiencia y capacidad de un sistema fotovoltaico, siendo la orientación y ubicación de los paneles una de las principales, ya que si están mal orientados pueden verse afectados con menores horas de exposición a la luz solar afectando al rendimiento del sistema.

Además existen diferentes tecnologías fotovoltaicas, siendo las más comunes en el mercado las de silicio monocristalino y policristalino, reconocidas por su alta eficiencia y durabilidad. También existen celdas de películas ultradelgadas, que si bien son menos eficientes, pero tienen una mejor capacidad para incorporarse a otros materiales, debido a su gran flexibilidad y peso haciendo posible la compatibilidad de la tecnología con estructuras complejas.

En términos de sostenibilidad ecológica la energía solar presenta una huella de carbono inferior a otras fuentes, según el estudio de sobre el ciclo de vida de los GEI emitidos por la generación de electricidad, donde se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 1: Datos basados en los informes armonizados de NEL y IPCC sobre la el ciclo de vida de los GEI en la generación de electricidad

Fuente de energía	Huella de carbono (gCO ₂ eq/kWh)	Comentarios
Carbón	1001	Fuente de energía no renovable con mayor huella de carbono, mayormente viene de la quema del mismo.
Petróleo	840	Fuente de energía no renovable, con una huella de carbono alta, mayormente su huella proviene de la quema del combustible y sus derivados

Nuclear	13	Fuente de energía no renovable con menor huella de carbono, principalmente esta huella viene del ciclo de vida del combustible y de la construcción de las centrales nucleares.
Fotovoltaica	43	Esta huella proviene principalmente de la fabricación de los paneles.
Eólica	13	Esta huella de carbono proveniente de la fabricación de las turbinas.
Gas natural	486	Fuente de energía no renovable con menor aporte producto a la combustión, si bien es la mitad que el petróleo o el carbón sigue siendo una huella muy alta

. Fuente: (Garvin Heath, 2021).

3.5.2 Fuente de energía eólica.

Continuando con la comprensión de la energías sustentables continuaremos con la energía eólica, el inicio del uso de la energía eólica puede tener fechas muy diferentes de datación, si hablamos de la energía eólica como fuente de energía y no electricidad, podríamos decir que los primeros usos de la energía eólica puede ser con los egipcios con sus embarcaciones que usaban para navegar por el río Nilo y entre los mares del Mediterráneo y el Rojo, con embarcaciones de junco con un mástil para una vela simple, cuya datación se remonta a los 3500 a.c o ya acercándonos al concepto de energía mecanizada están los molinos de viento que pueden datar desde el siglo XII¹⁰ con los molinos de viento de los holandeses. (Rojas Sola & Amezcua Ogayar, 2005)

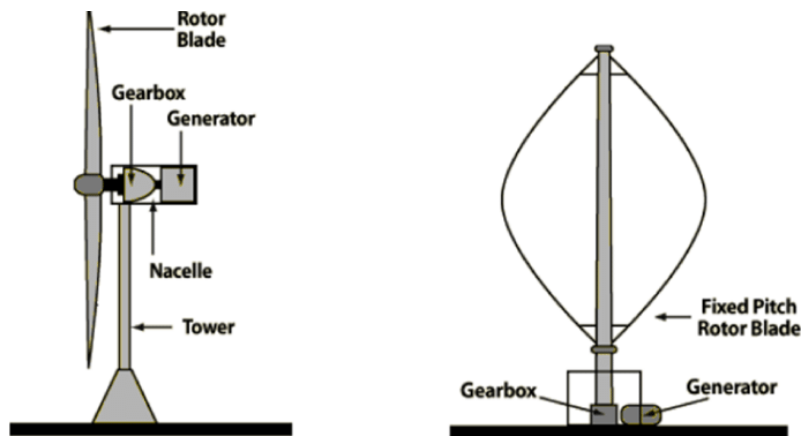
¹⁰ Realmente no existe un consenso del origen del uso de estos aparatos, algunos postulan desde los greco-romanos, otros dicen que en china y la cultura árabe en la edad media y otros consideran la invención está en Europa occidental con Holanda y países bajos en el siglo XII.

Ilustración 2: molino de viento en países bajos.*Fuente: (Anciente Engineering Technologies, s.f.)*

Actualmente las turbinas eólicas funcionan gracias a que aprovechan el movimiento del aire, para transformar su fuerza en energía mecánica mediante turbinas, y posteriormente transformarla en energía eléctrica con generadores, desde el punto de vista de lo físico, su fundamento consta en la conversión de la energía cinética del viento a movimientos aprovechables, siendo esta una de las características más importantes para lograr hacer esta fuente de energía como la segunda opción más popular dentro de las energías renovables, siendo desplazada por la solar la cual es más codiciada.

Por otro lado el principio de funcionamiento de una turbina eólica actual se basa en el efecto aerodinámico que se produce sobre las palas, las cuales están diseñadas para captar la energía del viento mediante su perfil alar. Este movimiento rotacional se transmite a un eje conectado a un generador eléctrico. La cantidad de energía producida por una turbina está determinada por la densidad del aire, el área barrida por las palas y, sobre todo, la velocidad del viento, siendo esta última variable la más crítica. (Ackermann & Söder, 2002)

Si bien llevamos usando esta tecnología hace muchísimos años de momento suelen usarse solo dos tipos de turbinas, las de eje horizontal y las de eje vertical, donde las de eje horizontal son usadas para proyectos industriales a gran escala por otra parte las de eje vertical a pesar de ser menos eficientes, pero por su diseño compacto y silencioso presenta ventajas significativas para ambientes urbanos o zonas con espacios reducidos.

Ilustración 3: Tipos de turbinas eólicas de eje vertical y horizontal.

Fuente: (Ebeed, 2013)

Por otra parte si hablamos sobre la compatibilidad de esta tecnología para ambientes aeroportuarios, presenta desafíos únicos y grandes oportunidades, tenemos por un lado la existencia de áreas libres muy extensas en los aeropuertos donde puede circular el viento sin problemas, entregando un ambiente óptimo para el funcionamiento de las turbinas. Sin embargo no es tan fácil como llegar y colocar turbinas eólicas en cualquier parte de un aeropuerto ya que estos presentan normas y restricciones operacionales que impiden que algún objeto en las inmediaciones del aeropuerto pueda presentar problemas a la seguridad operacional y de aeronavegabilidad de las aeronaves, esto ya que estas estructuras pueden presentar interferencias en los radares y en los sistemas de comunicación, además involucrar obstáculos muy altos cerca de las pistas de aterrizaje puede ser muy peligroso.

Para el contexto de Chile existe un potencial eólico considerable, pero en regiones en la zona norte y sur del país, si bien su implementación en aeropuertos es escasa no ha detenido el estudio de implementar microturbinas en áreas alejadas a las pistas podría presentar una solución viable para generar energía eólica en sectores aeroportuarios, además está la posibilidad de tener sistemas híbridos solar-eólicos lo cual puede presentar un suministro más estable y constante durante el día y con diferentes condiciones climáticas.

3.5.3 Energía Cinética.

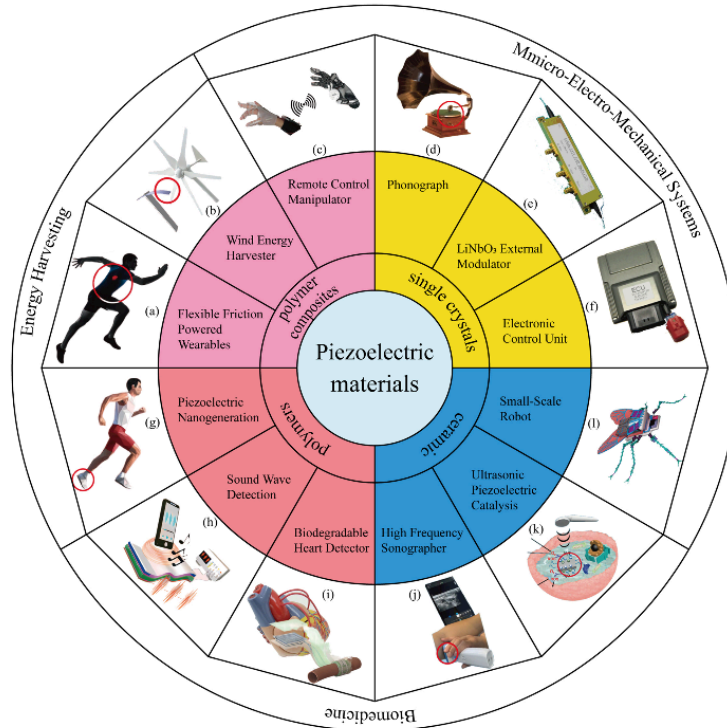
La energía cinética es la energía proveniente del movimiento de los cuerpos como lo podría ser el movimiento de un auto sobre la carretera, el caminar de una persona o incluso el aterrizaje de un avión. La constante común entre estos 3 ejemplos son hacia donde dirigen la energía cinética estos cuerpos, pues esencialmente esta energía se redirige al suelo en caso de las personas, al asfalto en caso de los autos y a la pista de aterrizaje para los aviones. Sin embargo esta energía suele no aprovecharse debido a que existen escasos sistemas de recolección de energía cinética que la conviertan en energía eléctrica. Dentro de los sistemas de recolección de energía cinética o SREC como se vio anteriormente, existen principalmente tres tipos los sistemas piezoeléctricos, los electromagnéticos y los hidráulicos. Pero para efectos prácticos dentro de este estudio solo se considerarán los sistemas piezoeléctricos y electromagnéticos

3.5.3.1 Sistemas de recolección piezoeléctricos.

La piezoelectricidad es una tecnología descubierta en 1880 por los hermanos Jacques y Pierre Curie (Curie & Curie, 1880), descubrieron que los materiales cristalinos hemidríco¹¹ con caras inclinadas al ser expuestos a una presión a través de un eje específico son capaces de producir electricidad polarizada, causando así que las extremidades del eje se carguen positiva y negativamente, sin embargo esta electricidad se genera solo cuando la presión está cambiando. Si el cristal se descomprime el fenómeno se revierte. Por otra parte este fenómeno se produce gracias a las características de la estructura del cristal. Por otra parte, la investigadora Yazhou Yang, realizó un estudio sobre la aplicación de los actuadores piezoeléctricos donde destacó el uso de esta tecnología en áreas como la biomedicina, la Nanotecnología y la recolección de energía, dejando así en su estudio la siguiente ilustración.

¹¹ La Hemiedría es un concepto cristalográfico que describe la peculiaridad de los cristales de presentar modificaciones en la mitad de sus aristas y ángulos, creando así una reducción en su simetría esperada de estructura ideal cristalina.

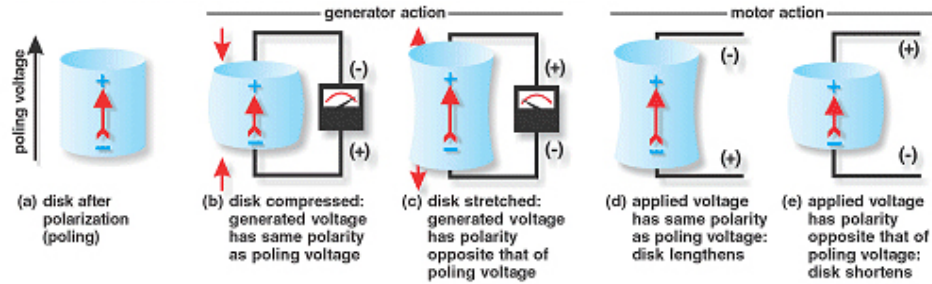
Ilustración 4: Aplicaciones más comunes de materiales piezoeléctricos, como en sistemas microelectromecánica, biomecánica y recolección de energía.



Fuente: (Yang, 2023)

Para poder comprender un poco mejor como es que funciona el efecto piezoeléctrico, se tiene que aclarar que la característica hemidétrica corresponde a una forma única encontrada en cristales que hacen que las moléculas del mineral se vayan formando como un cristal ideal y en la mitad de esta formación pierde su estructura causando la pérdida de un electrón producto su deformación en la simetría cristalina en el proceso de formación del mineral, sin embargo esto no sirve si solo ocurre en el final de la estructura, para que un material cristalino presente piezoelectricidad este tiene que tener la mitad de elementos de simetría en su estructura Holoédrica. Una vez que logramos identificar un cristal que posea estas características se procede a exponerlo a presiones sobre un eje específico donde los polos de los mismos se polarizan electrónicamente, causando un pequeño flujo de electrones, el cual se puede utilizar para generar energía con diferentes transductores y actuadores. Para visualizar este concepto se presenta la siguiente ilustración extraída de la sección de conocimientos de la empresa APC internacional LTD, quienes son expertos en la venta de materiales piezoeléctricos.

Ilustración 5: Representación del efecto piezoeléctrico directo. Al aplicar una fuerza mecánica sobre la estructura cristalina, se produce un desplazamiento de cargas que genera un voltaje.



Fuente: (APC international LTD., 2024)

Por otra parte existen empresas que comercializan este tipo de tecnología entre las cuales destacan physik instrument y APC international LTD, quienes se especializan en la venta del material piezoeléctrico, desde actuadores y sensores hasta elementos personalizados que utilicen esta tecnología. Por el lado de las implementaciones a gran escala de esta tecnología es difícil de encontrar debido a las limitaciones en la generación de electricidad de los materiales piezoeléctricos ya que no tienen una capacidad limitada para alimentar máquinas siendo las de alto consumo como autos o vehículos mayores las más perjudicadas por esta limitación. Por lo general estos materiales se utilizan para potenciar diferentes sensores y baterías de baja capacidad, producto a los niveles de producción energética que poseen lo cual supone un gran problema para su escalabilidad sin embargo esto no significa que no puedan utilizarse para hacer pequeños ahorros en sensores o luces de bajo consumo, lo cual puede permitir no perder energía de fuentes principales en maquinarias de gran escala como aviones o automóviles y terminar creando un aporte lo suficientemente alto como para rentabilizar estas aplicaciones. (APC International, LTD., s.f.).

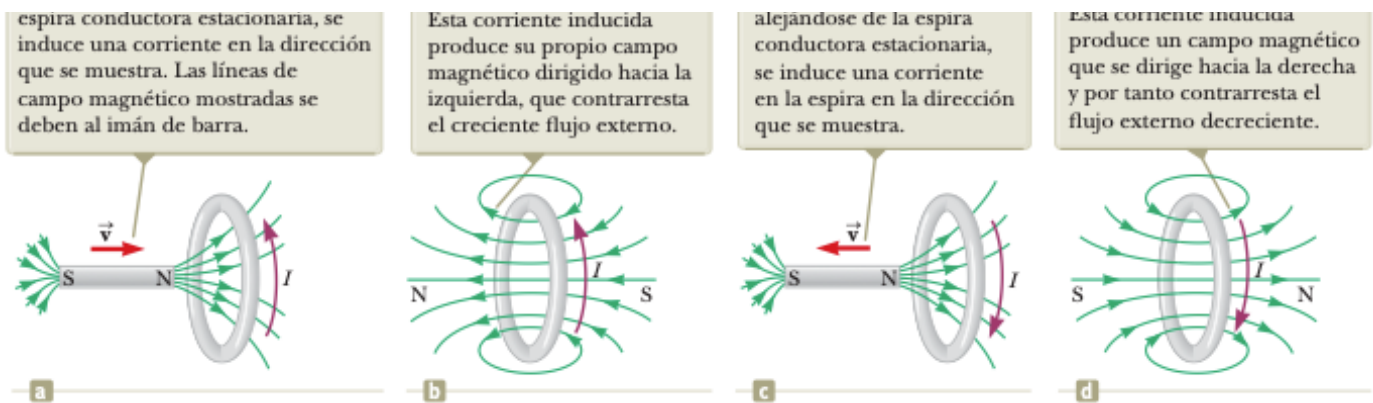
3.5.3.2 Sistemas de recolección electromagnética.

Los SREC mediante electromagnetismo aprovechan los campos magnéticos para generar electricidad. Esto se logra mediante la transformación de energía cinética en energía eléctrica utilizable. Según la ley de Faraday y Lenz, un voltaje de corriente alterna (CA) se induce cuando un cuerpo magnético se desplaza a través de una bobina conectada a un circuito cerrado. Este movimiento genera un cambio en el flujo electromagnético, provocando una corriente inducida. De acuerdo a la ley de Lenz, dicha corriente se orienta

en dirección opuestas al cambio que la generó, lo que significa que se opondrá al campo magnético del imán en movimiento (sarker, y otros, 2019). Este principio es esencial para convertir el movimiento en energía eléctrica, siendo ampliamente utilizada en diferentes tipo de mecanismos de producción energética como en los mismos sistemas eólicos o en represas gigantes donde mueven motores eléctricos con este mismo principio físico.

A modo de representar de manera visual este principio se extrajo la siguiente ilustración desde el libro de Física de Raymond A. Serway y Jhon W, Jewett, JR, donde se presenta una aplicación d la ley de Lenz.

Ilustración 6: Aplicación de la ley de Lenz para una bobina con un imán en movimiento.



Fuente: Libro Física para ciencias e ingeniería, décima edición. (Serway & JR, 2019)

Actualmente, existen empresas como Pavegen y Energy Floors que han logrado con éxito implementar el principio del electromagnetismo en soluciones aplicadas a entornos urbanos con alto flujo de personas. Estas compañías desarrollaron un sistema que le llaman suelos inteligentes capaces de captar la energía cinética del pasar de las personas, transformándola en electricidad. Además de producir energía estos sistemas permiten recopilar datos relevantes, como la cantidad de pisadas, rendimiento energético del sistema, activación de sensores en tiempo real, etc. A continuación se analizarán en detalles diversas instalaciones realizadas por estas empresas, con el fin de comprender mejor el funcionamiento de estas aplicaciones prácticas y cuál es el potencial de la implementación de estos sistemas en entornos aeroportuarios.

3.6 Antecedentes de uso de esta tecnología en entornos urbanos y de alto tránsito

En el contexto del desarrollo urbano sostenible y de ciudades inteligentes han emergido diversas tecnologías capaces de capturar energía a partir del entorno y del comportamiento de la gente al caminar entre sectores urbanos. Particularmente, las soluciones que aprovechan la energía cinética generada por el tránsito peatonal ha ganado atención en sectores de alto tránsito como estaciones de trenes, centros comerciales, eventos masivos e inclusive aeropuertos. Estas iniciativas no solo buscan generar electricidad si no también buscan sensibilizar a la ciudadanía respecto al uso eficiente de los recursos energéticos como hacerlos participe del cambio y de la innovación del país o de la empresa quien instale estos sistemas. En este apartado se presentarán antecedentes de uso e implementación de esta tecnología en ambientes similares al aeropuerto de AMB, destacando los resultados de estas implementaciones.

Por ejemplo la empresa Pavegen una de las empresas con mayor renombre en la industria, debido a que cuenta con más de 300 proyectos en 37 países, donde se destacan las siguientes instalaciones:

1. *ADIDAS MARATHON, CHILE.*
2. *HEATHROW AIRPORT, UK.*
3. *ABU DHABI AIRPORT, UAE.*

El primero es el caso a analizar es el de la activación hecha por la empresa Adidas con su maratón en Chile donde se recolectaron los pasos de más de 25000 personas utilizando 16 baldosas para potenciar una pantalla instalada en el kilómetro 35 de la carrera donde se mostraban mensajes inspiracionales personalizados para algunos corredores que pasaba para entregarles un impulso moral para que den su último esfuerzo para terminar la carrera. Lo cual presenta una gran manera de crear una experiencia agradable a las personas. Sin embargo esta activación fue lograda con el objetivo de promocionar el lanzamiento de sus zapatos Boost en Sudamérica creando una experiencia atractiva e interactiva para conectar con los participantes de la maratón.

Ilustración 7: Caso Adidas Marathon, Chile



Fuente: (PAVEGEN, 2013).

Un caso particularmente similar al proyecto que se plantea en esta investigación es la instalación en el aeropuerto de Heathrow en reino unido en donde se buscaba cambiar una experiencia cotidiana en algo extraordinario con una experiencia inmersiva e interactiva con la infraestructura mediante un juego de luces completamente alimentado con la energía de los pasos de los pasajeros en una de las terminales más transitadas del reino unido capturando el paso de alrededor de 10.000 personas diariamente. Además esto sentó precedentes de cómo se pueden integrar tecnologías sustentables en ambientes de alto tráfico. Con ello la empresa subrayó la importancia de reimaginar el cómo interactuamos con nuestro entorno en espacios urbanos, siendo el aeropuerto una puerta para la integración de nuevas tecnologías.

