



MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS  
DIRECCIÓN DE AEROPUERTOS  
DEPARTAMENTO DE PROYECTOS

“ESTUDIO BÁSICO INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS DE PARÁMETROS PARA  
CERTIFICACIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA AEROPORTUARIA  
SUSTENTABLE, 2° LLAMADO”

ETAPA 5 – INFORME AVANCE 1  
REVISIÓN 0

CES23-DAP-GNE-GE-XX-IN-01-0

REV	FECHA	ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ
0	2024-12-20	MLC - FME	Camila Núñez	Alexis Galaz
C	2024-12-05	MLC - FME	Camila Núñez	Alexis Galaz
B	2024-11-13	MLC - FME	Camila Núñez	Alexis Galaz
A	2024-10-08	MLC - FME	Camila Núñez	Alexis Galaz

INSPECTOR(A) FISCAL	JEFE DEPTO. PROYECTOS DAP	JEFE PROYECTO FAIC

## ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN .....	9
2	OBJETIVOS .....	9
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	9
3	ALCANCE .....	10
4	RESUMEN EJECUTIVO .....	10
5	COMPROMISOS DE MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP) .....	13
6	ETAPAS DE ESTUDIO .....	15
6.1	ETAPA 1: DIAGNÓSTICO .....	15
6.1.1	METODOLOGÍA EMPLEADA EN ETAPA DE DIAGNÓSTICO .....	15
6.1.2	CASOS INTERNACIONALES DE AEROPUERTOS SUSTENTABLES .....	17
6.1.3	CERTIFICACIONES Y ESTÁNDARES INTERNACIONALES .....	18
6.1.4	LEVANTAMIENTO DE LÍNEA BASE .....	19
6.1.5	ANÁLISIS DE COSTOS .....	22
6.1.6	BRECHAS DE APLICACIÓN CES V1.1 EN TERMINALES DE AEROPUERTOS Y REFUGIOS .....	23
6.2	ETAPA 2: ESTUDIO DE ENERGÍA .....	30
6.2.1	METODOLOGÍA PARA ESTUDIO DE ENERGÍA .....	30
6.2.2	CARGAS INTERNAS APLICABLES A TERMINALES Y REFUGIOS .....	31
6.2.2.1	PROPUESTA DE GANANCIAS INTERNAS Y HORARIOS DE OCUPACIÓN .....	31
6.2.2.2	PROPUESTA DE CLASIFICACIÓN DE RECINTOS .....	34
6.2.2.3	PROPUESTA DE DEFINICIÓN DE ALCANCES DE RECINTOS TIPO .....	34
6.2.2.4	ZONAS CLIMÁTICAS, CIUDADES Y DATOS CLIMATOLÓGICOS CONSIDERADOS .....	36
6.2.3	DATOS DE ENTRADA, NIVELES Y MODELOS DE SIMULACIÓN .....	39
6.2.4	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE SIMULACIONES .....	42
6.2.4.1	CASO GRAN ESCALA .....	43
6.2.4.2	CASO PEQUEÑA ESCALA .....	52
6.2.5	PROPUESTA DE NIVELES DE REDUCCIÓN DE DEMANDA Y CONSUMO ENERGÉTICO .....	63
6.2.5.1	PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE DEMANDA ENERGÉTICA CASO GRAN ESCALA .....	63
6.2.5.2	PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE CONSUMO ENERGÉTICO CASO GRAN ESCALA .....	68
6.2.5.3	PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE HORAS DE DISCONFORT CASO GRAN ESCALA .....	69
6.2.5.4	PROPUESTA DE RANGOS DE REDUCCIÓN DE CONSUMO INFORMATIVA SOBRE MODELO 4 CASO GRAN ESCALA 72	
6.2.5.5	PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE DEMANDA ENERGÉTICA CASO PEQUEÑA ESCALA .....	73
6.2.5.6	PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE CONSUMO ENERGÉTICO CASO PEQUEÑA ESCALA .....	77
6.2.5.7	PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE HORAS DE DISCONFORT CASO PEQUEÑA ESCALA .....	79
6.2.5.8	PROPUESTA DE RANGOS DE REDUCCIÓN DE CONSUMO INFORMATIVA SOBRE MODELO 4 CASO GRAN ESCALA 82	