Ilustración 8: Caso Heathrow airport, UK



Fuente : (Pavegen, 2020)

Finalmente se encuentra la instalación en el aeropuerto de Abu Dabi en Emiratos Árabes Unidos (EAU) la que fue llevada a cabo por el gobierno de EAU quienes hicieron una colaboración con la empresa Masdar la cual es líder en la industria de energías renovables En el país arábico. La cual construyó un espacio de 16 metros cuadrados en la conexión entre los terminales 1 y 3 del aeropuerto para alimentar pantallas que muestran de manera interactiva datos de la instalación como la cantidad de pasos dados, energía producida entre otros, además tienen un sistema de luces interactivas. Entre 2018 y 2019 esta instalación recibió alrededor de 2 millones de personas que cruzaron por esta conexión, creando así una experiencia memorable al pasajero al momento de caminar por esta terminal la cual invita a los pasajeros a ser parte del cambio ecológico que está teniendo el país arábico. Además este sistema provee de datos analíticos que se proyectan en una pantalla para reforzar el impacto del aporte hecho por cada persona al pisar este suelo inteligente creando así una conexión más profunda con el mensaje ecológico que quiere entregar el país.

Ilustración 9: Instalación en el aeropuerto internacional de Abu Dabi en Emiratos Árabes Unidos



Fuente: (Pavegen, 2019)

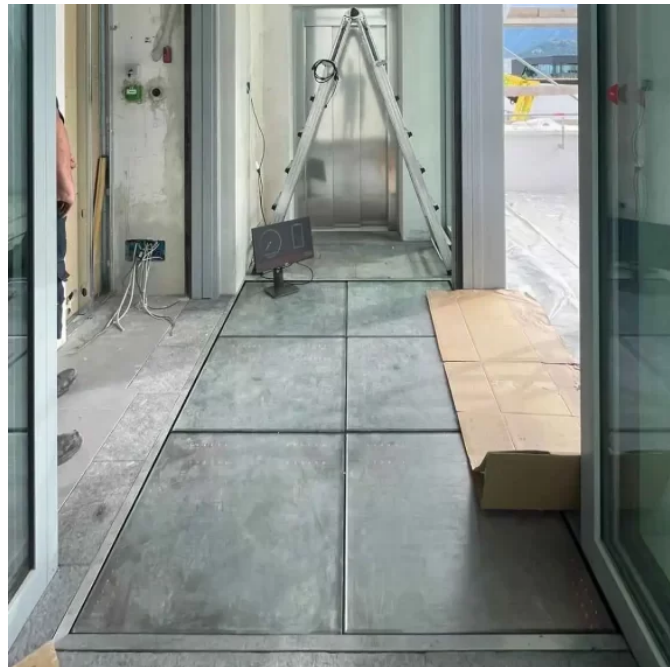
Por otra parte la empresa Energy Floors también parte de las empresas líderes en este rubro, poseen un centenar de proyectos, siendo los siguientes los más destacados :

1. Würth Smart building, Italia
2. Train Stations Netherlands
3. Malta's Presidential Eco Garden, Malta

Para el primero de los casos se presenta la instalación de un sistema de recolección de energía utilizando un total de ocho baldosas estratégicamente colocadas en la entrada de la cafetería

en la sede en Egna de la empresa Würth a través de un concurso para impulsar la innovación sustentable y la transformación digital en empresa. Con esto la empresa estima recolectar los pasos de un total de 400 personas al día, tomando la suposición de que los visitantes puedan dar un promedio de 3 pasos al cruzar por las puertas. Este sistema sería capaz de producir unos 2400 Joules al día, para ello la empresa estima una activación de alrededor de 51.000 personas, un impacto ambiental de €43.364 y un impacto comercial de €24.210_estos son valores_ estimados a 10 años por la misma empresa_.

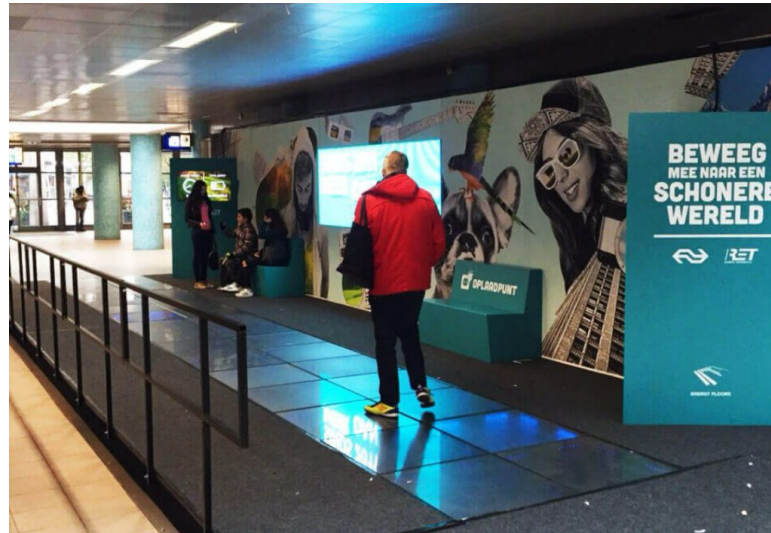
Ilustración 10: Instalación de baldosas en la entrada de la sede central de Würth en Egna Italia



Fuente: (Enegy FLoors, 2024)

Otro de los casos populares de la misma empresa, es de la instalación hecha en las estaciones de trenes Schiedam Centrum, Amsterdam Sloterdijk y Rotterdam Central. Nederlandse Spoorwegen (NS), la cual es la empresa encargada de los servicios ferroviarios de países bajos, donde instalaron en las estaciones un conjunto de 32 baldosas conectadas a unas estaciones de carga para celulares, pantalla LED las cuales utilizaban para reproducir animaciones e información sobre la producción de energía, para alimentar todos estos aparatos se utiliza la energía generada por los transeúntes que circulan por cada terminal durante el día.

Ilustración 11: Instalaciones de la empresa NS en estaciones ferroviarias como campaña para una movilidad sustentable en el transporte ferroviario de Países Bajos.



Fuente: (Energy Floors, 2018).

Finalmente tenemos el caso del jardín presidencial ecológico de Malta, donde antevinieron una plaza histórica en el país dentro de parque “president’s Kitchen Garden” la cual se encontraba en remodelación. El objetivo principal de esta instalación fue el crear un espacio familiar donde se pudiera educar a los niños e involucrarlos en los principios de producción y conservación de la energía y de los recursos naturales. La empresa se encargó de instalar un juego de luces en el centro del área de juego de niños en adición a esto se colocaron pasillos con suelos inteligentes con baldosas potenciadas con paneles solares integrados en el suelo, además se implementó un espacio donde la gente puede utilizar bicicletas estáticas para generar energía. Esta intervención se logró de la mano con el gobierno de Malta dentro de la ciudad de Mgarr.

Ilustración 12: Instalación en el parque President kitchen Garden en Mgarr Malta*Fuente: (Energy Floors, 2018)*

3.7 Valor de un dato.

En la actualidad, los datos se han convertido en uno de los activos más valiosos para las organizaciones, especialmente en contextos de análisis de macrodatos. Para el caso de la tecnología anteriormente expuesta que permiten producir energía de este modo también brindan la posibilidad de rescatar información relevante sobre el comportamiento del peatonal sobre las baldosas. Entre los principales datos que se pueden recolectar se encuentran los datos referentes a la cantidad de pasos dados, los horarios de mayor circulación, la fuerza promedio de cada pisada, e inclusive variables ambientales como temperatura y humedad del ambiente. Esto gracias a que los proveedores permiten incluir sensores extras para permitir medir diferentes parámetros de interés de cada cliente. Este tipo de información resulta ser bastante útil para los distintos actores alrededor del aeropuerto como lo son operadores aeroportuarios, empresas de publicidad, organismos de seguridad, comercios y restaurantes, en consecuencia esto permite optimizar las ubicación de servicios, reforzar puntos críticos dentro de las instalaciones para así mejorar la experiencia del usuario en la terminal, crear campañas publicitarias personalizadas e inclusive permite estudiar y estimar con mayor precisión mejoras o cambios en la infraestructura del aeropuerto. Asimismo, los datos permiten alimentar dashboards y elaborar informes periódicos para la toma de decisiones basadas en evidencia solida de datos. En este contexto el valor comercial de estos datos radica en la capacidad de procesar y analizar la información recolectada, permitiendo la elaboración de informes específicos para entidades interesadas como la

DGAC, MOP, PDI, locales comerciales, restaurantes entre otros. Estos documentos pueden complementar los criterios de toma de decisiones relacionados a la planificación, expansión o rediseño de la terminal. Por tanto se estima que la creación de dichos informes puede significar una forma de generar ingresos dentro del proyecto, proponiendo venta de diferente tipos de estudios tomando en cuenta los diferentes niveles de profundización del análisis, lo cual permite ampliar el modelo de negocio más allá de la generación eléctrica, otorgando así una fuente adicional de ingresos con alto potencial de crecimiento a largo plazo ya que entre más área este cubierta con el suelo inteligente más precisos serán los datos.

Para fines prácticos los valores relacionados al ingreso por venta de estos datos no se considerarán dentro del estudio económico a realizar ya que este no posee un valor dinámico dependiendo de la profundidad del análisis

4.Desarrollo

En este capítulo se desarrollará en plenitud el plan metodológico planteado previamente, el cual tiene como finalidad guiar de forma estructurada el diseño y evaluación de la propuesta de crear un sistema de producción de energía eléctrica de manera sustentable para el Aeropuerto Arturo Merino Benítez. Todo mediante seis fases las cuales se estructuran como diagnóstico, investigación tecnológica, diseño conceptual del proyecto, evaluación técnica-económica, proyecciones, validación de la propuesta. Esto se abordará progresivamente la comprensión del problema, la explicación de las soluciones propuestas y el análisis de factibilidad en un contexto real. Cada una de estas etapas permitirá avanzar desde la recopilación de datos y análisis de la información relevante hasta realizar una propuesta alineada con los objetivos de sostenibilidad energética y de reducción de emisiones en el sector de transporte en Chile.

4.1 Desarrollo del plan paso a paso

A continuación se presentará la información que se logró recopilar para el desarrollo del diseño del proyecto y el análisis en de la información siguiendo el orden lógico planteado a continuación.

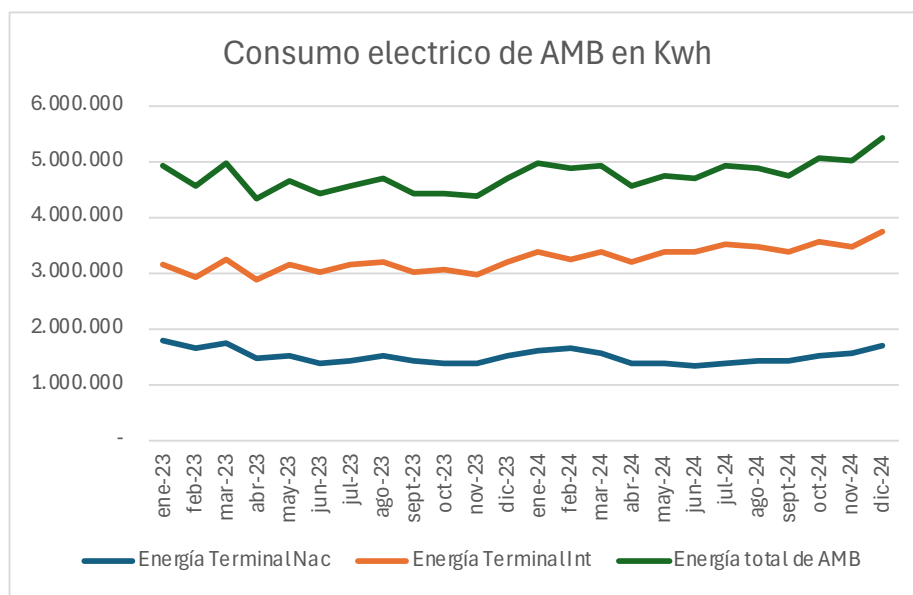
4.1.1 Diagnostico

La fase de diagnóstico es la primera parte del desarrollo del proyecto el cual tiene como finalidad reunir, analizar y comprender la información relevante al contexto energético actual del aeropuerto AMB. Esta etapa será crucial para para identificar con éxito las operaciones que tiene el aeropuerto en los patrones de consumo eléctrico y los flujos de personas y pasajeros obteniendo datos que influirán en el diseño de esta solución energética sustentable. Para ello se recopilarán datos sobre el consumo eléctrico en los últimos años, el comportamiento general de los flujos y tránsitos de personas por la terminal. Para complementar a esto se considerarán algunas normativas técnicas y restricciones asociadas al uso de espacios un entrono aeroportuario, las cuales son determinantes al momento de escoger donde se podrá instalar el proyecto.

Por lo tanto si hacemos una búsqueda por internet sobre los datos de consumo eléctrico de AMB uno llega a encontrarse con que existen escasas fuentes donde se pueda encontrar datos con esta información. Sin embargo en la página de la concesionaria Nuevo Pudahuel se pueden encontrar diversas noticias y comunicados hablando sobre sus objetivos y

propuestas a futuro para reducir su consumo eléctrico y aumentar su producción de energías renovables por la terminal, sin embargo desde la web de LinkedIn se logró dar con personal en la gerencia de sustentabilidad de nuevo Pudahuel, rescatando los contactos de Jhon Rathkamp Gerente de sustentabilidad o CSO¹² y Antonio Baeza subgerente de calidad y medio ambiente logrando entablar conexión vía correo electrónico y de acuerdo con la información entregada se pudo obtener que el promedio de consumo eléctrico mensual es de 4,75 [GWh]¹³ y al año se logran alcanzar valores de 57 [GWh] en todo el aeropuerto AMB, asimismo con estos datos se construyeron algunos gráficos y tablas que serán utilizados en la investigación, los siguientes datos serán cruciales para tomar decisiones más adelante..

Gráfico 5: Consumo eléctrico de AMB por terminal y total en KWh para el periodo de 2023-2024.



Fuente: Elaboración propia con datos entregados por Nuevo Pudahuel.

A partir de lo anterior se pueden calcular los siguientes indicadores de cada año.

Tabla 2: Indicadores de consumo eléctrico en el terminal AMB diferenciado por año en valores de KWh.

Indicadores [Meses]	2023	2024
Máximo Anual [Kwh]	4.953.018	5.433.198
Máximo Nacional [Kwh]	1.782.982	1.700.672

¹² Chief Sustainability Officer

¹³ 1 [GWh] = 1.000.000 [KWh]

<i>Máximo Internacional [Kwh]</i>	3.218.729	3.732.526
<i>Consumo Anual [Kwh]</i>	55.002.798	58.900.795
<i>Promedio Nacional [Kwh]</i>	1.508.015	1.480.213
<i>Promedio Internacional [Kwh]</i>	3.075.552	3.375.044
<i>Promedio Total [Kwh]</i>	4.583.567	4.855.257

Fuente: Elaboración propia con datos de Nuevo Pudahuel

Lo anterior permite calcular la variación anual en el consumo utilizando la fórmula de variación porcentual.

$$\left(\frac{X_{Final} - X_{Inicinal}}{X_{Inicinal}} \right) * 100\%$$

Ecuación 1: Variación entre variables.

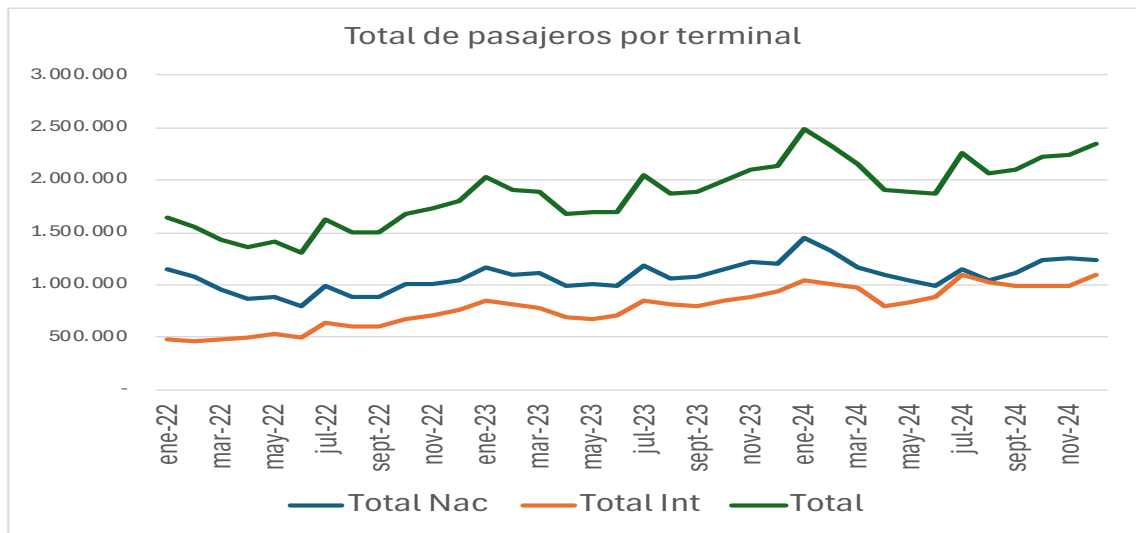
Y al reemplazar esta fórmula con los valores de consumo eléctrico anual nos queda que

$$\left(\frac{58.900.795 - 55.002.798}{55.002.798} \right) * 100\% = 7,09\%$$

Si bien no se puede inferir mucho sobre este dato, este será crucial para cuando se comiencen a calcular las proyecciones de consumo en la sección de **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** más adelante.

Según los datos recopilados por la JAC en sus informes estadísticos mensuales del tráfico aéreo se estudiaron los valores desde el 2022 al 2024 dejando aparte las irregularidades en la demanda de pasajeros producto la pandemia en los años 2020 a 2021. Así mismo con estos datos se pueden utilizar para calcular indicadores como el mes de mayor flujo en el año o la variación en las cantidades anuales y con esto se puede calcular las proyecciones las cuales se realizarán más adelante en este capítulo.

Gráfico 6: Total de pasajeros diferenciado por terminal desde enero 2022 hasta diciembre del 2024.



Fuente: Elaboración propia con datos de la JAC

A partir de lo anterior se puede calcular diferentes indicadores como la variación entre los años o meses, los valores máximos, sus promedios y su variación anual. Obteniendo así la siguiente tabla de indicadores

Tabla 3: Indicadores del flujo de pasajeros en AMB expresado en unidades y porcentajes.

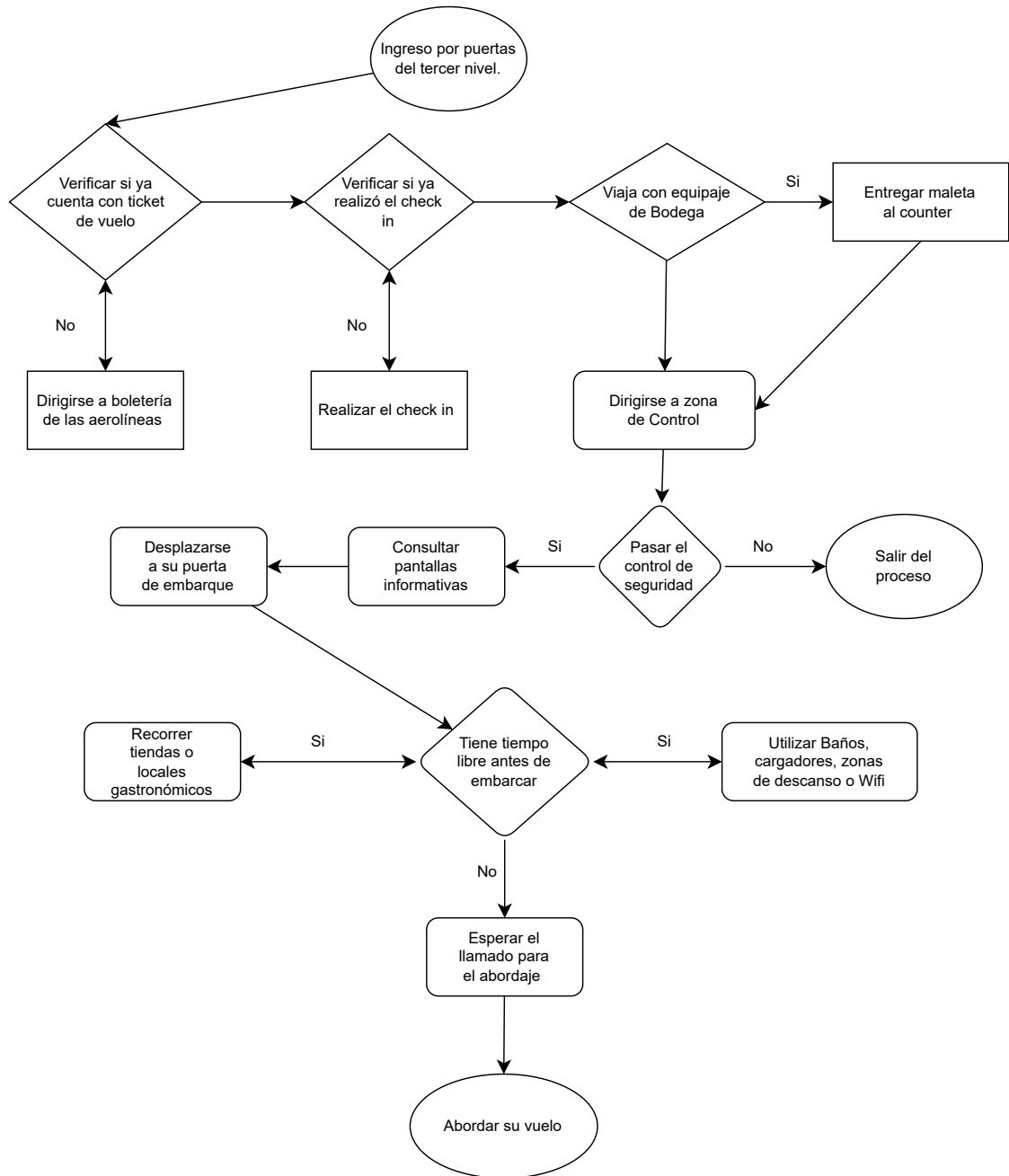
Indicadores [Meses]	2022	2023	2024
Máximo Anual	1.800.252	2.135.738	2.489.620
Máximo Nacional	1.155.694	1.211.962	1.439.931
Máximo Internacional	755.210	929.660	1.100.332
Flujo anual	18.519.667	22.915.885	25.840.584
Promedio Nacional	964.954	1.106.208	1.176.502
Promedio Internacional	578.352	803.450	976.880
Promedio Total	1.543.306	1.909.657	2.153.382
Variación	0	23,74%	12,76%

Fuente: Elaboración propia con datos de la JAC

Ahora hablando de la ubicación del proyecto, habrá que identificar las zonas con mayor flujo de personas, para ello habrá que recurrir a pensar cuales son los pasos que tiene que hacer un pasajero para llegar desde la calle a subirse a su vuelo como también cuando

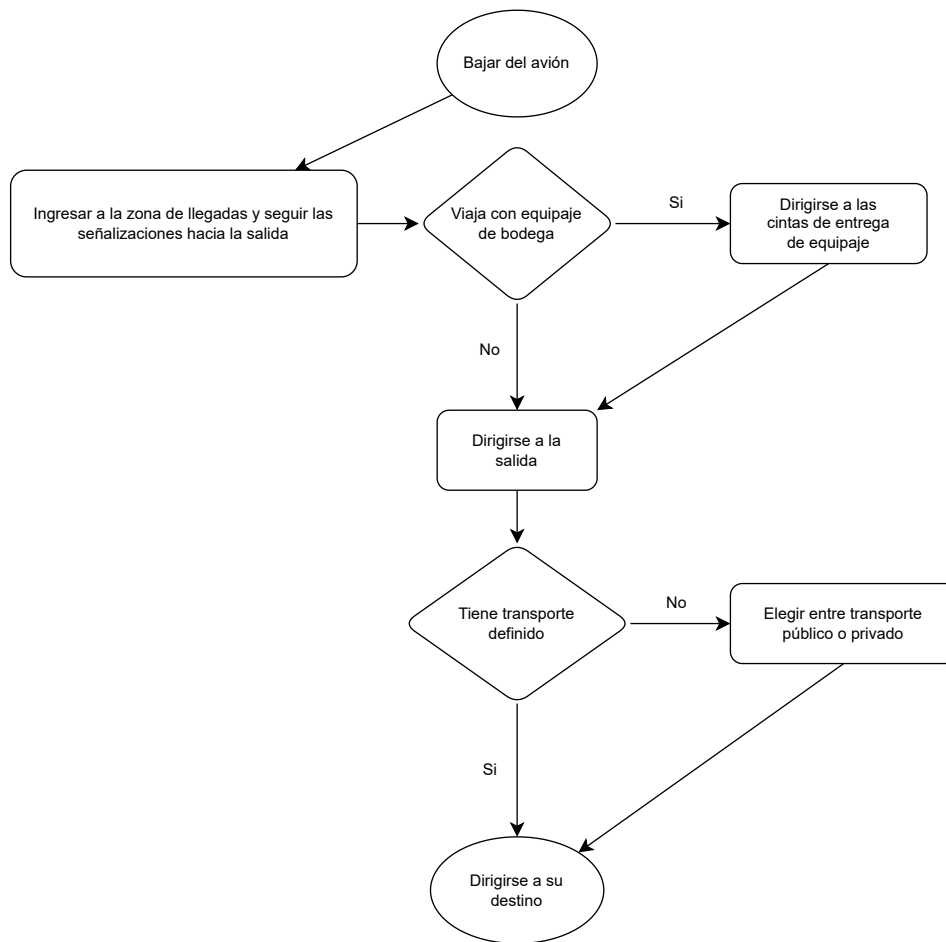
un pasajero llega de su vuelo y se va del terminal. Con ello se podrán identificar los Puntos importantes en el transcurso del viaje por la terminal para determinar así donde se puede generar los puntos de alto tránsito o de tránsito obligado. Para observar con mayor facilidad estos puntos se desarrollaron los siguientes diagramas de flujo para vuelos de salida como de llegada, tomando en cuenta las decisiones y opciones más recurrentes en los pasajeros.

Ilustración 13: Diagrama de flujo de los pasajeros al tomar un vuelo de salida



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 14: Diagrama deflujo de los pasajeros al llegar en un vuelo



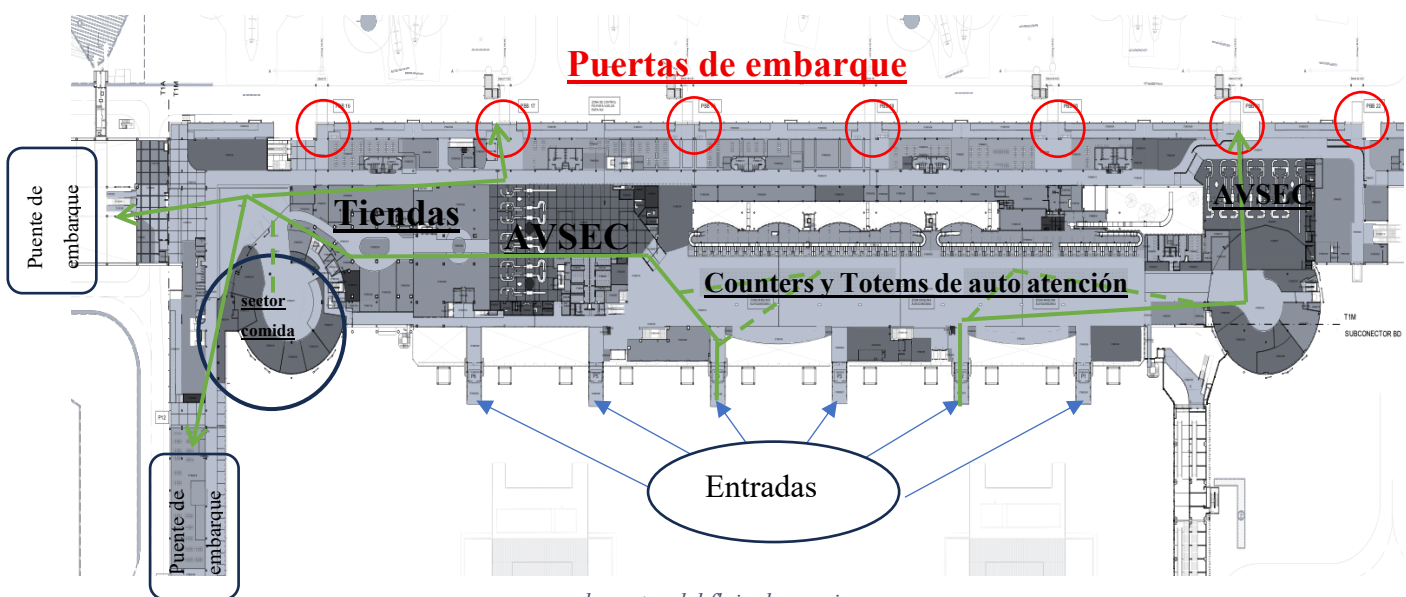
Fuente: Elaboración propia

Después de observar el flujo se puede concluir que existen ciertos pasos que involucran el moverse por la terminal pasando por puntos específicos dentro de la misma, para determinar estos puntos los dividiremos por llegada o salida en los trayectos realizados por los pasajeros. Para los vuelos de salidas tenemos que el pasajero tiene que entrar por las puertas de la terminal, luego dirigirse a la zona de seguridad y cruzar el control de seguridad para posteriormente ver las pantallas de informaciones para dirigirse a las puertas de embarque de donde saldrá el vuelo. Por otra parte para los vuelos de llegada tenemos que una vez abajo del avión los pasajeros se dirigirán hacia la salida cruzando por las cintas de entrega de equipaje y saliendo hacia el exterior para tomar su medio de transporte correspondiente.

Ahora a modo de desarrollar un ejemplo más gráfico de las zonas más relevantes en cuanto al flujo se procederá a resaltar las zonas importantes identificadas con un indicador. Para determinar estas zonas se tendrá presente los pasos en cada parte del flujo y la distribución que tiene cada una dentro del aeropuerto, es por esto que se presentará la siguiente ilustración de los planos del aeropuerto haciendo diferenciación entre lado internacional y nacional.

Para el lado nacional tenemos que en la mayor parte del flujo de los vuelos de salida se lleva a cabo en el piso 3 de la terminal.

Ilustración 15: Planos del tercer piso del terminal nacional de AMB con señalizaciones de las zonas importantes



y las rutas del flujo de pasajeros.

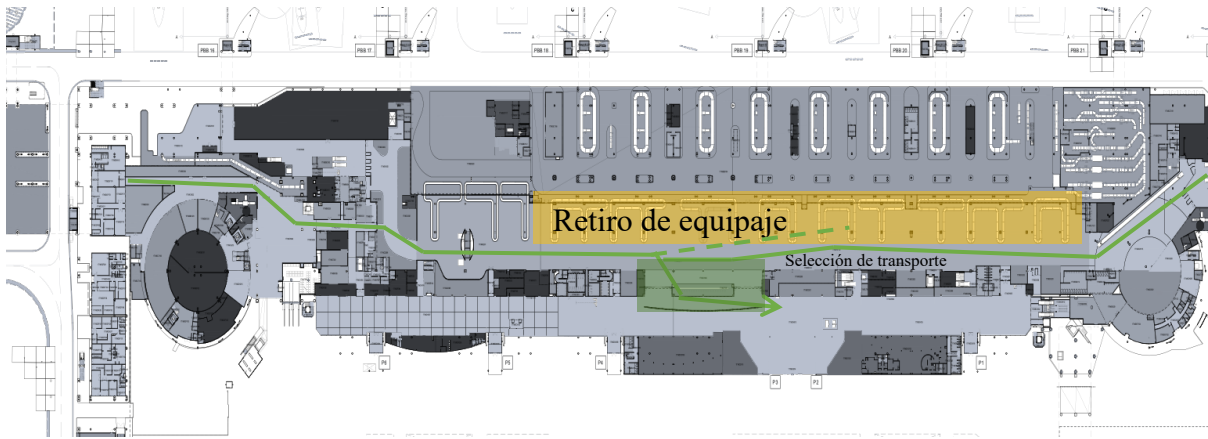
Fuente: Nuevo Pudahuel y edición propia.

Como bien se puede apreciar en la ilustración 19 hay sectores donde se suele pasar obligadamente el pasajero, como lo es en AVSEC¹⁴ sin embargo actualmente se encuentra en remodelaciones el aeropuerto y la zona de seguridad de la derecha aún permanece cerrada, sin embargo para efectos de la investigación se considerará que dicha puerta se encuentra habilitada para ponernos en el caso óptimo del funcionamiento de la terminal. Ahora para el

¹⁴ AVSEC es la abreviatura para la palabra en inglés Aviation Security o Seguridad Aérea en español

caso de los vuelos de llegada donde tenemos que la mayoría del flujo se produce en la Primera planta.

Ilustración 16: Planos del primer piso del terminal nacional de AMB con señalizaciones de las zonas importantes y las rutas del flujo de pasajeros.

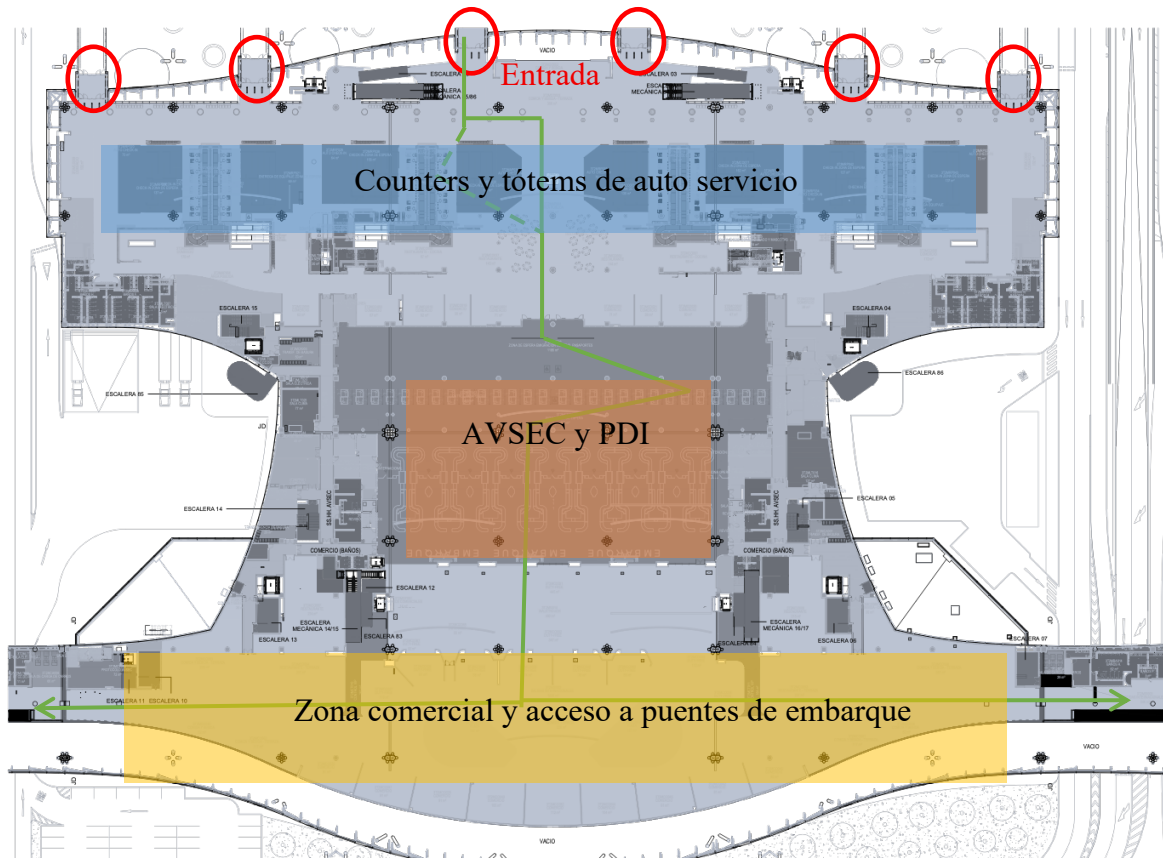


Fuente: Nuevo Pudahuel y edición propia.

Continuando con el terminal internacional, tenemos las siguientes distribuciones para las llegadas y salidas de los vuelos.

Para el caso de las salidas desde el lado internacional se llega por el tercer piso para hacer el proceso de check in y pasar los procesos de seguridad y PDI para tomar su vuelo al extranjero

Ilustración 17: Planos del tercer piso del terminal internacional de AMB con señalizaciones de las zonas importantes y las rutas del flujo de pasajeros.



Fuente: Nuevo Pudahuel y edición propia

Como bien se puede apreciar para el lado internacional se tiene un solo acceso para AVSEC y PDI por ende tiende a ser una zona de alta afluencia de pasajeros, pero por otro lado la terminal internacional es bastante más grande que su contraparte nacional, teniendo espigones más largos y cuenta con más espacio transitable. Ahora bien, para el caso de las llegadas internacionales tenemos que la mayor parte del flujo del pasajero ocurre dentro del primer piso.

comparar los comportamientos del sistema frente a los diferentes cambios en el comportamiento de las operaciones del aeropuerto proporcionando diferentes opciones para evaluar la capacidad de la propuesta del SREC, solo quedaría comprender como funciona esta tecnología para poder crear una función para modelar la capacidad de producción del sistema.

4.1.2 Validación tecnológica.

Esta fase será esencial para comprender, recopilar y analizar la información de la situación actual de la tecnología de los SREC disponibles, lo cual será crucial para el desarrollo de un proyecto para aplicarlos en ambientes aeroportuarios. Particularmente se estudiará sobre el funcionamiento del sistema electromagnético como fuente de energía, tomando en cuenta los principios físicos y las aplicaciones de la misma en ámbitos similares. La investigación tendrá en cuenta los datos anteriormente expuestos para poder obtener ciertos indicadores técnicos o económicos para su evaluación siendo una de estas las limitaciones de la tecnología, el nivel de eficiencia, costos directos e indirectos, vida útil y requerimientos básicos para la instalación como para su mantención. Además se analizarán las experiencias de aplicaciones reales expuestas en la fase [2.5 de antecedentes generales](#). Asimismo se busca que la información recopilada durante esta etapa logre validar técnicamente la propuesta, además de aportar criterios fundamentales para comenzar una propuesta de un diseño conceptual del proyecto empleado en AMB y una posterior evaluación de factibilidad económica.

Para ello se realizará un análisis de los casos de estudio de las empresas Pavegen y Energy Floors para determinar el si el uso de su tecnología es apta para ser utilizada en el aeropuerto AMB.

De los casos de Pavegen tenemos que la implementación de esta tecnología ya se ha llevado a pequeñas escalas en aeropuertos como el de Heathrow en Reino Unido o en el aeropuerto internacional de Abu Dabi en Emiratos Árabes unidos, si bien en ambos casos se utilizaron las instalaciones para decorar con luces una sección de la terminal, se logra entender que el uso de la tecnología en entornos de aeropuertos es tecnológicamente factible, como también se logra comprender que esta tecnología no es completamente desconocida en el país ya que se tuvo la visita de Pavegen en la maratón de Santiago hecha por Adidas en 2013.

Por otro lado los casos de Energy Floors proveen un ejemplo perfecto para el funcionamiento de estos sistemas en ambientes de alto tráfico sostenido en el tiempo como lo son las instalaciones en las principales estaciones ferroviarias de Países Bajos o la plaza en el jardín presidencial de Malta, el cual se implantaron los sistemas con un enfoque educativo para toda la comunidad lo cual nos brinda un gran precedente de un enfoque más relacionado a la participación activa de las personas en cómo se genera la electricidad mediante los sistemas de Energy Floors. Además está el caso de la empresa Würth en Italia donde intervinieron una entrada la cual recibía una gran participación dentro de las operaciones diarias del personal siendo este un ejemplo de cómo se puede optimizar el sistema siendo instalados en puntos específicos del trayecto de los transeúntes en este caso de los trabajadores de las oficinas.

Ahora utilizando toda esta información al respecto de los casos prácticos de estas empresas se procederá al plantear un diseño conceptual del proyecto.

4.1.3 Diseño conceptual del proyecto

Dentro de esta etapa se fijará el objetivo de definir las principales características técnicas y operativas de la solución propuesta, considerando su viabilidad técnica, funcionalidad y coherencia con los objetivos planteados en el comienzo de este trabajo.

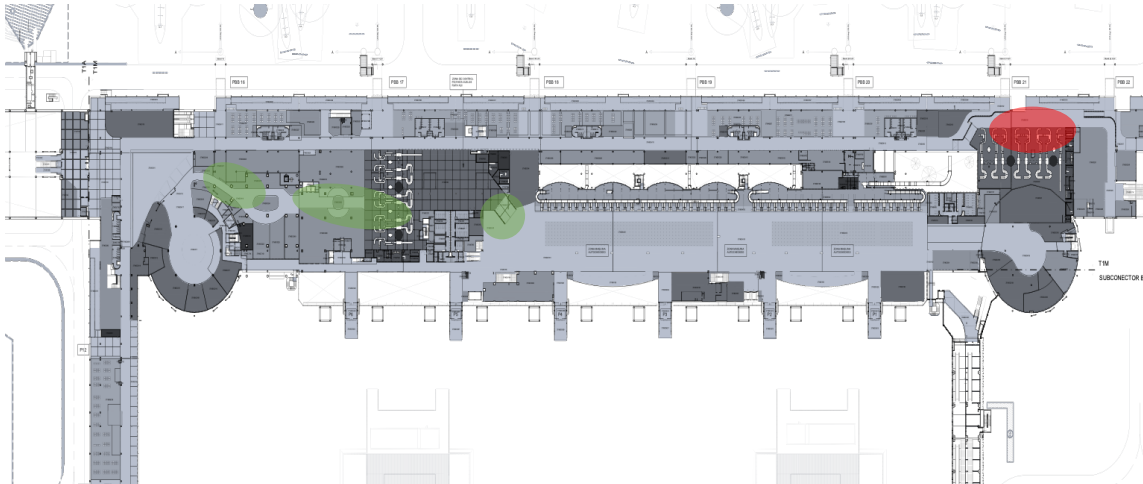
El diseño conceptual no busca detallar aspectos ingenieriles específicos dentro de la tecnología, más bien se busca presentar una visión general del sistema, cuáles son sus componentes claves, su forma de operar y el nivel de integración dentro del espacio del aeropuerto AMB. Para ello se contemplarán elementos claves como la ubicación dentro de las terminales nacional como internacional, junto a sus objetivos de:

- generación energética,
- valor educativo,
- experiencia de pasajero
- creación y manejo de datos.