6.2.6	PROPUESTA REDUCCIÓN DE DEMANDA SEGÚN NIVEL 1-2 Y ORIENTACIÓN .....	82
6.2.6.1	PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE DEMANDA ENERGÉTICA CASO GRAN ESCALA NIVEL 1 Y 2 REFERENCIAL	83
6.2.6.2	PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE DEMANDA ENERGÉTICA CASO GRAN ESCALA NIVEL 1 Y 2 REFERENCIAL Y ORIENTACIÓN LIMITADA .....	85
6.2.6.3	PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE DEMANDA ENERGÉTICA CASO PEQUEÑA ESCALA NIVEL 1 Y 2 REFERENCIAL 88	
6.2.6.4	PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE DEMANDA ENERGÉTICA CASO PEQUEÑA ESCALA NIVEL 1 Y 2 REFERENCIAL Y ORIENTACIÓN LIMITADA .....	90
6.2.7	DIRECTORIO DE PROPUESTAS REALIZADAS .....	92
6.3	ETAPA 3: ESTUDIO DE AGUA .....	94
6.3.1	METODOLOGÍA APLICADA PARA ESTUDIO DEL AGUA .....	94
6.3.2	CASOS INTERNACIONALES DE REUTILIZACIÓN DE AGUA EN AEROPUERTOS Y TERMINALES .....	95
6.3.3	REQUERIMIENTOS ASOCIADOS A VARIABLE DE AGUA EN CERTIFICACIONES .....	96
6.3.4	PROPUESTAS DE REQUERIMIENTOS DE AGUA PARA AEROPUERTOS .....	100
6.3.4.1	PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: SISTEMAS DE AGUA POTABLE - REDUCIR EL CONSUMO DE AGUA POTABLE .....	100
6.3.4.2	PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: SISTEMAS DE AGUA SANITARIOS: REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PARA USO SANITARIO SIN CONSUMO HUMANO .....	106
6.3.4.3	PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: SISTEMAS DE AGUA SANITARIOS: TECNOLOGÍA DE REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES .....	107
6.3.4.4	PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: SISTEMAS DE AGUA SANITARIOS: REUTILIZACIÓN DE AGUAS DE PRECIPITACIONES PARA USO SANITARIO SIN CONSUMO HUMANO .....	108
6.3.4.5	PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: SISTEMAS DE AGUA SANITARIOS: TECNOLOGÍA DE RECOLECCIÓN DE AGUAS PLUVIALES .....	108
6.3.4.6	PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: SISTEMAS DE AGUA SANITARIOS: PLANTAS DE TRATAMIENTO IN SITU 109	
6.3.4.7	PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: SISTEMAS DE AGUA EFICIENTE: USO DE AGUA RECOLECTADA Y/O RECICLADA EN OPERACIONES AEROPORTUARIAS .....	110
6.3.4.8	PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: SISTEMAS DE AGUA EFICIENTE: SISTEMA DE CONTROL Y MEDICIÓN 110	
6.3.4.9	PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: SISTEMAS DE AGUA EFICIENTE: CONCIENCIACIÓN DEL USO DEL AGUA 111	
6.3.4.10	PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: SISTEMAS DE AGUA EFICIENTE: CONSUMO DE AGUA DE LAS TORRES DE REFRIGERACIÓN .....	112
6.3.4.11	PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: SISTEMAS DE AGUA EFICIENTE: USO DE AGUA DESALINIZADA .....	113
6.3.4.12	PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: SISTEMAS DE AGUA EFICIENTE: DUREZA DEL AGUA .....	113
6.3.4.13	PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: PAISAJISMO – REDUCIR EVAPOTRANSPIRACIÓN .....	114
6.3.4.14	PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: PAISAJISMO – SISTEMAS DE RIEGO EFICIENTES .....	117
6.3.4.15	PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: PAISAJISMO - SISTEMAS DE RIEGO EFICIENTE - REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES .....	121