En primer lugar hay que definir donde son los lugares más provechosos dentro de la terminal para ello se tomara en cuenta el análisis del flujo de los pasajeros en cada parte de la operación ya sea para vuelos de llegada o salida de la terminal, cabe destacar que existirá una división dentro de la propuesta debido a que el aeropuerto esta segmentado en vuelos nacionales e internacionales en construcciones completamente diferentes como bien se pudo

apreciar en apartado [3.1.1 Diagnostico](#) con las ilustraciones 19 a 22. Para el lado nacional se presenta la opción de instalar pequeñas muestras de baldosas en las siguientes ubicaciones dentro del tercer piso.

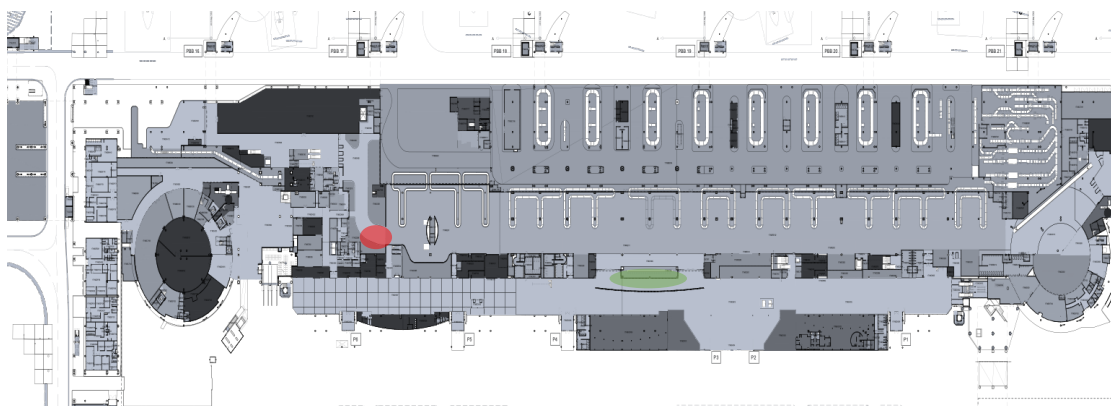
Ilustración 19: Planos del tercer piso de la terminal nacional de AMB con señalización de lugares para implementar las baldosas



Fuente: Nuevo Pudahuel y edición propia

Ahora pasando a los vuelos de llegada en la terminal nacional donde la mayor parte del flujo de los pasajeros se presenta dentro del primer piso, las áreas con mayor valor para instalar baldosas son las siguientes.

Ilustración 20: Planos del primer piso de la terminal nacional de AMB con señalizaciones de los lugares óptimos para implementar las baldosas



Fuente: Nuevo Pudahuel y edición propia

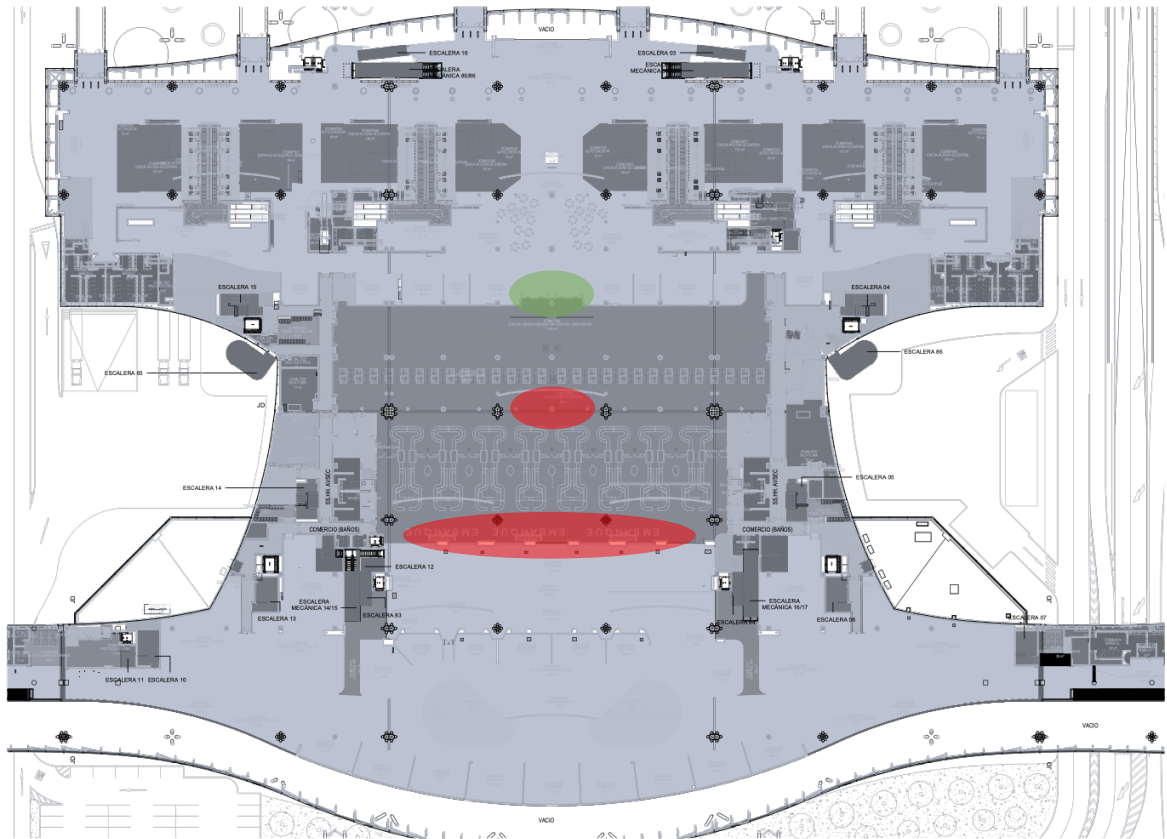
Con las ubicaciones anteriormente expuestas se determinó que para la zona de salidas nacionales los puntos con mayor tránsito de pasajeros sería en la entrada a la zona de

seguridad y saliendo de la zona de las tiendas que formando una especie de cuello de botella en el pasillo donde los pasajeros tendrán que pasar para llegar a la entrada del sector de embarque, si bien ambos espacios son potencialmente una buena elección dependiendo de la cantidad de pasajeros que transiten por el área de la terminal evaluada, podrá escoger que sector encaja mejor en los limitantes de la propuesta. Para el caso de las llegadas nacionales se destacan dos puntos de interés, la entrada a la zona de entrega de equipaje y la salida al pasillo exterior de la terminal. Sin embargo si queremos tener una mayor exposición de la instalación el mejor punto sería en la segunda opción así los pasajeros y los acompañantes o cualquier persona que quiera visitar las instalaciones podría observarla al llegar a buscar a algún pariente, amigo o conocido al terminal dando un muy buen punto para colocar pantallas informativas sobre el funcionamiento de la energía, como también para potenciar la imagen de sustentabilidad que la industria aérea quiere potenciar para lograr sus objetivos de la carbono neutralidad y para poder certificar esta imagen se puede presentar una postulación para las certificaciones ecológicas del sector como BREEAM o incluso optar a mejorar la clasificación de la certificación ACA¹⁵ donde su última actualización fue en 2021 logrando un nivel 2 en la categoría reducción y para optar al nivel 3 se requiere la participación de terceros como proveedores de servicios o controladores del tráfico aéreo y la colaboración con las autoridades y los usuarios en los modos de acceso a la terminal. Donde se incluyen mediciones en el ciclo de despegue y aterrizaje, el acceso a la superficie del aeropuerto para pasajeros y personal finalmente emisiones de viajes de negocios del personal. Donde más aporte puede brindar este proyecto es en el apartado que busca la participación de terceros involucrando pasajeros y personal del aeropuerto en los esfuerzos de cumplir las metas de la carbono neutralidad.

Continuando con los mismos criterios de encontrar un buen punto para recolectar las pisadas de los pasajeros buscando también un buen lugar de exposición se tiene que para el terminal internacional de AMB se presentan los siguientes puntos dentro del tercer piso correspondiente a las salidas de los vuelos internacionales.

¹⁵ Airport Carbon Accreditation

Ilustración 21: Planos del tercer piso del terminal internacional de AMB con señalizaciones de los lugares para implementar las baldosas



Fuente: Nuevo Pudahuel edición propia

Por otro lado las operaciones de llegadas en el lado internacional se desarrollan principalmente en el primer piso, como se podrá apreciar en la siguiente ilustración.

estrategias de marketing que utilice pantallas para entregar mensajes emotivos para conmovir los proceso de despedida por el comienzo del viaje, promoviendo la imagen y las diferentes campañas de sustentabilidad del aeropuerto y la terminal. Por el otro lado en la ilustración 26 se logra apreciar solo un punto viable para la implementación debido a que la mayoría del trayecto tiene mucho espacio de ancho a diferencia de la salida al exterior donde se forma un cuello de botella en el trayecto de los peatones además al ser el punto de reencuentro de la mayoría de los pasajeros con sus acompañantes es un lugar ideal para montar pantallas para mostrar información u material audiovisual para propósitos de marketing o de educación.

Sin embargo uno de los principales hechos para la selección de la ubicación está pensada sobre los lugares donde el pasajero está obligado a pasar, por ende la probabilidad de que un pasajero en su flujo por la terminal si o si tenga que dar mínimo un paso dentro de estas baldosas.

A continuación se expondrán los valores agregados en relación a las dimensiones de la propuesta, junto a esto se planteará una función para determinar la cantidad optima de baldosas que se pueden comprar según un determinado presupuesto, considerando los orígenes de cada empresa tenemos que Pavegen proviene del Reino Unido y su competidor Energy Floors son de Países Bajos lo cual puede presentar una significativa diferencia entre los precios de cada uno, ya que para importaciones desde el extranjero hay que pagar el IVA de un 19% y el arancel aduanero que equivale a un 6%, para el caso de Energy Floors no significaría un problema el arancel aduanero por ser parte de la unión Europea la cual tiene un TLC¹⁶ con Chile el cual reduce este arancel a un 0% si la empresa presenta el formulario EUR.1 el cual acredita que el producto fue fabricado en le Unión Europea no contar con este certificado el arancel del 6% si aplica esto de acuerdo al arancel aduanero otorgado a los productos catalogados dentro de la sección XVI capitulo 84 y 85 del decreto supremo N°473, de 26.10.2021 (Aduanas Chile, 2021). Por otro lado el Reino Unido al llevar a cabo el brexit para salir de la UE, posteriormente a esto se firmó en 2019 un nuevo TLC con Chile (Gobierno de Chile, 2019) para mantener las relaciones comerciales entre el país británico y nuestro. Dejando de lado el tema de aranceles se procederá a explicar los métodos a utilizar

¹⁶ Tratado de libre comercio.

para generar ingresos. Para este proyecto se espera recaudar dinero desde la venta de publicidad de pantallas instaladas en sectores específicos de alto tránsito, además se evaluará el caso de realizar reinversiones durante los periodos de funcionamiento para ampliar la producción de electricidad y de datos del sistema propuesto.

. Ahora a partir de toda esta información se procederá a hacer una evaluación de la propuesta.

4.1.4 Evaluación del proyecto

Para realizar esta sección se tomará como referencia el escrito por Nassir, Reinaldo y José Sapag sobre preparación y evaluación de proyecto. Se considerarán las evaluaciones del capítulo 3 referentes al proceso de preparación y evaluación del proyecto y para ello se realizarán los siguientes pasos.

1. Alcance del proyecto
2. Ciclo del proyecto
3. Estudio del mercado
4. Estudio técnico
5. Estudio organizacional y administrativo
6. Estudio legal
7. Estudio financiero
8. Estudio Ambiental

Para completar estas evaluaciones se considerará la información anteriormente expuesta en el informe para complementar ciertas conclusiones preliminares de esta etapa, cabe destacar que si bien se utilizara esta estructura para evaluar el proyecto se irán desarrollando algunas de los estudios de manera que estos estudios se complementen entre sí para los siguientes pasos.

4.1.4.1 Alcance del proyecto

Para poder estimar el alcance del proyecto en los diferentes ejes como el comercial, técnico, organizacional, legal, ambiental, económico, vial, ética y social. Se realizará una tabla para expresar la respuesta del alcance de este proyecto en cada uno de estos ejes

Tabla 4: Validación del alcance del proyecto en los 8 ejes propuestos por Sapag

Comercial	¿Es valorado por el mercado?	En cuanto al mercado eléctrico supone un valor de ahorro en los
-----------	------------------------------	---

		consumos energéticos, por ende se estima una valoración del mercado eléctrico
Técnico	¿se dispone de la tecnología?	Como se pudo apreciar en los apartados 2.6 y 3.1.2 se concluye que se puede disponer de la tecnología necesaria.
Organizacional	¿Se dispone del Know How?	Si al trabajar con una empresa especializada en el rubro, estas pueden proporcionar el Know How a la organización de la concesionaria del aeropuerto
Legal	¿Hay restricciones regulatorias que impidan su implementación?	De manera preliminar no existen leyes que impidan la implementación de una tecnología de este tipo dentro del aeropuerto, mientras esta no presente inconvenientes en la seguridad de la operación aérea ni de los pasajeros.
Ambiental	¿Genera un impacto ambiental negativo?	Al contrario el impacto ambiental de este proyecto se estima que será de manera positiva para el ambiente
Económico	¿Se tiene acceso a los recursos? ¿Los beneficios son mayores a los costos?	Se tiene accesos a recursos económicos por ser un proyecto para una estructura del estado, si bien esta estructura esta concesionada sigue siendo dueño el estado por ende es este mismo quien puede llegar proveer diferentes modos de financiamiento o alcance de recursos, en cuanto al

		equilibrio de beneficios y costos se verá más adelante de la investigación.
Vial	¿Genera algún impacto vial?	No aplica el concepto vial como tal ya que este corresponde a vehículos, sin embargo en materia de transeúntes puede llegar a presentar un impacto positivo al ser una propuesta para generar un valor agregado al tránsito de personas.
Ética	¿El proyecto va acorde a los principios éticos de quien lo ejecuta?	Como se puede apreciar en el apartado 2.3 , 2.4 y 3.1.1 donde se habla del compromiso de Chile y la aviación para reducir sus emisiones de GEI
Social	¿Cumple con los intereses de la sociedad?	Siguiendo los mismos principios éticos la propuesta del proyecto cumple con los intereses de la sociedad Chilena como los intereses de la industria aérea.

Fuente: Elaboración propia

4.1.4.2 Ciclo del proyecto

Para el ciclo del proyecto se logran identificar ciertas etapas importantes dentro de la vida del mismo, comenzando con la idea, inversión inicial y finalmente la operación. Para ello se presenta la siguiente ilustración que representa este ciclo.

Tabla 5: Etapas del ciclo del proyecto junto a los periodos de duración de cada ciclo

Idea	Inversión inicial	Operación
0,5	1	20

Fuente: elaboración propia

Tomando en cuenta que la duración de cada periodo es de un año se estimará una duración de operación de todo un ciclo de vida de las baldosas correspondiente a 20 años. Para la fase de inversión se contará solo un año para hacer las debidas diligencias para liberar

un presupuesto que logre implementar la totalidad del proyecto o estudiar la posibilidad de implementar una fracción del mismo. Y finalmente para las etapas de idea y pre inversión se considerarán que están en proceso o llevándose a cabo.

4.1.4.3 Estudio de mercado

Para estudiar el mercado se estimarán los consumos de electricidad actuales para comprender las magnitudes en las que se tendrá que hacer frente con el proyecto. Para ello revisaremos los datos del gráfico 3 y los trabajaremos para sacar los índices de estacionalidad estandarizada (I.E.E) la cual se calcula mediante la siguiente formula.

$$IEE = \left(\frac{\frac{\text{Promedio del período}}{\text{Promedio del promedio de la demanda de todos los períodos}}}{\text{Cantidad de promedios}} \right)$$

Ecuación 2: Índice de estacionalidad estandarizada

Por otra parte, para poder proyectar la demanda de los pasajeros se utilizará la función Forecast.linear() la cual utiliza una función de pronóstico para datos con una tendencia lineal utilizando los valores de la siguiente tabla.

Tabla 6: Demanda de pasajeros en AMB desde 2022 a 2024

Año	Pax nacional	Pax Internacional	Pax totales
2022	11.579.444	6.940.223	18.519.667
2023	13.274.490	9.641.395	22.915.885
2024	14.118.027	11.722.557	25.840.584

Fuente: Elaboración propia con datos de la JAC.

Estos datos se proyectaron para los años 2026 ha 2046 tomando en cuenta que el 2026 es el periodo 0 el periodo 20 será el año 2046, se utilizarán los IEE para encontrar los valores mensuales de cada periodo para posteriormente evaluar los balances energéticos y determinar si hay que pagar para abastecer a las pantallas o si se puede vender la energía sobrante a los distintos comercios del aeropuerto. Esto sirve para preparar los datos para hacer las proyecciones desde los totales anuales y luego desglosar el total para cada mes del periodo proyectado. Los cuales se calcularon por terminal y por aeropuerto completo, para más detalles, ir al [Anexo](#) y ver tablas desde 22, 23 y 24.

Por otro lado, si queremos calcular la producción eléctrica se utilizará la siguiente formula

$$P_e = Q_{Pax} * C_{pm} * \bar{E}_g * \left(\frac{D_t}{2}\right)$$

Ecuación 3: Producción eléctrica del periodo

Donde:

P_e : Producción eléctrica del periodo

Q_{Pax} : Demanda de pasajeros para el periodo,

C_{pm} : Constante de pisadas por metro.

\bar{E}_g : Energía promedio generada por pisada

D_t : Distancia transitada en baldosas.

Utilizando la formula anterior se calculó la producción de energía para cada periodo proyectado por terminal dentro del [anexo](#) tablas 25, 26 y 27.

Una vez determinada la producción eléctrica esperada del proyecto se pueden realizar el balance entre el consumo energético de las pantallas publicitarias con la capacidad de producción del sistema.

Para seleccionar la empresa con la cual se evaluará el proyecto se compararán los datos técnicos y precios de cada empresa. Para la obtención de los datos técnicos se utilizaron medios de comunicaciones vía correo electrónico con cada empresa. Sin embargo, una de las compañías optó por no revelar datos específicos. Con el fin de mantener la comparabilidad entre ambas opciones, se decidió utilizar estimaciones basadas en los estándares de la industria, así como la paridad de costos asociados a instalación, transporte y uso de hardware y software. Cabe destacar que la empresa Energy Floors planea presentar su nuevo modelo de baldosas en 2027 la cual reducirá sus costos entre un 50% y 70% frente a su versión anterior, para el caso de estudio se considerará un descuento del 60% evaluando así los precios más bajos por metro cuadrado de ambos proveedores. A continuación, se presenta la tabla con los antecedentes recopilados.

Tabla 7: Datos técnicos recopilados de las baldosas de los sistemas SREC diferenciado por empresa.

Descripción / Unidad	Datos	Pavegen	Energy Floors	Energy Floors 2027
	País de origen	Inglaterra	Países bajos	Países bajos
	Tecnología utilizada	Electromagnética	Electromagnética	Electromagnética

m ²	Superficie por módulo ¹⁷	8	8	8
unidades	Cantidad de módulos	10	10	10
€/m ²	Costo por m ²	€2.306,00	€6.000,00	€2.400,00
% del total	Costo de envío	0,05	0,05	0,05
% del total	Costo de instalación y Hardware	0,10	0,10	0,10
% del total	Impuesto aduana	-	-	-
% del total	IVA	0,19	0,19	0,19
Semanas desde el diseño hasta la entrega del pedido	Tiempo de entrega	12	12	12
Años	Vida útil del sistema	20	20	20
meses	Tiempo entre mantenimientos	-	24	24
%	Costo del mantenimiento	-	4-7%	4-7%
KG	Peso máximo	-	1300	1300
	Certificaciones de seguridad	-	CE ¹⁸	CE
Joules o W/s por paso promedio	Producción por pisada	4	3	3

¹⁷ Se utilizarán módulos de 2 x 4 Metros para distribuir entre las diferentes áreas seleccionadas.

¹⁸ Conformité Européenne o conformidad europea en español

¿Puede moverse por el aeropuerto? Sí/No	Compatibilidad modular	-	si	si
Tiempo	Carbono neutralidad	-	7	7
€	Valor CIF	€193.704,00	€504.000,00	€201.600,00
€	Impuesto aduana	€0	€ 0	€ 0
€	Instalación	€18.448,00	€48.000,00	€19.200,00
€	Subtotal	€212.152,00	€552.000,00	€220.800,00
€	IVA	€40.308,88	€104.880,00	€41.952,00
€	Costo total de inversión	€252.460,88	€656.880,00	€262.752,00

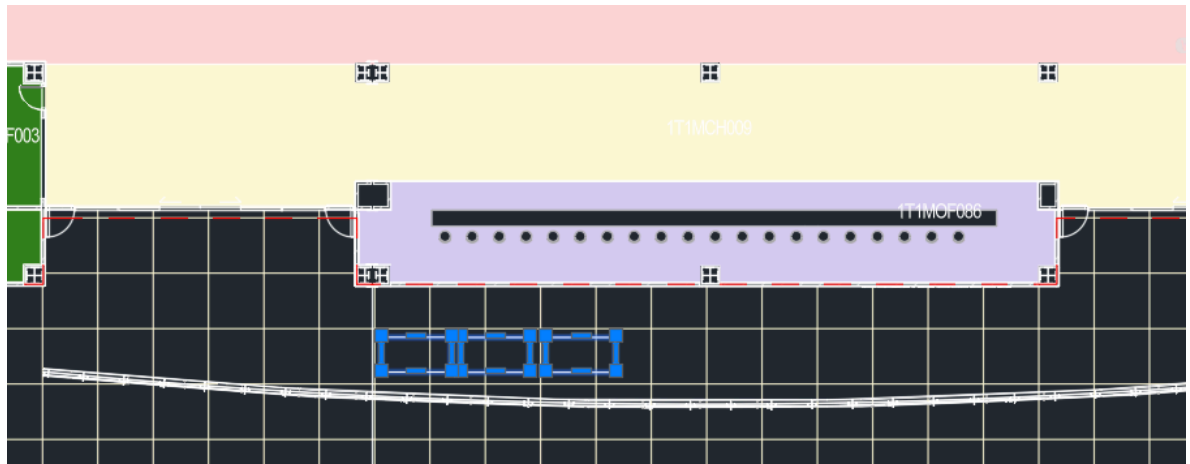
Fuente: Elaboración propia

Una vez recopilados los datos técnicos de los proveedores se procede a escoger una empresa para hacer las estimaciones del proyecto. Para esto se opta por el proveedor Energy Floors por presentar certificaciones de calidad europea la cual da certeza de que el producto es seguro para utilizar en edificios públicos y otros ambientes urbanos y en adición a esto se presentan más datos competentes al mantenimiento y limitaciones de las baldosas inteligentes. El siguiente paso consiste en determinar la ubicación y orientación óptima de los módulos de generación para estimar el trayecto efectivo disponible para la producción de energía. Esta etapa es fundamental para proyectar la generación eléctrica del sistema, ya que permite asociar el flujo peatonal con la cantidad de pisadas útiles sobre los módulos.

Para representar estas ubicaciones, se utilizarán imágenes intervenidas a partir de los planos arquitectónicos del aeropuerto, lo que permitirá visualizar con mayor claridad las dimensiones del sistema como las ubicaciones seleccionadas, tanto para la terminal nacional como internacional. Esta visualización es clave para estimar el área total de baldosas requeridas y válidas las condiciones de cada entorno para ver si cumplen con los criterios de tránsito, visibilidad y exposición para cumplir con los objetivos del proyecto.

Las ubicaciones para la terminal nacional son las siguientes:

Ilustración 23: Ubicación de 3 módulos en la salida de la entrega de equipaje en el terminal nacional.



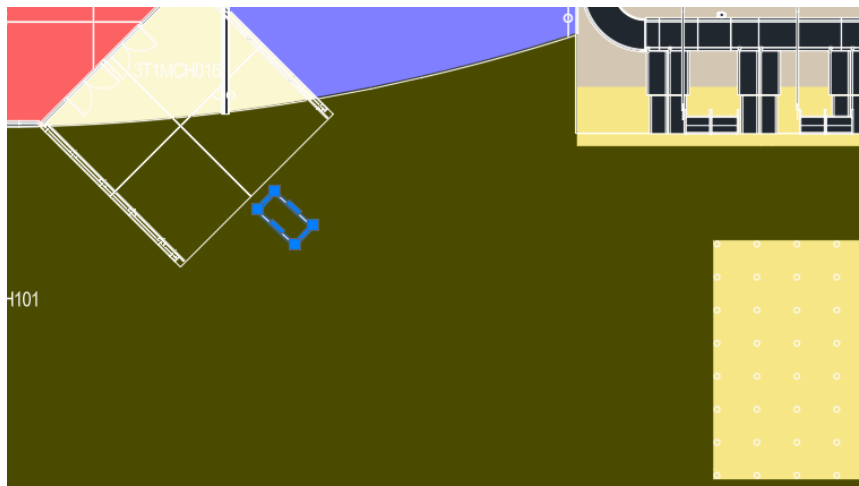
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 24: Ubicación de 2 módulos en la salida del sector de tiendas después de AVSEC en las salidas de los vuelos nacionales



Fuente: Elaboración propia

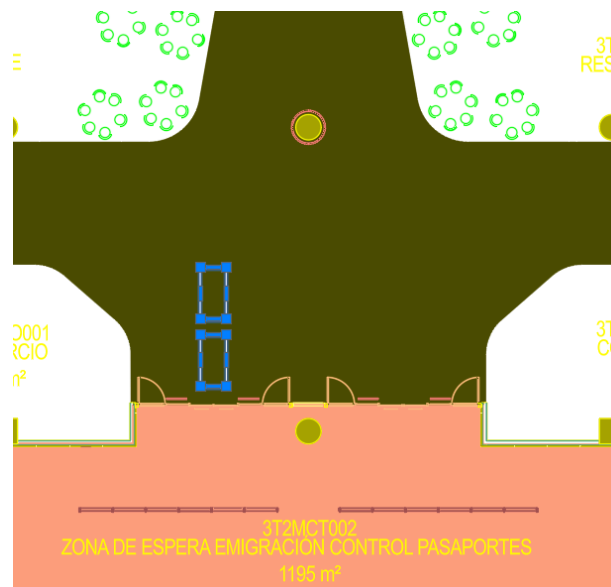
Ilustración 25: Ubicación de 1 módulo en la entrada de AVSEC de vuelos nacionales



Fuente: Elaboración propia

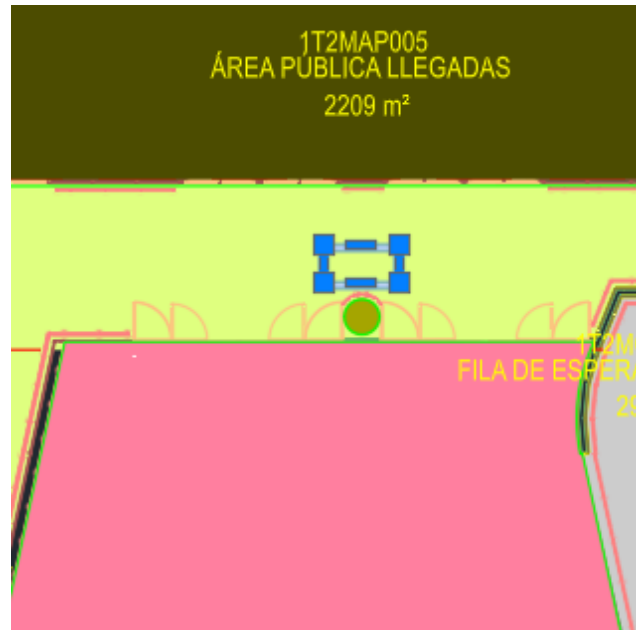
Para el terminal internacional tenemos las siguientes ubicaciones.

Ilustración 26: Ubicación de 2 módulos en la entrada de emigraciones en los vuelos de salida de la terminal internacional.



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 27: Ubicación de un módulo en la salida al área pública de llegadas de vuelos en la terminal internacional



Fuente: Elaboración propia

Con todos estos módulos se tiene un total de 9 módulos instalados, dejando así la posibilidad de dejar el décimo módulo con una plataforma móvil para poder movilizar a algún lugar de interés momentáneamente, lo cual permitiría la captura de datos analíticos en diferentes zonas del aeropuerto o si bien se prefiere se puede dejar este último módulo como reserva en caso de que alguno de los módulos presente una falla. Pero para poder comprender el valor de los datos se presentará a continuación una propuesta de valor de los datos que se pueden obtener.

Tabla 8: propuesta de valor de los datos analíticos referentes al flujo de pasajeros entregado por las baldosas

Dato Recolectado	Aplicación Principal	Valor Agregado para el Proyecto
Flujo de personas	Cuantificar tránsito por zonas específicas	Mejora la planificación operativa, refuerza el valor de las zonas para fines publicitarios y análisis de comportamiento.
Cantidad total de pisadas	Seguimiento del uso acumulado del sistema	Sirve para proyecciones de mantenimiento, validación de impacto, reportes de sostenibilidad e informes a stakeholders.

Fuerza de pisada	Detección de presión y peso ejercido en la superficie	Puede distinguir entre tipos de usuarios (con equipaje, niños, etc.) y detectar uso anómalo o riesgoso.
Patrón de pisadas	Análisis de la forma en que los usuarios pisan	Información útil para ergonomía, rediseño de superficie o integración con diseño inclusivo.
Producción promedio de energía	Medición de eficiencia energética del sistema	Permite evaluar el desempeño técnico real y estimar retornos energéticos a lo largo del tiempo.
Comportamiento horario	Distribución del uso según hora del día o temporada	Ideal para adaptar contenidos publicitarios, ajustar carga energética y planificar refuerzos de infraestructura.
Temperatura ambiental	Monitoreo del entorno físico	Puede integrarse a dashboards de sostenibilidad y ayudar en gestión del confort térmico.
Humedad ambiental	Medición del nivel de humedad	Útil para mantenimiento preventivo y para estudios ambientales dentro de la terminal.
Detección de detención	Medición del tiempo que un usuario permanece sobre una baldosa	Detecta zonas de espera o interés, útil para evaluar campañas publicitarias o puntos de congestión.
Análisis predictivo del desgaste	Relación entre uso y desgaste esperado del hardware	Base para mantenimiento predictivo, optimización de recursos y reducción de costos.

Fuente: elaboración propia

4.1.4.4 Estudio técnico

El presente estudio técnico busca cuantificar la inversión, los costos de operación y definir una función de producción que optimice los recursos disponibles. Para ello se utilizarán datos e ilustraciones anteriormente expuestas en las diferentes etapas de la investigación. Con la finalidad de lograr cuantificar los recursos físicos, humanos y financieros para una implementación del sistema SREC en AMB.

Como se puede apreciar en la Tabla 8 en la comparativa de los datos técnicos entre las empresas se puede apreciar que para un pedido 80 metros cuadrados en condiciones similares entra las empresas, la opción más rentable se presenta con Pavegen a pesar de los precios rebajados de la empresa Energy Floors esperados para 2027, cabe destacar que si bien se consideró una rebaja del 60% si este descuento fuera tan solo dos puntos porcentuales mayor los precios de Energy Floors serán más bajos que su competidor. Gracias a los tratados de libre comercio que ha hecho Chile se sabe que se mantiene uno con la Unión Europea desde 2002 hasta la fecha proporcionando una rebaja en el arancel aduanero. Cabe destacar que el proveedor Energy Floors cuenta con datos más precisos referentes a aspectos técnicos como valores de mantención, frecuencia de los mismos y las limitaciones de peso. Para poder continuar con ello se creará una nueva tabla de datos técnicos referentes a la opción escogida para poder utilizar para calcular los diferentes montos para llevar a cabo el proyecto.

Tabla 9: Datos técnicos del proveedor Energy Floors 2027 para inversión inicial contabilizando especificaciones del proyecto.

<i>Datos inversión</i>	<i>Energy Floors 2027</i>
<i>País de origen</i>	<i>Países bajos</i>
<i>Tecnología utilizada</i>	<i>Electromagnética</i>
<i>Superficie por módulo [m²]</i>	8
<i>Cantidad de módulos</i>	10
<i>Costo por m²</i>	€3.400,00
<i>Costo de envío (aproximado)</i>	0,05
<i>Costo de instalación y Hardware</i>	0,10
<i>Impuesto aduana</i>	0
<i>IVA</i>	0,19
<i>Valor CIF inversión inicial</i>	€285.600,00
<i>Impuesto aduana</i>	€ -
<i>Instalación</i>	€ 27.200,00

<i>Subtotal</i>	€312.800,00
<i>IVA</i>	€59.432,00
<i>Costo total de inversión inicial</i>	€372.232,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10: Datos técnicos del proveedor Energy Floors para mantenimiento

Datos de mantenimiento	Energy Floors 2027
Vida útil del sistema [año]	20
Tiempo entre mantenimientos [mes]	24
Costo del mantenimiento (% de CIF)	6%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11: Datos técnicos del proveedor Energy Floors para la operación

Datos de operación	Energy Floors 2027
Tiempo de entrega [Semana]	12
Producción por pisada [J]	3
Carbono neutralidad [año]	7
Compatibilidad modular	Si
Dimensión útil Nacional [m]	24
Dimensión útil internacional [m]	12
Dimensión útil Modular [m]	4
Dimensión útil Total [m]	40
Pisadas en un metro	1,3
Capital humano	12
Sueldo promedio	€1.800

Precio venta Electricidad [€/kwh]	0,072
--------------------------------------	-------

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12: Supuestos para crear una estructura de venta de publicidad¹⁹

Plan para 55"	Precio	unidades	Segundos de la publicidad	Salidas por hora	veces salidas en el día	Ingreso por venta mensual
Plan básico	€ 1200	15	15	8	152	€ 18000
Plan estándar	€ 1700	10	30	8	152	€ 17000
Plan Premium	€ 2700	6	60	8	152	€ 16200

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 10, cuando se habla de costo por m², este se referente a la instalación completa del sistema, la cual incluye modificaciones en la baldosa, como pantallas, cargadores de celulares, sensores, entre otros elementos. Actualmente el valor de un m² suele oscilar entre los €6.000 y €9.000. Sin embargo con la reducción de costos estimada para 2027, se espera que el rango disminuya entre los €2.000 y €4.500. Por esta razón se considerará el precio del m² en €3.400. Para la tabla 16 se crea una estructura de cobro de publicidad basada en modelos de monetización de publicidad en pantallas de alto tráfico, la cual consiste en planes mensuales donde se cobra por paquetes de salida del comercial dentro de una hora la cual se repetirá durante el día, sin posibilidad de que el cliente pueda seleccionar el horario específico, si no que este rotara en los horarios, se estimara una tasa de venta del 80% del tiempo en del día por pantalla, lo que quiere decir que de 24 horas se venderá a publicidad un total de 19 horas

¹⁹ Suponiendo un 80% del tiempo del día utilizado en publicidad

4.1.4.5 Estudio organizacional y administrativo

La siguiente etapa del estudio se profundizará en cómo se organizará el equipo a lo largo del proyecto para ello se utilizará una estructura del equipo bajo metodologías ágiles como scrum, con la siguiente estructura.

Tabla 13: Estructura organizacional del equipo, con roles de metodología Scrum

Cargo	Cantidad	Sueldo
Product Owner	2	€ 2.000
Tecnical Expert	4	€ 1.800
Data Analyst	4	€ 1.900
Vendedor de servicios	2	€ 1.500

Fuente: Elaboración propia

Se escoge esta metodología debido a que el proyecto tendrá que trabajar con datos analítico, desarrollos digitales, campañas de marketing y mantención del sistema. Pasando a la descripción de los cargos tenemos que:

- Product Owner (PO): Sus funciones son coordinar, supervisar y liderar al equipo para priorizar el buen funcionamiento del sistema. Además deberá de realizar informes mensuales respecto al funcionamiento del sistema en plenitud y por módulos. Finalmente su dependencia jerárquica es hacia el gerente del área.
- Data Analyst (DA): Sus funciones son las de organizar, interpretar y monitorear los datos obtenidos desde el proyecto ya sean datos directos de los módulos o desde las campañas en internet además de proponer mejoras al sistema. La prioridad del rol es la de manejar y cuidar los datos obtenidos por el equipo. Su dependencia jerárquica es con el PO
- Tecnical Expert (TE): Sus funciones serán las de velar por que el funcionamiento operacional del sistema se mantenga siempre en óptimas condiciones, debe de programar y organizar las mantenciones, también debe presentar informes del estado general de los módulos y de la salud del sistema. Su dependencia es hacia el PO.

- Vendedor de servicios (VS): Sus funciones serán las de buscar clientes para ofrecer los diferentes servicios como la venta de publicidad y la venta de informes estadísticos, su dependencia es hacia el PO

La modalidad de contratación será de equipos temporales de hasta 5 años de duración. En cuanto a la participación del personal este deberá de ser estar presente durante todo el año, o al menos un representante de cada rol, siendo el PO Cada cargo tendrá que trabajar un total de 40 horas semanales, y los gastos administrativos se dejan en 0 por ser una propuesta para ser implementada desde dentro del aeropuerto y no para un tercerizado. La elección de este equipo responde a criterios de eficiencia, experiencia técnica y bajo costo operativo para mantener el funcionamiento durante las 24 horas del día, lo que permite ejecutar el proyecto de manera profesional.

4.1.4.6 Estudio legal

El estudio legal tiene como finalidad identificar y analizar las normativas legales, tributaria, aduaneras y contractuales que puedan incidir en el desarrollo e implementación del proyecto. Esto permitirá anticipar posibles restricciones legales, estimar costos asociados y asegurar el cumplimiento normativo del proyecto dentro del aeropuerto de Chile. Como bien se menciona en la sección [3.1.3](#) en el 2022 comenzó a regir un actualizado arancel aduanero en Chile, lo que determino dentro del decreto supremo N° 473, Sección XVI, Capítulos 84 y 85 el arancel para aparatos con electroimanes presentaran un arancel del 6% sin embargo como la empresa seleccionada (Energy Floors) proviene de la Unión Europea la cual goza de un tratado de libre comercio con Chile con el cual se condona el arancel si el producto comprado posee el formulario EUR.1. además de este arancel en Chile existe un IVA aplicable del 19% el cual se calcula sobre el subtotal el cual se calcula entre la suma del valor CIF(Costo + seguro + flete) y los costos de instalación en caso de aplicarse. Para los impuestos referentes a la utilidad de una empresa en Chile se paga un total del 27% a la utilidad.

Por otro lado en caso de existir una disputa entre las partes se apegará a las convenciones de Viena de 1980. Para los aspectos legales referentes a la contratación de equipo humano en Chile no habrá problemas para que se regirán por el código del trabajo. Esto debido a que el proyecto viene a ser una propuesta para que la implemente Nuevo Pudahuel por ende las contrataciones legales se regirán a los estándares de la concesionaria.

Para los permisos de uso del espacio será necesario cumplir con las regulaciones de la DGAC respectivas a los permisos de construcción para obras nuevas, ampliaciones, reparaciones y alteraciones. Además el proyecto tiene que cumplir con los reglamentos y criterios del DAN 14 en el apartado 10 en relacionado al diseño de instalaciones e infraestructura requeridas para subestaciones y salas eléctricas, lo cual es lo más cercano al proyecto propuesto a pesar de que este no es una subestación, sin embargo al ser un sistema que se integra al sistema eléctrico del aeropuerto este cumple los criterios para ser regulado por este DAN. Por otra parte habrá que asegurar que la instalación de las baldosas y sus mantenimientos no creen nuevas vulnerabilidades de seguridad ni que obstruyan las zonas de tránsito, evacuación o de monitoreo de las cámaras de seguridad. Finalmente si bien no es una regulación como tal es importante mantener en diferentes criterios funcionales y de seguridad para que la DGAC pueda aprobar la instalación teniendo en cuenta los siguientes puntos:

1. Resistencia y durabilidad: las baldosas deben soportar tráfico peatonal intenso y constante, además de soportar el peso de los carros transporta equipaje y de las máquinas de limpieza.
2. Propiedades antideslizantes: las baldosas tienen que cumplir con normativas de resistencia de desplazamiento, para condiciones secas y húmedas.
3. Nivelación y continuidad: la superficie debe de ser plana y continua sin desniveles ni bordes que puedan causar tropiezos o problemas para el traslado de personas con movilidad reducida.
4. Resistencia al fuego: los materiales deben comportarse frente al fuego según los criterios y normas de edificios de uso público.

Para sección de seguridad eléctrica hay que tener en cuenta los siguientes puntos:

1. Certificación SEC del producto: las baldosas deben de contar con la certificación de la superintendencia de la electricidad y combustible (SEC) lo que implica que deben ser sometidas a pruebas en laboratorios para probar que cumplen con la normativa eléctrica chilena.
2. Diseño de la instalación eléctrica: Un instalador eléctrico autorizado debe diseñar la conexión del sistema a la red eléctrica, para este caso un sistema on-grid.