6.3.4.16	PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: PAISAJISMO – SISTEMA DE RIEGO EFICIENTE – REUTILIZACIÓN DE PRECIPITACIONES.....	121
6.3.4.17	PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: PAISAJISMO XERÓFILO.....	122
6.3.4.18	RESUMEN PROPUESTAS DE REQUERIMIENTOS .....	122
6.3.4.19	RELACIÓN REQUERIMIENTOS PROPUESTOS CON ODS Y POLÍTICAS NACIONALES.....	125
6.4	ETAPA 4: ESTUDIO DE ACÚSTICA .....	128
6.4.1	METODOLOGÍA PARA ESTUDIO DE ACÚSTICA .....	128
6.4.2	CASOS INTERNACIONALES DE AISLACIÓN ACÚSTICA EN AEROPUERTOS .....	129
6.4.3	REQUERIMIENTOS ASOCIADOS A VARIABLE ACÚSTICA EN CERTIFICACIONES.....	130
6.4.4	PROPUESTAS DE REQUERIMIENTOS DE AISLACIÓN ACÚSTICA PARA AEROPUERTOS .....	132
6.4.4.1	PROPUESTA DE CONFORT ACÚSTICO: AISLACIÓN ACÚSTICA DE FACHADAS.....	133
6.4.4.2	PROPUESTA DE CONFORT ACÚSTICO: AISLACIÓN ACÚSTICA DE CUBIERTAS .....	135
6.4.4.3	PROPUESTA DE CONFORT ACÚSTICO: AISLAMIENTO RUIDO AÉREO E IMPACTO ENTRE RECINTOS INTERIORES .....	137
6.4.4.4	PROPUESTA CONFORT ACÚSTICO: CONTROL DE REVERBERACIÓN E INTELIGIBILIDAD DE LA PALABRA ..	139
6.4.4.5	PROPUESTA DE CONTROL DEL RUIDO Y VIBRACIONES PROVENIENTES DE EQUIPOS.....	140
6.4.4.6	PROPUESTA DE REQUERIMIENTO VOLUNTARIO: IMPLEMENTACIÓN DE ZONAS DE SILENCIO.....	144
6.4.4.7	PROPUESTA DE REQUERIMIENTO VOLUNTARIO: INSTALACIÓN DE BARRERAS ACÚSTICAS.....	147
6.4.4.8	PROPUESTA DE REQUERIMIENTO VOLUNTARIO: SISTEMAS DE ENMASCARAMIENTO DE RUIDO.....	153
6.4.4.9	PROPUESTA DE REQUERIMIENTO OBLIGATORIO: INCLUSIÓN DE ESPECIALISTA ACÚSTICO DESDE EL INICIO DE ANTEPROYECTO DE DISEÑO PARA PROYECTOS DE CLASE C O MAYOR.....	154
6.4.4.10	PROPUESTA DE REQUERIMIENTO VOLUNTARIO: JARDINES Y PARQUES INTERIORES PARA CONTROL ACÚSTICO Y ENRIQUECIMIENTO CULTURAL .....	155
6.4.4.11	RESUMEN PROPUESTAS DE REQUERIMIENTOS .....	157
6.4.4.12	RELACIÓN DE CRITERIOS PROPUESTOS CON ODS .....	159
7	CONCLUSIONES .....	160