3. No interferencia: hay que garantizar que la instalación no genere interferencia electromagnética que puedan afectar a los sistemas de comunicación, navegación o seguridad del aeropuerto.

Para fines prácticos se estimará que estos criterios serán cumplidos sin problema debido a que ya existen implementaciones de sistemas similares en aeropuertos para desarrollar en el flujo de caja del proyecto se estimaran que en los costos de instalación serán suficientes para costear los valores de las certificaciones. Ahora se pasará a realizar el estudio financiero.

4.1.4.7 Estudio financiero

El objetivo del estudio financiero es la de ordenar y sistematizar la información monetaria proporcionada en los apartados anteriores del trabajo, además se realizarán cuadros analíticos y datos adicionales para evaluar el proyecto y estudiar los antecedentes para determinar la rentabilidad del mismo. Para ello se desarrollará un flujo de caja proyectado a 20 periodos anuales, donde se integrarán los costos fijos y variables como también todos los ingresos posibles del proyecto. Para la elaboración del flujo de caja se consideraron supuestos que se presentaron anteriormente, los cuales se recopilaran en la siguiente tabla.

Tabla 14: supuestos del flujo de caja

Supuesto	Valor	Dimensiones
1 kwh contamina	0,2384	kg de co2 eq
Pisadas en un metro	1,3	unidades
Precio de venta energética	\$80	CLP/Kwh
Energía por pisada	3	J o w/s
Una pantalla de 55" consume	108	Kwh/mes
Una pantalla de 80" consume	180	Kwh/mes
Periodos proyectados	20	Año
Vida útil de las baldosas	20	Años
Vida útil de las pantallas	2	Años
Conversión de unidades eléctricas	3.600.000	De ws a Kwh

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a los ingresos, estos provienen principalmente de la venta de publicidad dentro de las pantallas instaladas con las baldosas. Por otra parte si bien es un potencial ingreso la venta

de informes estadísticos no se ingresaran en el flujo de caja ya que la mayoría de estos informes serán utilizados por la misma concesionaria lo cual no sería correcto ingresar estos montos dentro de los ingresos ya que realmente no se estarían vendiendo, si no que serían utilizados por la misma empresa que lleva a cabo el proyecto por ende no corresponde integrarlos dentro del flujo de caja. Respecto a los costos, estos se dividen en fijos y variable los cuales se presentaran en la siguiente tabla.

Tabla 15: Tipos de costos del flujo de caja

CF	CV
Sueldo del personal	Energía de respaldo
Depreciación	
Mantenimiento	
Reemplazo de pantallas	
Inversión de baldosas	

Fuente: Elaboración propia

Como bien se pudo apreciar en el apartado de estudio de mercado, se calcularon los índices de estacionalidad de los datos de pasajeros los cuales serán utilizados para crear las proyecciones de la demanda hasta el año 2046, posteriormente a esto se procede a calcular los valores de producción energética tomando en cuenta las re inversiones en baldosas, para ello se realizaron las siguientes compras:

- 2029: Se compra un lote de 10 módulos de 2x4 metros para complementar en las instalaciones de ambas terminales.
- 2035: Al igual que antes se compra nuevamente un lote pero esta vez de 20 módulos de 2x4 metros para aumentar aún más la capacidad del sistema y ampliar las zonas en las que se pueden instalar las baldosas.

A modo de simplificar algunos supuestos se estimara que todas las baldosas que se coloquen serán pisadas durante el flujo del pasajero. Cabe destacar que la proporcionalidad de compra será con la siguiente estructura, 9 ubicaciones fijas y 1 modulo dinámico, las cuales tendrán la siguiente distribución.

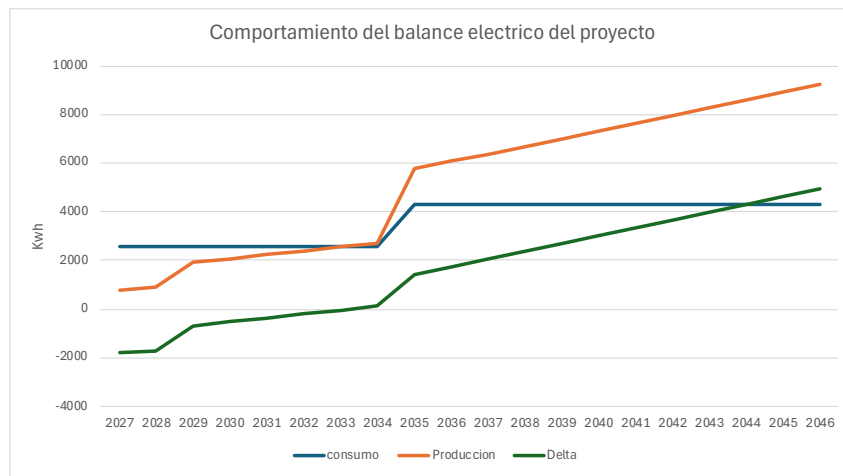
Tabla 16: Distribución de las baldosas en el aeropuerto.

	COMPRA 2026	COMPRA 2029	COMPRA 2035
Módulos en T1	6	6	12
Módulos en T2	3	3	6
Modulo dinámico	1	1	2
TOTAL DE MODULOS	10	10	20

Fuente: Elaboración propia

Esto permitió estimar la distancia que pueden transitar sobre las baldosas por cada terminal de AMB lo que permite el cálculo de la producción eléctrica total del sistema para generar el balance entre consumo eléctrico y producción eléctrica del sistema lo que permitirá calcular ingresos y costos asociados a la compra venta de electricidad. lo cual dio el siguiente gráfico.

Gráfico 7: Comportamiento del balance eléctrico del sistema.



Fuente: Elaboración propia

Para el caso de los mantenimientos, se calcularon de manera periódica según sus frecuencias y valores observadas en la tabla 16 dentro del estudio técnico, a lo que se construyó la siguiente tabla para determinar el valor de la mantención de cada una de las compras.

Tabla 17: Valores de mantenimiento por lote de compra

	COMPRA 2026 (40 m ²)	COMPRA 2029 (40 m ²)	COMPRA 2035 (80 m ²)
Valor del mantenimiento	€17.136	€17.136	€33.456

Fuente: Elaboración propia

Para los costos del personal se utilizarán los valores de la tabla 14 para crear la siguiente tabla.

Tabla 18: Costos mensuales del personal de trabajo

Cargo	Cantidad	Sueldo	Total
Product Owner	2	€ 2.000	€ 4.000,00
Tecnical Expert	4	€ 1.800	€ 7.200,00
Data Analyst	4	€ 1.900	€ 7.600,00
Vendedor de servicios	2	€ 1.500	€ 3.000,00

Fuente: elaboración propia

Finalmente en los costos están las depreciaciones e inversiones iniciales y las dentro de los periodos de operación. Para la construcción del flujo de caja se tendrá en cuenta los siguientes parámetros.

- Horizonte de evaluación: El horizonte de evaluación será de un periodo de 20 años justificado tanto por la gran inversión inicial como por la vida útil de las baldosas.
- Tipo de moneda: Para este caso se considera el euro, debido a que el proveedor de las baldosas presenta todos sus costos en euros, además esta divisa es una de las más usadas.
- Tasa de descuento: Para realizar la evaluación de rentabilidad del proyecto se utilizó el modelo CAPM (Capital Asset Pricing Model) el cual sirve para calcular la tasa de retorno mínima que se le debe de exigir a un proyecto para que valga la pena la inversión. Para poder calcular la tasa de descuento se presenta la siguiente formula.

$$K_e = R_f + \beta \times (R_m - R_f)$$

Ecuación 4: Tasa de descuento esperada.

Donde :

K_e : Tasa de descuento

R_f : Tasa libre de riesgo

β : Medidor de riesgo

R_m : Prima de riesgo del mercado

De esta manera, se calculó la tasa de descuento considerando una prima de riesgo del mercado con un valor del 10% y para la tasa libre de riesgo se escogerá como la tasa de interés en los bonos a 10 años emitidos por el banco central chileno. Otorgando así los siguientes valores.

Tabla 19: Indicadores de CAPM

<u>Rf</u>	5,81%
Rem	10%
Beta	1,5
Ke (TMAR)	12,10%

Fuente: Elaboración propia

A partir del flujo de caja desconectado, se obtuvo el VAN, la TIR y el periodo de recuperación, esto mediante las siguientes ecuaciones.

$$VAN = I_o + \sum_{t=0}^n \frac{FN_t}{(1 + TMAR)^t}$$

Ecuación 5: Valor actual neto

Donde

n : numero de flujos de caja neto

FN_t : es el flujo neto en el periodo t

$TMAR$: es la tasa de descuento o Ke

I_o : monto de la inversión inicial del proyecto

Así mismo se tiene que la función para calcular la TIR es la misma que el van, pero igualándola a 0 es decir

$$0 = I_o + \sum_{t=0}^n \frac{FN_t}{(1 + TMAR)^t}$$

Ecuación 6: Tasa interna de retorno

Con lo anterior se lleva a cabo el cálculo del flujo de caja que está presente en el apartado de [anexos](#) el anexo 1 además se calcularon los indicadores de VAN, TIR y el periodo de recuperación lo que llevo a la construcción de la siguiente tabla.

Tabla 20: indicadores económicos del proyecto

Indicadores Económicos	Valores
Valor Actual Neto (VAN)	€1.595.736
Tasa Interna de Retorno (TIR)	57,23%
Periodo de Recuperación (Payback)	Periodo 2

Fuente: elaboración propia

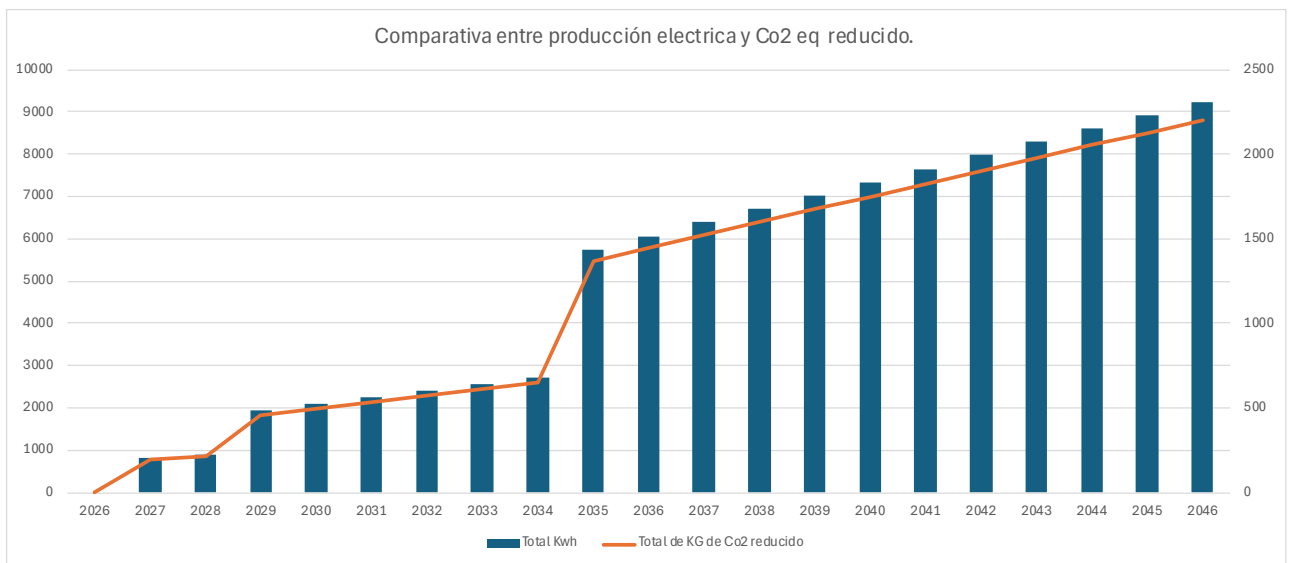
De lo anterior se puede llegar a concluir que los resultados financieros del proyecto son positivos, lo cual permite respaldar la ejecución del mismo. En primer lugar se presenta un VAN estimado de 1.734 millones de CLP lo que indica que el proyecto es capaz de generar una rentabilidad considerablemente superior a las inversiones realizadas a lo largo del proyecto, dejando en evidencia que existe un valor a lo largo de la vida útil del proyecto. Por otro lado la TIR se posiciona en un 63,11% superando con creces a la tasa mínima de retorno exigida para el proyecto. Este resultado vuelve a robustecer la solides financiera del proyecto lo cual fortalece también el atractivo del proyecto ante inversionistas o entidades financiadoras. Finalmente y no por eso menos importante el periodo de recuperación la inversión se presenta en el periodo 2 lo cual demuestra que existe una rápida recuperación del capital invertido, gracias a este suceso el proyecto puede permitirse hacer una reinversión temprana para mejorar así las capacidades del sistema. En conjunto todos estos indicadores permiten concluir que el proyecto no solo es económicamente rentable, sino también presenta un bajo nivel de riesgo financiero, un rápido retorno de inversión y un alto potencial de sostenibilidad en el tiempo, lo cual se alinea con los objetivos estratégicos de innovación y sustentabilidad propuesto en un inicio. Sin embargo para poder dimensionar el impacto ambiental del proyecto se procederá al siguiente estudio.

4.1.4.8 Estudio ambiental

Este estudio ambiental tiene como finalidad establecer las dimensiones del impacto medioambiental que supone llevar a cabo un proyecto como este, para ello se considerará los valores de la huella de carbono entregado por el proveedor el cual menciona que la huella

de carbono de sus instalaciones logran el net 0 al séptimo año de su funcionamiento. Lo cual quiere decir que a partir del 8 año no contará con huella de carbón. Cabe mencionar que el funcionamiento del sistema posterior a este periodo no va a significar valores negativos en la huella de carbono ya que este sistema no tiene la capacidad de retirar CO2 del aire, pero esto no quiere decir que no siga impactando positivamente al ambiente ya que a partir del periodo 8 se puede decir que cada Kwh producido por el sistema es libre de emisiones de CO2 lo cual es una ventaja comparativa con sistemas eléctricos como el del SEN. A modo de visualizar el impacto que puede tener ambientalmente hablando se desarrollara un gráfico que muestre la cantidad de KG de CO2 que el sistema es capaz de amortiguar en el consumo eléctrico de AMB.

Gráfico 8: Comparativa de producción eléctrica y CO2 eq reducido de las emisiones hechas por la electricidad del SEN



Fuente: Elaboración propia

Cabe mencionar que las baldosas tendrán diferentes periodos donde comenzaran a marcar el net 0 para el primer lote de baldosas logran alcanzar este punto al final del periodo 7 o el año 2033, para el segundo lote comprado en el periodo 3, alcanzara la meta al final del periodo 9 o a fines de 2035, y finalmente para el lote comprado en el periodo 9 se estima que llegue a la carbono neutralidad el al final del periodo 15 o del año 2041. Esto significaría que el proyecto entero lograría la carbono neutralidad antes de terminar el proyecto.

4.1.5 Validación de la propuesta

Para poder validar la propuesta del proyecto o decir que el proyecto es económicamente rentable se esperará cumplir con los siguientes criterios.

- $VAN > 0$
- $TIR > K_e$
- Periodo de recuperación dentro del flujo.

Como bien se logra apreciar en el apartado de estudio financiero con la tabla 21, los valores calculados para el VAN, TIR y periodo de recuperación cumplen con los criterios anteriormente expuesto, lo que quiere decir que el proyecto es económicamente rentable lo que valida la propuesta económicamente, para estimar su aporte medioambiental se estimó el aporte a la reducción de CO₂ equivalente que presenta a lo largo del tiempo el sistema como se puede observar en el gráfico 6 el cual indica que aportes de menos de una tonelada para los años previos al 2034, posteriormente a eso su aporte incrementa hasta llegar a las 2 toneladas para los últimos años, esta tendencia suele incrementar conforme a la demanda de pasajeros de la terminal también suba.

4.2 Análisis de restricciones y limitaciones del proyecto.

Dentro de este análisis de restricciones y limitaciones del proyecto se buscará identificar todas aquellas barreras físicas, estructurales u operativas que se pueden presentar dentro del aeropuerto que podrían llegar a afectar a la instalación de este sistema además se buscará determinar la compatibilidad de la infraestructura existente del aeropuerto, para ello se procederá a identificar primero las restricciones legales y normativas alrededor del aeropuerto para esto se utilizarán como referente el [estudio legal](#) anteriormente expuesto.

Como bien se logra apreciar en el estudio legal las normativas que regulan las instalaciones eléctricas corresponden al DAN 14 10, como las baldosas cumplen los estándares europeos no deberían de haber problemas directamente con las baldosas sin embargo habrá que tener en consideración el sistema de conexión de las mismas con el sistema eléctrico de cada terminal y que esta cumpla con los estándares de seguridad eléctrica. Como el sistema de las baldosas es modular esto permite que ante fallas presentadas en alguna baldosa esta pueda ser fácilmente reemplazada o extraída para su reparación. Por otro lado los aranceles de importación no entran en juego por el tratado de libre comercio de Chile con la UE.

Para las limitaciones económicas y financieras se puede apreciar en el flujo de caja en el anexo, que el costo de inversión inicial es bastante alto alrededor de los 350 millones de CLP lo que puede alzar la deuda del aeropuerto en caso de no contar con la fluides para la compra. Si bien el flujo de caja esta todo evaluado en EUR en la práctica no se cobrará ni pagaran sueldos en esta divisa. Existen riesgos asociados a factores externos que pueden influir notablemente con el proyecto, un ejemplo perfecto a esto serían los cambios en las tensiones geopolíticas de los países involucrados ya que si se entra en guerra ya sea por parte de Chile o de la UE es posible que los precios fluctúen de manera importante tanto para los materiales como para los costos y tiempos de importación. Dejando los conflictos de lado también existen riesgos de adopción de la tecnología ya que puede presentar un rechazo de los pasajeros por miedo a electrocutarse o por cualquier otro aspecto visual. Finalmente tenemos limitaciones asociadas al comportamiento del usuario, como puede ser la interacción del pasajero con la baldosa, quizás las esquiven o caminen de manera más ligera de lo normal, o bien a las empresas no les interese promocionar su publicidad en pantallas de 55". Sin embargo esto son limitaciones del proyecto o de comportamiento del alrededor, pero hay una limitación física del sistema que pueden presentar problemas también, como lo es la capacidad máxima de carga de cada baldosa que es de unos 1.300 kg lo cual puede presentar una restricción al aeropuerto y su operación limitando las maquinarias que circulen por dentro de la terminal a estos pesos.

5 Conclusiones

A modo de cierre se procederá a realizar las conclusiones del estudio realizado, para ello se comenzará revisitando el propósito de la propuesta, como bien se habló en la sección de introducción y justificación en el último tiempo hemos estado viviendo cambios importantes en el clima, consiguiente en 2015 se planteó en la COP 21 el tratado de París donde se fijó el objetivo de llegar a la carbono neutralidad para 2050, Chile por su parte firmo el acuerdo para cumplir estos objetivos, posteriormente a esto se desarrolló la ECLP que brindo objetivos claros a seguir a nivel país.