## ÍNDICE FIGURAS

Figura 6-1: Ubicación (geográfica y climática) de los proyectos aeroportuarios.....	20
Figura 6-2: Ubicación temporal de los proyectos analizados (según su fecha de cierre de Licitación).....	21
Figura 6-3: Sobrecosto de estrategias CES en edificios terminales (UF/m <sup>2</sup> ) .....	23
Figura 6-4: Gráfico de resultados demanda Modelo 1 en climatización en kWh .....	44
Figura 6-5: Gráfico de resultados de disminución de horas de desconfort por nivel y orientación para M1 .....	45
Figura 6-6: Gráfico de resultados de disminución de horas de desconfort por nivel y orientación para M2 .....	46
Figura 6-7: Gráfico de resultados de disminución de horas de desconfort por nivel y orientación para M1 .....	55
Figura 6-8: Gráfico de resultados de disminución de horas de desconfort por nivel y orientación para M2 .....	56
Figura 6-9: Resultado clusterización de porcentaje de reducción de demanda.....	64
Figura 6-10: Resultado clusterización de porcentaje de reducción de horas de desconfort .....	70
Figura 6-11: Resultado clusterización de porcentaje de reducción de demanda caso pequeña escala .....	73
Figura 6-12: Resultado clusterización de porcentaje de reducción de consumo caso pequeña escala.....	78
Figura 6-13: Resultado clusterización de porcentaje de reducción de horas de desconfort .....	80
Figura 6-14: Resultado clusterización de porcentaje de reducción de demanda ajustada a nivel 1 y 2 referencial .....	83
Figura 6-15: Resultado clusterización de porcentaje de reducción de demanda ajustada a nivel 1 y 2 referencial y orientación limitada .....	86
Figura 6-16: Resultado clusterización de porcentaje de reducción de demanda ajustada a nivel 1 y 2 referencial .....	88
Figura 6-17: Resultado clusterización de porcentaje de reducción de demanda ajustada a nivel 1 y 2 referencial y orientación limitada .....	91
Figura 6-18: Herramienta de cálculo de ahorro de agua .....	106
Figura 6-19: Afiche de concienciación sobre el uso de agua en baños masculinos del aeropuerto internacional de Chennai .....	111
Figura 6-20: Afiche de concienciación sobre el uso de agua en zonas comunes del aeropuerto de Ciudad del Cabo .....	112
Figura 6-21: Herramienta de cálculo de agua asociada a paisajismo .....	120
Figura 6-22: Sala tranquila de Presley's Place en el Aeropuerto Internacional de Pittsburgh .....	145
Figura 6-23: Normas en Sala tranquila de Presley's Place en el Aeropuerto Internacional de Pittsburgh .....	146
Figura 6-24: Principio de funcionamiento de barreras acústicas en Schiphol, Países Bajos .....	153