Este estudio se realizó con el propósito de evaluar la factibilidad técnica, económica y ambiental de implementar suelos inteligentes en las terminales aéreas, contribuyendo a los objetivos nacionales de carbono neutralidad y modernización tecnológica del transporte aéreo. En el ámbito técnico la implementación de un SREC es posible incluso con un modelo modular capaz de ser distribuido por la terminal de manera que se pueda optimizar la recolección de datos y la producción de energía, en este sentido se consideran las baldosas de Energy Floors como la más capacitada para utilizar en este proyecto por su certificación de CE (Conformidad Europea), lo que certifica que este producto es apto para su uso en aeropuertos y en edificios públicos. Así mismo se estimó que las áreas óptimas para su instalación maximizando su exposición al flujo de pasajeros. Por otro lado en el ámbito económico el proyecto demostró rentabilidad con un VAN de €1.595.736 y una TIR del 53,23% la cual fue superior al 12,10% de la tasa mínima de descuento esperada del modelo CAPM asimismo se consigue obtener el Payback para el periodo 2 del flujo en la primera inversión y luego de cada inversión se espera una recuperación menor a 2 periodos, por otro lado la obtención de datos puede presentar una oportunidad única a la concesionaria de Nuevo Pudahuel para obtener ingresos extras con informes de estudio de los datos o venta de estos a diferentes entidades que quieran estudiar patrones o comprender comportamientos de los pasajeros, el cual va a proveer datos que ayudarán a aclarar la toma de decisiones al momento de desarrollar cambios en el plan maestro del aeropuerto. Desde la perspectiva ambiental el sistema alcanza un balance de carbono positivo a partir del séptimo año de funcionamiento y obtendrá valores de reducción de GEI en unos 2,25 ton de CO₂ al año. La implementación del sistema posicionará al aeropuerto AMB como referente regional en innovación sustentable, al combinar generación eléctrica, análisis de datos y educación

ambiental en una sola solución tecnológica. No obstante el estudio presenta ciertas limitaciones asociadas a la disponibilidad parcial de datos técnicos por parte de proveedores y las proyecciones utilizadas para estimar el flujo futuro de pasajeros, las cuales pueden variar según condiciones externas además la percepción del resto de vecinos de la región y del mundo sobre las riquezas y bellezas de nuestro país pueden variar con los ambientes sociales y políticos del momento. Finalmente se recomienda considerar la ampliación del sistema a otras terminales aéreas o espacios públicos, integrando futuras tecnologías de sensorización y análisis de datos para potenciar la gestión inteligente de las infraestructuras

6 Trabajos citados

- Ministerio de Salud de Chile. (14 de Julio de 2023). *www.ispch.gob.cl*. Obtenido de [www.ispch.gob.cl: https://www.ispch.gob.cl/ambientes-y-alimentos/subdepartamento-del-ambiente/contaminacion-ambiental/](https://www.ispch.gob.cl/ambientes-y-alimentos/subdepartamento-del-ambiente/contaminacion-ambiental/)
- IPCC. (2022). *Mitigation of Climate Change*.
- NASA. (13 de 07 de 2023). *NASA*. Obtenido de Global Climate Change: <https://climate.nasa.gov/faq/70/que-es-el-efecto-invernadero/>
- Gobierno de Argón. (24 de 02 de 2023). *Gobierno de Argón*. Obtenido de El cambio climático: <https://www.aragon.es/-/el-cambio-climatico>
- JAC. (30 de 12 de 2022). *Junta Aeronáutica Civil*. Obtenido de estadísticas del año 2022: <http://www.jac.gob.cl/estadisticas-ano-2022/>
- Energetica. (1 de 07 de 2011). *Reportajes: El consumo energético del aeropuerto de Santiago*. Obtenido de Sitio Web de la Revista Electricidad: <https://www.revistaei.cl/reportajes/el-consumo-energetico-del-aeropuerto-de-santiago/#>
- ONU. (20 de Octubre de 2019). *www.un.org*. Obtenido de [www.un.org: https://www.un.org/es/climatechange/net-zero-coalition](https://www.un.org/es/climatechange/net-zero-coalition)
- IATA. (4 de Octubre de 2021). *www.iata.org*. Obtenido de [www.iata.org: https://www.iata.org/contentassets/dcd25da635cd4c3697b5d0d8ae32e159/2021-10-04-03-es.pdf](https://www.iata.org/contentassets/dcd25da635cd4c3697b5d0d8ae32e159/2021-10-04-03-es.pdf)
- ACI. (8 de Junio de 2021). *www.aci-europe.org*. Obtenido de [www.aci-europe.org: https://www.aci-europe.org/netzero](https://www.aci-europe.org/netzero)
- ALA. (27 de Junio de 2023). <https://ala.aero>. Obtenido de [https://ala.aero: https://ala.aero/es/2023/06/aci-world-y-el-foro-economico-mundial-lanzan-airports-of-tomorrow-para-acelerar-la-descarbonizacion-de-la-aviacion/](https://ala.aero/es/2023/06/aci-world-y-el-foro-economico-mundial-lanzan-airports-of-tomorrow-para-acelerar-la-descarbonizacion-de-la-aviacion/)
- Comisión Chilena Energía Nuclear. (2016). *www.cchen.cl*. Obtenido de [www.cchen.cl: https://www.cchen.cl/?page_id=1617#:~:text=a\)%20Chile%20se%20compromete%20al,adecuadas%20para%20alcanzar%20este%20compromiso.](https://www.cchen.cl/?page_id=1617#:~:text=a)%20Chile%20se%20compromete%20al,adecuadas%20para%20alcanzar%20este%20compromiso.)
- Ministerio de Medio Ambiente de Chile. (9 de Junio de 2020). <https://mma.gob.cl>. Obtenido de [https://mma.gob.cl: https://mma.gob.cl/gobierno-entrega-la-actualizacion-de-su](https://mma.gob.cl/gobierno-entrega-la-actualizacion-de-su)

compromiso-de-reduccion-de-emisiones-y-medidas-para-enfrentar-el-cambio-climatico/

ECONOMIPEDIA. (9 de Noviembre de 2019). *economipedia.com*. Obtenido de [economipedia.com: https://economipedia.com/definiciones/energia-renovable.html](https://economipedia.com/definiciones/energia-renovable.html)

Ministerio de Energía de Chile. (15 de Julio de 2023). <https://energia.gob.cl>. Obtenido de <https://energia.gob.cl>: <https://energia.gob.cl/educacion/que-son-las-energias-renovables>

Euklidiadas, M. M. (7 de Julio de 2022). <https://tomorrow.city>. Obtenido de <https://tomorrow.city>: <https://tomorrow.city/a/piezolectricidad-generar-energia-con-movimiento>

Westreicher, G. (1 de Abril de 2021). <https://economipedia.com>. Obtenido de <https://economipedia.com>: <https://economipedia.com/definiciones/energia-eolica.html>

Generatuluz. (2023). *Generatuluz*. Obtenido de <http://www.ingenieros.es/noticias/ver/baldosas-piezolectricas-para-generarenergia-limpia/4207>

Guillermo Westricher. (1 de 04 de 2021). *Economipedia*. Obtenido de [Economipedia: https://economipedia.com/definiciones/energia-eolica.html](https://economipedia.com/definiciones/energia-eolica.html)

PAVEGEN. (2023). www.pavegen.com. Obtenido de www.pavegen.com: <https://www.pavegen.com/about>

PAVEGEN. (2023). www.pavegen.com. Obtenido de www.pavegen.com: <https://www.pavegen.com/en/case-studies/broadgate-london-2-0>

PAVEGEN. (2023). www.pavegen.com. Obtenido de www.pavegen.com: <https://www.pavegen.com/en/case-studies/truedigitalcity-0>

PAVEGEN. (2023). www.pavegen.com. Obtenido de www.pavegen.com: <https://www.pavegen.com/en/case-studies/skyzone-birmingham-airport-0>

PAVEGEN. (2023). www.pavegen.com. Obtenido de www.pavegen.com: <https://www.pavegen.com/en/case-studies/adidas-marathon-0>

PAVEGEN. (2023). www.pavegen.com. Obtenido de www.pavegen.com: <https://www.pavegen.com/en/case-studies/heathrow-airport>

- Piñero, J. (28 de agosto de 2023). *Votrtextbladeless*. Obtenido de <https://vortexbladeless.com/es/tecnologia/>
- APC international LTD. (30 de marzo de 2024). *APC international LTD*. Obtenido de <https://www.americanpiezo.com/knowledge-center/piezo-theory/piezoelectricity.html>
- Megias, J. (6 de 4 de 2024). *Medium*. Obtenido de <https://medium.com/blog-javier-megias/lean-canvas-un-lienzo-de-modelos-de-negocio-para-startups-6f3650ebd5dd>
- Flightradar24. (2025). *Data*. Obtenido de Statistics: <https://www.flightradar24.com/data/statistics>
- Sapag, N., Sapag, R., & Sapag, J. M. (2008). *Preparación y evaluación de proyectos* (Vol. 6). (A. L. Rodriguez, Ed.) Mc Graw Hill.
- Carter, R., & Kensley, R. (2022). *Introduction to piezoelectric transducers*. Piezo.com.
- Calister, W. D. (1996). *introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales*. España: Reverte.
- World Bank Group. (2025). *climate change*. Obtenido de <https://data.worldbank.org/topic/climate-change?view=chart>
- MMA. (s.f.). *Ministerio del medio ambiente*. Recuperado el junio de 2025, de ¿Que es el cambio climático?: <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/que-es-el-cambio-climatico/>
- Verbruggen, A. M. (2011). Anexo I: Glosario, siglas, símbolos químicos y prefijos. En A. M. Verbruggen, & O. P.-M. Edenhofer (Ed.), *Informe especial sobre fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático del IPCC*. Cambridge y Nueva York: Cambridge University Press.
- M.R. Cisneros, G. Á. (2020). Energía solar fotovoltaica. *Ciencia, Revista de la Academia Mexicana de Ciencias.*, 71(3).
- Garvin Heath, P. S. (2021). *Life Cycle Greenhouse Gas Emissions from Electricity Generation*. National Renewable Energy Laboratory (NREL). .
- Ackermann, T., & Söder, L. (2002). *An overview of wind energy-status 2002*. Recuperado el 8 de junio de 2025, de Sciencedirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032102000084>

- Rojas Sola, J. I., & Amezcua Ogayar, J. m. (2005). *scielo*. Recuperado el 8 de junio de 2025, de Origen y expansión de los molinos de viento en España: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442005000600004&lng=es&tlng=es.
- Ebeed, M. (abril de 2013). *Enhancement Protection and Operation of The Doubly Fed Induction Generator During Grid Fault*. Recuperado el junio de 2025, de ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/308674254_Enhancement_Protection_and_Operation_of_The_Doubly_Fed_Induction_Generator_During_Grid_Fault
- Ancient Engineering Technologies. (s.f.). *Windmills in the Netherland*. Obtenido de <https://ancientengrtech.wisc.edu/the-netherlands-windmill/#overview>
- Omojola, A. (julio de 2015). *ResearchGate*. Recuperado el junio de 2025, de https://www.researchgate.net/publication/281831806_A_Survey_Of_Solar_Energy_Utilization_For_Sustainable_Development_In_Nigeria
- Elhalwagy, A. M., Ghoneem, M. Y., & elhadidi, M. (29 de Junio de 2017). *Science direct*. Recuperado el Junio de 2025, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217322117>
- Sarker, M., Julai, S., sabri, M. F., Said, S. M., Islam, M., & Tahir, M. (1 de Diciembre de 2019). *ScienceDirect*. Recuperado el junio de 2025, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924424719312816>
- Yang, Y. (11 de agosto de 2023). *Piezoelectric Actuators Application and Hysteresis Modelling: A Brief Survey*. Recuperado el junio de 2025, de <https://doi.org/10.4236/oalib.1110482>
- Pavegen. (2018). *Case Studies*. Obtenido de Pavegen: <https://www.pavegen.com/en/case-studies/abu-dhabi-airport-0>
- Curie, J., & Curie, P. (1880). *Persee*. Obtenido de Parcourir les collections: https://www.persee.fr/doc/bulmi_0150-9640_1880_num_3_4_1564
- Energy Floors. (2018). Obtenido de <https://energy-floors.com/portfolio/ns-dutch-railways-x-energy-floors/>

- Adam, A., & Okache, J. (2025). "From Footsteps to Megawatts": Kinetic Energy Harvesting from Pedestrian and Vehicular Movement in Urban Environments. *Journal of the nigerian institute of town planners*, 30(2), 88 - 106.
- APC International, LTD. (s.f.). *Knwolege Center*. Recuperado el julio de 2025, de Piezoelectric Generators: https://www-americanpiezo-com.translate.google/knowledge-center/piezoelectric-theory/generators/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=sge#:~:text=APC%20International%2C%20Ltd.,mayor%20sensibilidad%2C%20estabilidad%20y%20fiabilidad.
- sarker, m., julai, s., Sabri, M., Said, S. M., Islam, M. M., & Tahir, M. (2019). Review of piezoelectric energy harvesting system and application of optimization techniques to enhance the performance of the harvesting system. *Sensors And Actuators A: Physical*.
- Serway, R. A., & JR, J. W. (2019). *Fisica para ciencias e ingenieria* (Vol. 2). Estados Unidos : Cengage.
- PAVEGEN. (2013). *Pavegen*. Obtenido de Case studies: <https://www.pavegen.com/en/case-studies/adidas-marathon-0>
- Pavegen. (10 de Noviembre de 2020). *Pavegen*. Obtenido de Case studies: <https://www.pavegen.com/en/case-studies/heathrow-airport>
- Pavegen. (28 de febrero de 2019). *Pavegen*. Obtenido de Case studies: <https://www.pavegen.com/en/case-studies/abu-dhabi-airport-0>
- Eney FLoors. (October de 2024). *energy-floors*. Obtenido de Portfolio: <https://energy-floors.com/portfolio/wurth-italy-smartbuilding/>
- Energy Floors. (2018). *energy-floors*. Obtenido de Portfolio: <https://energy-floors.com/portfolio/maltas-presidential-eco-garden/>
- Aduanas Chile. (10 de Diciembre de 2021). *Aduana*. Obtenido de Infrmación normativas: <https://www.aduana.cl/nuevo-arancel-aduanero-entrara-en-vigencia-desde-el-1-de-enero-del-2022/aduana/2021-12-10/131402.html>
- BCCh. (31 de julio de 2025). *Banco Central de Chile*. Obtenido de Indicadores diarios: https://si3.bcentral.cl/indicadoressiete/secure/Serie.aspx?gcode=PRE_EUR¶m=cgBnAE8AOQBIAgCAIwBiAFUALQBsAEcAYgBOAEkASQBCAEcAegBFAF

kAeABkADgASAA2AG8AdgB2AFMAUgBYADIAQwBzAEEARQBMAG8ASg
BWADQATABrAGQAZAB1ADIAeQBBAFAAZwBhADIAbABWAHcAXwBX
AGgATAAkAFIAVAB1AEIA

Gobierno de Chile. (2019). *Aduana Chile*. Obtenido de Acuerdos de asociación económica:

<https://www.aduana.cl/acuerdo-de-asociacion-entre-la-republica-de-chile-y-el-reino-unido-de/aduana/2020-12-30/124541.html>

7 ANEXO

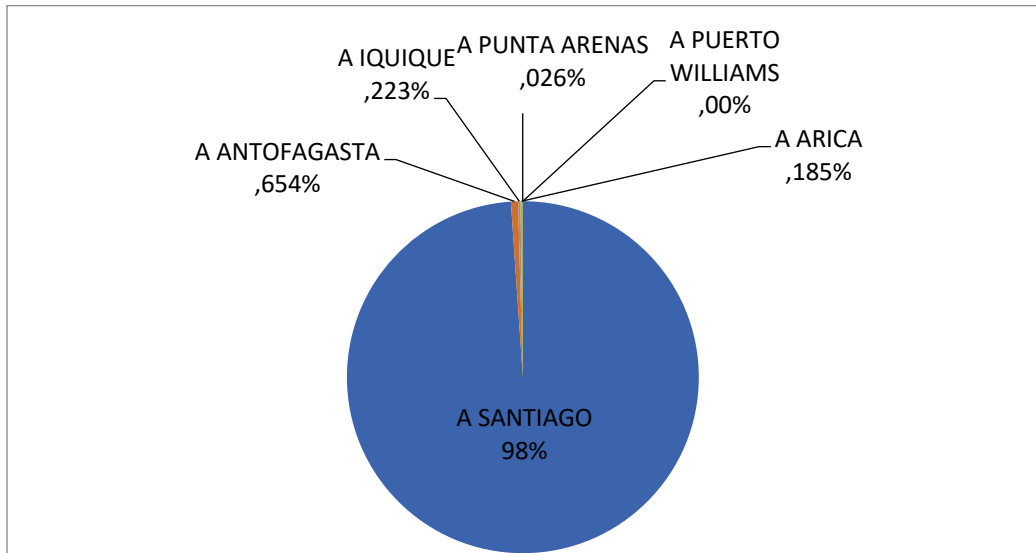


Ilustración 28: Pasajeros internacionales llegados a Chile por aeropuertos año 2022 (Enero - Diciembre),

Fuente: Junta Aeronáutica Civil

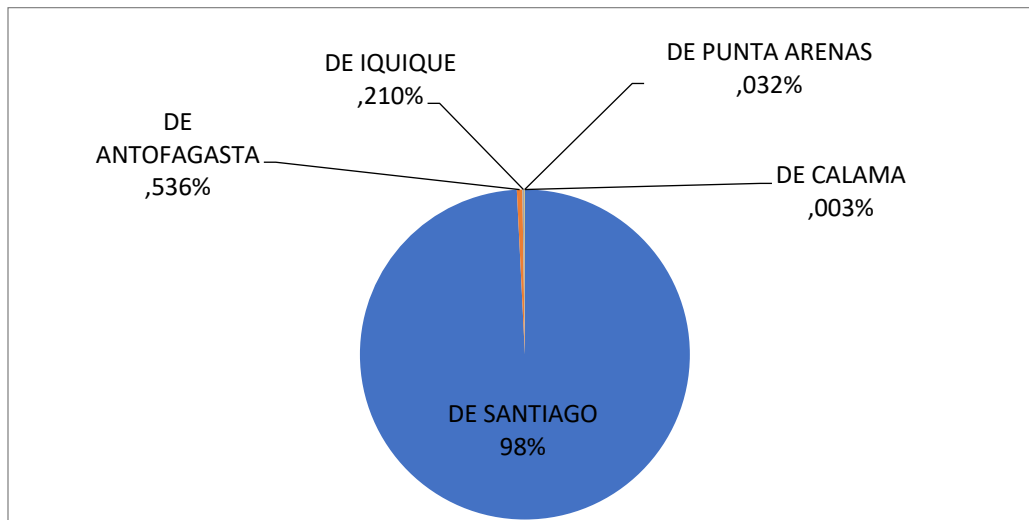


Ilustración 29: Pasajeros internacionales salidos desde Chile por aeropuertos 2022 (Enero-Diciembre) fuente:

Junta Aeronáutica Civil

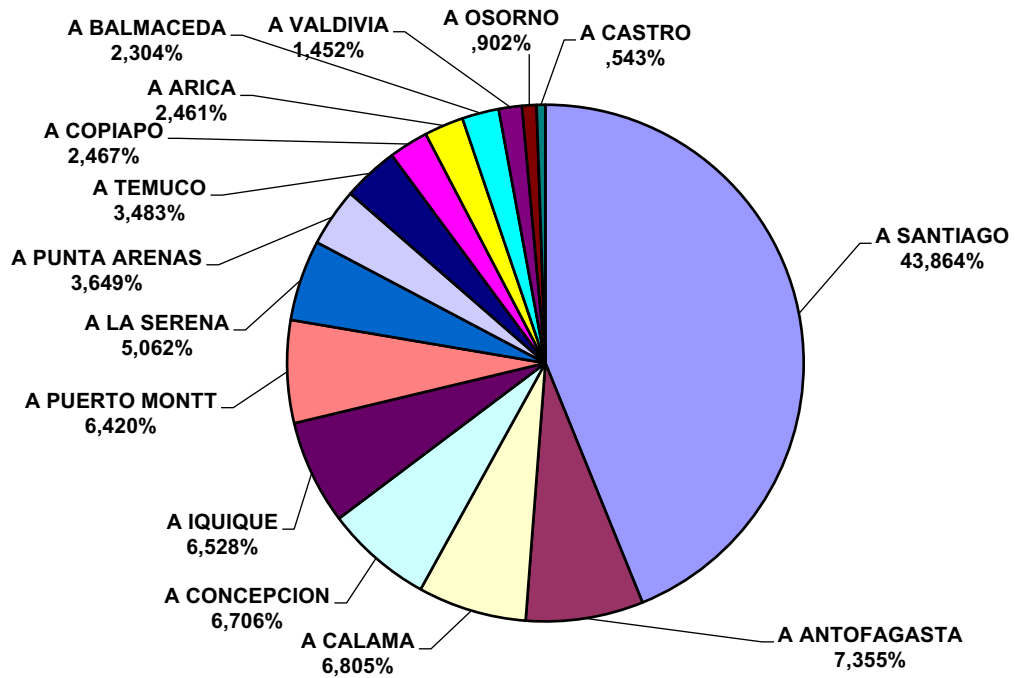


Ilustración 30: Tráfico de pasajeros nacionales llegados a los aeropuertos año 2022 (Enero-Diciembre) Fuente: Junta Aeronáutica Civil

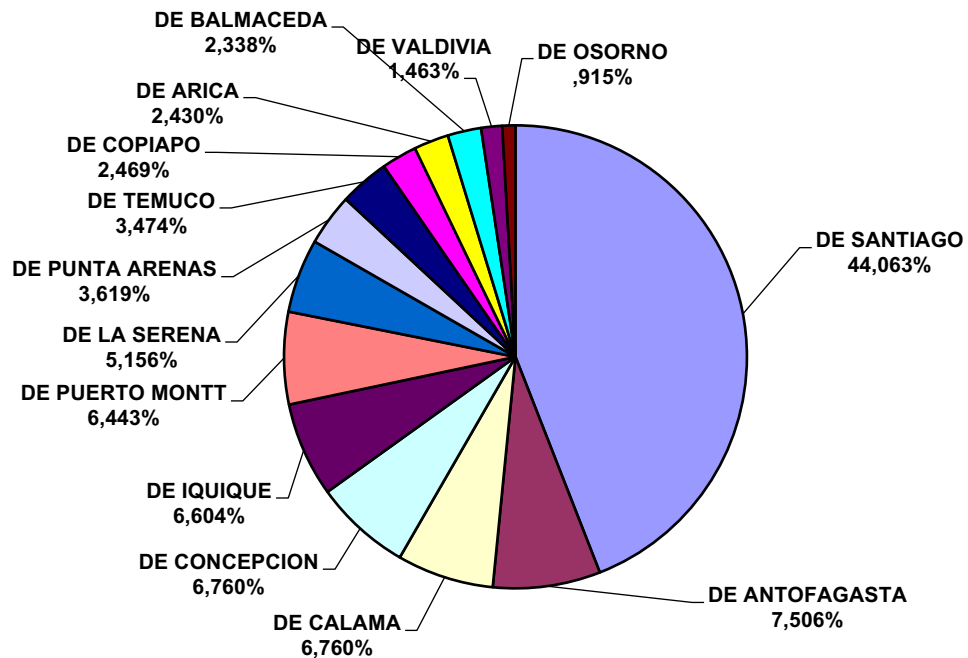


Ilustración 31: Tráfico de pasajeros nacionales salidos de los aeropuertos año 2022 (Enero-Diciembre) Fuente: Junta Aeronáutica Civil