## ÍNDICE TABLAS

Tabla 6-1: Comparación casos internacionales - clima Chile .....	17
Tabla 6-2 comparación parámetros certificaciones de sustentabilidad energética .....	19
Tabla 6-3: Síntesis de la realidad aeroportuaria tenida a la vista. ....	21
Tabla 6-4: Cuadro comparativo de sobrecosto CES de los proyectos (UF/m <sup>2</sup> ) .....	23
Tabla 6-5: Brechas identificadas en aplicación CES v1.1 a proyectos aeroportuarios para las variables de energía, agua y acústica .....	24
Tabla 6-6: Propuesta de cargas internas para simulaciones .....	33
Tabla 6-7: Propuesta de recintos regularmente ocupados.....	35
Tabla 6-8: Definición tipología de recintos según CES .....	36
Tabla 6-9: Comparación de fuentes y archivos climáticos para zonas de estudio.....	38
Tabla 6-10: Archivos climáticos para zonas de estudio.....	39
Tabla 6-11: Valor de transmitancia térmica en W/m <sup>2</sup> K y propiedades de cristal para cada nivel de envolvente .....	40
Tabla 6-12: Valores de transmitancia térmica en W/m <sup>2</sup> K para envolvente referencial .....	42
Tabla 6-13: Resultados promedio de demanda energética en climatización para M2 en distintos niveles y M4 .....	47
Tabla 6-14: Reducción de demanda energética frente a M2 en nivel 1.....	48
Tabla 6-15: Reducción de demanda energética frente a M2 en nivel 2.....	48
Tabla 6-16: Reducción de demanda energética frente a M2 en nivel 3.....	49
Tabla 6-17: Reducción de demanda energética frente a M2 en nivel 4.....	49
Tabla 6-18: Reducción de demanda energética frente a M4.....	50
Tabla 6-19: Reducción porcentual de consumo energético sobre niveles de M3 .....	51
Tabla 6-20: Reducción porcentual de horas de desconfort por nivel.....	51
Tabla 6-21: Resultados promedio de demanda energética en climatización para M2 en distintos niveles y M4 .....	57
Tabla 6-22: Reducción de demanda energética frente a M2 en nivel 1.....	58
Tabla 6-23: Reducción de demanda energética frente a M2 en nivel 2.....	58
Tabla 6-24: Reducción de demanda energética frente a M2 en nivel 3.....	59
Tabla 6-25: Reducción de demanda energética frente a M2 en nivel 4.....	59
Tabla 6-26: Reducción de demanda energética frente a M4.....	60
Tabla 6-27: Reducción porcentual de consumo energético sobre niveles de M3 .....	61
Tabla 6-28: Reducción porcentual de horas de desconfort por nivel.....	61
Tabla 6-29: Índices de calidad de clusterización.....	63
Tabla 6-30: Asignación de clúster para cada ubicación.....	64
Tabla 6-31: Resultados de rangos de reducción de demanda energética para nivel 1 de M2 .....	65
Tabla 6-32: Resultados de rangos de reducción de demanda energética para nivel 2 de M2 .....	65
Tabla 6-33: Resultados de rangos de reducción de demanda energética para nivel 3 de M2 .....	66
Tabla 6-34: Resultados de rangos de reducción de demanda energética para nivel 4 de M2 .....	66
Tabla 6-35: Resultados de rango de reducción de demanda por moda o promedio .....	66
Tabla 6-36: Resultados de rango de reducción de demanda según CES v1.1.....	67
Tabla 6-37: Propuesta de rangos de reducción de demanda energética.....	67
Tabla 6-38: Propuesta de puntajes de reducción de demanda energética .....	67
Tabla 6-39: Resultados de rangos de reducción de consumo energético por nivel de M3 .....	68
Tabla 6-40: Resultados de rango de reducción de demanda por moda o promedio .....	68
Tabla 6-41: Propuesta de rangos de reducción de consumo energético.....	68
Tabla 6-42: Propuesta de puntajes de reducción de consumo energético.....	69
Tabla 6-43: Índices de calidad de clusterización.....	69
Tabla 6-44: Asignación de clúster para cada ubicación.....	70
Tabla 6-45: Resultados de rangos de reducción de horas de desconfort .....	71
Tabla 6-46: Resultados de rangos de reducción de horas de desconfort por ubicación.....	71
Tabla 6-47: Rangos de reducción de horas de desconfort según CES v1.1 .....	71
Tabla 6-48: Propuesta de rangos de reducción de horas de desconfort.....	72
Tabla 6-49: Propuesta de puntajes de reducción de horas de desconfort .....	72