Tabla 21: Demanda de pasajeros del terminal nacional para el periodo entre 2022 y 2024 con I.E.E

Mes	2022	2023	2024	Promedio	I.E.E
Enero	1.155.694	1.172.902	1.439.931	1.256.176	0,0967
Febrero	1.084.581	1.099.417	1.325.563	1.169.854	0,0901
Marzo	952.377	1.107.437	1.173.909	1.077.908	0,0830
Abril	865.882	997.677	1.091.035	984.865	0,0758
Mayo	883.095	1.013.125	1.047.932	981.384	0,0755
Junio	804.884	983.125	983.775	923.928	0,0711
Julio	985.641	1.189.713	1.154.671	1.110.008	0,0854
Agosto	893.970	1.056.363	1.047.870	999.401	0,0769
Septiembre	886.561	1.085.447	1.120.731	1.030.913	0,0794
Octubre	1.006.414	1.151.244	1.245.139	1.134.266	0,0873
Noviembre	1.015.303	1.211.962	1.249.280	1.158.848	0,0892
Diciembre	1.045.042	1.206.078	1.238.191	1.163.104	0,0895
TOTAL PAX	11.579.444	13.274.490	14.118.027	1.082.554	1

Fuente: Datos JAC y elaboración propia

Tabla 22: Demanda de pasajeros del terminal internacional para el periodo entre 2022 y 2024 con I.E.E

Mes	2022	2023	2024	Promedio	I.E.E
Enero	483.990	857.670	1.049.689	797.116	0,0845
Febrero	461.081	810.944	1.006.407	759.477	0,0805
Marzo	477.848	780.289	969.882	742.673	0,0787
Abril	492.504	683.573	805.469	660.515	0,0700
Mayo	525.342	680.329	830.871	678.847	0,0720
Junio	501.308	713.768	887.157	700.744	0,0743
Julio	645.764	856.404	1.100.332	867.500	0,0919

Agosto	605.893	810.204	1.021.475	812.524	0,0861
Septiembre	608.365	794.538	982.487	795.130	0,0843
Octubre	676.311	845.561	982.293	834.722	0,0885
Noviembre	706.607	878.455	987.866	857.643	0,0909
Diciembre	755.210	929.660	1.098.629	927.833	0,0983
TOTAL CONSUMIDO	6.940.223	9.641.395	11.722.557	786.227	1

Fuente: Datos JAC y elaboración propia

Tabla 23: Demanda de pasajeros del aeropuerto completo para el periodo entre 2022 y 2024 con I.E.E

Mes	2022	2023	2024	Promedio	I.E.E
Enero	1.639.684	2.030.572	2.489.620	2.053.292	0,0916
Febrero	1.545.662	1.910.361	2.331.970	1.929.331	0,0860
Marzo	1.430.225	1.887.726	2.143.791	1.820.581	0,0812
Abril	1.358.386	1.681.250	1.896.504	1.645.380	0,0734
Mayo	1.408.437	1.693.454	1.878.803	1.660.231	0,0740
Junio	1.306.192	1.696.893	1.870.932	1.624.672	0,0724
Julio	1.631.405	2.046.117	2.255.003	1.977.508	0,0882
Agosto	1.499.863	1.866.567	2.069.345	1.811.925	0,0808
Septiembre	1.494.926	1.879.985	2.103.218	1.826.043	0,0814
Octubre	1.682.725	1.996.805	2.227.432	1.968.987	0,0878
Noviembre	1.721.910	2.090.417	2.237.146	2.016.491	0,0899
Diciembre	1.800.252	2.135.738	2.336.820	2.090.937	0,0932
TOTAL CONSUMIDO	18.519.667	22.915.885	25.840.584	1.868.782	1,0000

Fuente: Datos JAC y elaboración propia

Tabla 24: Proyección de producción de energía para el terminal nacional para los periodos proyectados desde 2025 hasta 2046

Mes	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046
Enero	22,78	24,64	26,50	28,36	30,22	32,08	33,94	35,81	37,67	39,53	41,39	43,25	45,11	46,98	48,84	50,70	52,56	54,42	56,28	58,14	60,01	61,87
Febrero	21,21	22,94	24,68	26,41	28,14	29,88	31,61	33,35	35,08	36,81	38,55	40,28	42,01	43,75	45,48	47,21	48,95	50,68	52,42	54,15	55,88	57,62
Marzo	19,54	21,14	22,74	24,34	25,93	27,53	29,13	30,72	32,32	33,92	35,52	37,11	38,71	40,31	41,91	43,50	45,10	46,70	48,30	49,89	51,49	53,09
Abril	17,86	19,32	20,78	22,23	23,69	25,15	26,61	28,07	29,53	30,99	32,45	33,91	35,37	36,83	38,29	39,75	41,21	42,67	44,13	45,59	47,05	48,51
Mayo	17,79	19,25	20,70	22,16	23,61	25,06	26,52	27,97	29,43	30,88	32,34	33,79	35,24	36,70	38,15	39,61	41,06	42,52	43,97	45,43	46,88	48,33
Junio	16,75	18,12	19,49	20,86	22,23	23,60	24,97	26,34	27,70	29,07	30,44	31,81	33,18	34,55	35,92	37,29	38,66	40,03	41,40	42,77	44,13	45,50
Julio	20,12	21,77	23,41	25,06	26,70	28,35	29,99	31,64	33,28	34,93	36,57	38,22	39,86	41,51	43,15	44,80	46,44	48,09	49,73	51,38	53,02	54,67
Agosto	18,12	19,60	21,08	22,56	24,04	25,52	27,01	28,49	29,97	31,45	32,93	34,41	35,89	37,37	38,85	40,33	41,82	43,30	44,78	46,26	47,74	49,22
Septiembre	18,69	20,22	21,75	23,27	24,80	26,33	27,86	29,38	30,91	32,44	33,97	35,50	37,02	38,55	40,08	41,61	43,13	44,66	46,19	47,72	49,25	50,77
Octubre	20,56	22,25	23,93	25,61	27,29	28,97	30,65	32,33	34,01	35,69	37,37	39,05	40,74	42,42	44,10	45,78	47,46	49,14	50,82	52,50	54,18	55,86
Noviembre	21,01	22,73	24,45	26,16	27,88	29,60	31,31	33,03	34,75	36,47	38,18	39,90	41,62	43,34	45,05	46,77	48,49	50,20	51,92	53,64	55,36	57,07
Diciembre	21,09	22,81	24,53	26,26	27,98	29,71	31,43	33,15	34,88	36,60	38,32	40,05	41,77	43,49	45,22	46,94	48,67	50,39	52,11	53,84	55,56	57,28
Total Kwh	235,53	254,78	274	293	313	332	351	370	390	409	428	447	467	486	505	524	544	563	582	601	621	640

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25: Proyección de producción de electricidad para la terminal internacional para el periodo entre 2025 a 2046

Mes	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046
Enero	7,81	9,12	10,43	11,75	13,06	14,37	15,69	17,00	18,31	19,63	20,94	22,25	23,57	24,88	26,19	27,50	28,82	30,13	31,44	32,76	34,07	35,38
Febrero	7,44	8,69	9,94	11,19	12,44	13,69	14,95	16,20	17,45	18,70	19,95	21,20	22,45	23,70	24,95	26,21	27,46	28,71	29,96	31,21	32,46	33,71
Marzo	7,27	8,50	9,72	10,94	12,17	13,39	14,62	15,84	17,06	18,29	19,51	20,73	21,96	23,18	24,40	25,63	26,85	28,07	29,30	30,52	31,74	32,97
Abril	6,47	7,56	8,65	9,73	10,82	11,91	13,00	14,09	15,17	16,26	17,35	18,44	19,53	20,62	21,70	22,79	23,88	24,97	26,06	27,14	28,23	29,32
Mayo	6,65	7,77	8,89	10,00	11,12	12,24	13,36	14,48	15,60	16,71	17,83	18,95	20,07	21,19	22,31	23,42	24,54	25,66	26,78	27,90	29,02	30,13
Junio	6,86	8,02	9,17	10,33	11,48	12,64	13,79	14,94	16,10	17,25	18,41	19,56	20,72	21,87	23,03	24,18	25,33	26,49	27,64	28,80	29,95	31,11
Julio	8,50	9,93	11,36	12,78	14,21	15,64	17,07	18,50	19,93	21,36	22,79	24,22	25,65	27,08	28,50	29,93	31,36	32,79	34,22	35,65	37,08	38,51
Agosto	7,96	9,30	10,64	11,97	13,31	14,65	15,99	17,33	18,67	20,01	21,34	22,68	24,02	25,36	26,70	28,04	29,38	30,71	32,05	33,39	34,73	36,07
Septiembre	7,79	9,10	10,41	11,72	13,03	14,34	15,65	16,96	18,27	19,58	20,89	22,20	23,51	24,82	26,13	27,44	28,75	30,06	31,37	32,68	33,99	35,30
Octubre	8,18	9,55	10,93	12,30	13,68	15,05	16,43	17,80	19,18	20,55	21,93	23,30	24,68	26,05	27,43	28,80	30,18	31,55	32,93	34,30	35,68	37,05
Noviembre	8,40	9,81	11,23	12,64	14,05	15,46	16,88	18,29	19,70	21,12	22,53	23,94	25,35	26,77	28,18	29,59	31,01	32,42	33,83	35,24	36,66	38,07
Diciembre	9,09	10,62	12,14	13,67	15,20	16,73	18,26	19,79	21,32	22,84	24,37	25,90	27,43	28,96	30,49	32,02	33,54	35,07	36,60	38,13	39,66	41,19
Total Kwh	92,41	107,95	123	139	155	170	186	201	217	232	248	263	279	294	310	326	341	357	372	388	403	419

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26: Proyección de producción de energía para todo el aeropuerto para los periodos proyectados desde 2025 hasta 2046

Mes	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046
Enero	59,01	66,27	73,53	80,80	176,12	190,64	205,16	219,69	234,21	248,73	526,51	555,56	584,61	613,65	642,70	671,75	700,79	729,84	758,89	787,94	816,98	846,03
Febrero	55,45	62,27	69,10	75,92	165,48	179,13	192,78	206,42	220,07	233,72	494,73	522,02	549,31	576,61	603,90	631,19	658,49	685,78	713,07	740,37	767,66	794,95
Marzo	52,32	58,76	65,20	71,64	156,16	169,03	181,91	194,79	207,67	220,54	466,84	492,60	518,35	544,11	569,86	595,61	621,37	647,12	672,88	698,63	724,39	750,14
Abril	47,29	53,11	58,93	64,75	141,13	152,77	164,41	176,04	187,68	199,32	421,92	445,19	468,47	491,74	515,02	538,30	561,57	584,85	608,13	631,40	654,68	677,95
Mayo	47,71	53,59	59,46	65,33	142,40	154,15	165,89	177,63	189,38	201,12	425,72	449,21	472,70	496,18	519,67	543,16	566,64	590,13	613,61	637,10	660,59	684,07
Junio	46,69	52,44	58,18	63,93	139,35	150,84	162,34	173,83	185,32	196,81	416,61	439,59	462,57	485,56	508,54	531,52	554,51	577,49	600,47	623,46	646,44	669,42
Julio	56,83	63,83	70,82	77,81	169,62	183,60	197,59	211,58	225,57	239,55	507,08	535,06	563,03	591,01	618,98	646,95	674,93	702,90	730,88	758,85	786,83	814,80
Agosto	52,07	58,48	64,89	71,30	155,41	168,23	181,05	193,86	206,68	219,49	464,62	490,25	515,89	541,52	567,15	592,78	618,42	644,05	669,68	695,31	720,94	746,58
Septiembre	52,48	58,94	65,40	71,85	156,62	169,54	182,46	195,37	208,29	221,20	468,24	494,07	519,91	545,74	571,57	597,40	623,23	649,07	674,90	700,73	726,56	752,39
Octubre	56,59	63,55	70,52	77,48	168,89	182,81	196,74	210,67	224,59	238,52	504,90	532,75	560,60	588,46	616,31	644,17	672,02	699,88	727,73	755,58	783,44	811,29
Noviembre	57,95	65,09	72,22	79,35	172,96	187,22	201,49	215,75	230,01	244,28	517,08	545,60	574,13	602,66	631,18	659,71	688,23	716,76	745,29	773,81	802,34	830,87
Diciembre	60,09	67,49	74,88	82,28	179,35	194,13	208,92	223,71	238,50	253,29	536,17	565,75	595,33	624,90	654,48	684,06	713,64	743,22	772,80	802,38	831,96	861,54
Total Kwh	644,50	723,81	803	882	1.923	2.082	2.241	2.399	2.558	2.717	5.750	6.068	6.385	6.702	7.019	7.337	7.654	7.971	8.288	8.606	8.923	9.240

Fuente : Elaboración propia

Anexo 1: Flujo de caja del proyecto desde 2026 a 2046

Periodos	Periodo 0	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4	Periodo 5
Año	2026	2027	2028	2029	2030	2031
(+) Ingresos	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -
(+) Ingresos por publicidad	€ 504.000,00	€ 504.000,00	€ 504.000,00	€ 504.000,00	€ 504.000	€ 504.000
(+) Ingresos por datos				€ -	€ -	€ -
(-) Personal		€ -261.600	€ -261.600	€ -261.600	€ -261.600	€ -261.600
(-) Mantenimiento		€ -	€ -17.136	€ -	€ -17.136	€ -17.136
(-) Reemplazo de pantallas		€ -	€ -	€ -1.200	€ -	€ -
(-) energía de respaldo		€ -128,80	€ -123,09	€ -48,13	€ -36,71	€ -25,29
(-) Instalación	€ -27.200,00			€ -27.200,00		
(=) Utilidad Operacional	\$ 269.163.304,15	\$ 250.131.552,31	\$ 250.131.552,31	\$ 267.919.724,20	\$ 250.227.516,52	\$ 250.240.204,84
(-) Valor Libro						
(-) Depreciación	\$ -19.209.678,84	\$ -19.209.678,84	\$ -19.209.678,84	\$ -19.209.678,84	\$ -37.819.417,68	\$ -37.819.417,68
(=) Utilidad Antes de Impues	\$ 249.953.625,31	\$ 230.921.873,47	\$ 230.921.873,47	\$ 248.710.045,36	\$ 212.408.098,84	\$ 212.420.787,16
(-) Impuesto (19%)	\$ -47.491.188,81	\$ -43.875.155,96	\$ -43.875.155,96	\$ -47.254.908,62	\$ -40.357.538,78	\$ -40.359.949,56
(=) Utilidad Después de Imp	\$ 202.462.436,50	\$ 274.797.029,43	\$ 274.797.029,43	\$ 295.964.953,98	\$ 252.765.637,62	\$ 252.780.736,72
(+) Valor Libro						
(+) Depreciación	\$ 19.209.678,84	\$ 19.209.678,84	\$ 19.209.678,84	\$ 19.209.678,84	\$ 37.819.417,68	\$ 37.819.417,68
(-) Inversión B	-347.520.800			\$ -347.520.800,00		
(-) Inversión P	-1.333.200					
(+) Valor de Desecho del Proyecto						
Flujo de Caja	-348.854.000	\$ 221.672.115,34	\$ 294.006.708,27	\$ -32.346.167,18	\$ 290.585.055,30	\$ 290.600.154,40

Periodo 6	Periodo 7	Periodo 8	Periodo 9	Periodo 10	Periodo 11	Periodo 12
2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
€ -	€ -	€ 8,97	€ 102,99	€ 125,83	€ 148,67	€ 171,51
€ 504.000	€ 504.000	€ 504.000	€ 655.200	€ 655.200	€ 655.200	€ 655.200
€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -
€ -261.600	€ -261.600	€ -261.600	€ -261.600	€ -261.600	€ -261.600	€ -261.600
€ -17.136	€ -17.136	€ -17.136	€ -17.136	€ -17.136	€ -50.592	€ -17.136
€ -1.200	€ -	€ -	€ -8.000	€ -	€ -	€ -8.000
€ -13,87	€ -2,45	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -
			€ -54.400			
\$ 248.919.693,16	\$ 250.265.581,48	\$ 250.278.269,80	\$ 409.477.925,33	\$ 418.391.301,97	\$ 381.247.062,61	\$ 409.554.055,25
\$ -37.819.417,68	\$ -37.819.417,68	\$ -37.819.417,68	\$ -37.819.417,68	\$ -74.229.776,28	\$ -74.229.776,28	\$ -74.229.776,28
\$ 211.100.275,48	\$ 212.446.163,80	\$ 212.458.852,12	\$ 371.658.507,65	\$ 344.161.525,69	\$ 307.017.286,33	\$ 335.324.278,97
\$ -40.109.052,34	\$ -40.364.771,12	\$ -40.367.181,90	\$ -70.615.116,45	\$ -65.390.689,88	\$ -58.333.284,40	\$ -63.711.613,00
\$ 251.209.327,82	\$ 252.810.934,92	\$ 252.826.034,02	\$ 442.273.624,10	\$ 409.552.215,57	\$ 365.350.570,73	\$ 399.035.891,98
\$ 37.819.417,68	\$ 37.819.417,68	\$ 37.819.417,68	\$ 37.819.417,68	\$ 74.229.776,28	\$ 74.229.776,28	\$ 74.229.776,28
			\$ -619.493.600,00			
\$ 289.028.745,50	\$ 290.630.352,60	\$ 290.645.451,70	\$ -139.400.558,22	\$ 483.781.991,85	\$ 439.580.347,01	\$ 473.265.668,26

Periodo 13	Periodo 14	Periodo 15	Periodo 16	Periodo 17	Periodo 18	Periodo 19	Periodo 20
2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046
€ 194,35	€ 217,20	€ 240,04	€ 262,88	€ 285,72	€ 308,56	€ 331,40	€ 354,24
€ 655.200	€ 655.200	€ 655.200	€ 655.200	€ 655.200	€ 655.200	€ 655.200	€ 655.200
€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -
€ -261.600	€ -261.600	€ -261.600	€ -261.600	€ -261.600	€ -261.600	€ -261.600	€ -261.600
€ -50.592	€ -17.136	€ -50.592	€ -17.136	€ -50.592	€ -17.136	€ -50.592	€ -17.136
€ -	€ -	€ -8.000	€ -	€ -	€ -8.000	€ -	€ -
€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -
\$ 381.297.815,89	\$ 418.492.808,53	\$ 372.460.569,18	\$ 418.543.561,82	\$ 381.399.322,46	\$ 409.706.315,10	\$ 381.450.075,74	\$ 418.645.068,38
							\$ -41.354.975,20
\$ -74.229.776,28	\$ -74.229.776,28	\$ -74.229.776,28	\$ -74.229.776,28	\$ -74.229.776,28	\$ -74.229.776,28	\$ -74.229.776,28	\$ -74.229.776,28
\$ 307.068.039,61	\$ 344.263.032,25	\$ 298.230.792,90	\$ 344.313.785,54	\$ 307.169.546,18	\$ 335.476.538,82	\$ 307.220.299,46	\$ 303.060.316,90
\$ -58.342.927,53	\$ -65.409.976,13	\$ -56.663.850,65	\$ -65.419.619,25	\$ -58.362.213,77	\$ -63.740.542,38	\$ -58.371.856,90	\$ -57.581.460,21
\$ 365.410.967,14	\$ 409.673.008,38	\$ 354.894.643,55	\$ 409.733.404,79	\$ 365.531.759,95	\$ 399.217.081,19	\$ 365.592.156,36	\$ 360.641.777,11
\$ 74.229.776,28	\$ 74.229.776,28	\$ 74.229.776,28	\$ 74.229.776,28	\$ 74.229.776,28	\$ 74.229.776,28	\$ 74.229.776,28	\$ 74.229.776,28
\$ 439.640.743,42	\$ 483.902.784,66	\$ 429.124.419,83	\$ 483.963.181,07	\$ 439.761.536,23	\$ 473.446.857,47	\$ 439.821.932,64	\$ 557.138.436,59

Fuente: Elaboración propia