Tabla 6-50: Propuesta de rangos de reducción de consumo energético informativo .....	73
Tabla 6-51: Índices de calidad de clusterización.....	73
Tabla 6-52: Asignación de clúster para cada ubicación.....	74
Tabla 6-53: Resultados de rangos de reducción de demanda energética para nivel 1 de M2 .....	74
Tabla 6-54: Resultados de rangos de reducción de demanda energética para nivel 2 de M2 .....	75
Tabla 6-55: Resultados de rangos de reducción de demanda energética para nivel 3 de M2 .....	75
Tabla 6-56: Resultados de rangos de reducción de demanda energética para nivel 4 de M2 .....	76
Tabla 6-57: Resultados de rango de reducción de demanda por moda o promedio .....	76
Tabla 6-58: Resultados de rango de reducción de demanda según CES v1.1.....	76
Tabla 6-59: Propuesta de rangos de reducción de demanda energética.....	76
Tabla 6-60: Propuesta de puntajes de reducción de demanda energética .....	77
Tabla 6-61: Índices de calidad de clusterización.....	77
Tabla 6-62: Asignación de clúster para cada ubicación.....	77
Tabla 6-63: Resultados de rangos de reducción de consumo energético por nivel de M3 .....	78
Tabla 6-64: Propuesta de rangos de reducción de consumo energético.....	79
Tabla 6-65: Propuesta de puntajes de reducción de consumo energético.....	79
Tabla 6-66: Índices de calidad de clusterización.....	79
Tabla 6-67: Asignación de clúster para cada ubicación.....	80
Tabla 6-68: Resultados de rangos de reducción de horas de disconfort .....	81
Tabla 6-69: Resultados de rangos de reducción de horas de disconfort por ubicación.....	81
Tabla 6-70: Propuesta de rangos de reducción de horas de disconfort.....	81
Tabla 6-71: Propuesta de puntajes de reducción de horas de disconfort .....	82
Tabla 6-72: Propuesta de rangos de reducción de consumo energético informativo .....	82
Tabla 6-73: Índices de calidad de clusterización.....	83
Tabla 6-74: Resultados de rango de reducción de demanda por promedio.....	84
Tabla 6-75: Propuesta de rangos de reducción de demanda energética.....	84
Tabla 6-76: Propuesta de puntajes de reducción de demanda energética .....	84
Tabla 6-77: Índices de calidad de clusterización.....	85
Tabla 6-78: Resultados de rango de reducción de demanda por promedio.....	87
Tabla 6-79: Propuesta de rangos de reducción de demanda energética.....	87
Tabla 6-80: Propuesta de puntajes de reducción de demanda energética .....	87
Tabla 6-81: Índices de calidad de clusterización.....	88
Tabla 6-82: Resultados de rango de reducción de demanda por promedio.....	89
Tabla 6-83: Propuesta de rangos de reducción de demanda energética.....	89
Tabla 6-84: Propuesta de puntajes de reducción de demanda energética .....	89
Tabla 6-85: Índices de calidad de clusterización.....	90
Tabla 6-86: Resultados de rango de reducción de demanda por promedio.....	91
Tabla 6-87: Propuesta de rangos de reducción de demanda energética.....	92
Tabla 6-88: Propuesta de puntajes de reducción de demanda energética .....	92
Tabla 6-89: Directorio de propuestas realizadas .....	93
Tabla 6-90: Resumen de casos internacionales consultados - Agua .....	95
Tabla 6-91: Resumen de requisitos asociados a agua en certificaciones.....	97
Tabla 6-92: Propuesta utilización de artefactos sanitarios para tipología terminal .....	101
Tabla 6-93: Propuesta utilización de artefactos sanitarios para tipología refugio .....	101
Tabla 6-94: Propuesta de consumo referencial de artefactos sanitarios.....	102
Tabla 6-95: Precipitaciones anuales ciudades representativas por zona climática .....	103
Tabla 6-96: Propuesta de zonas de precipitación y reducción de consumo .....	104
Tabla 6-97: Zonas de precipitación para ciudades representativas .....	104
Tabla 6-98: Propuesta de niveles según aporte de aguas grises recicladas sobre consumo sanitario sin consumo humano	107
Tabla 6-99: Propuesta de niveles según tecnología utilizada para reutilización de aguas grises .....	107
Tabla 6-100: Propuesta de niveles según aporte de aguas recolectadas sobre consumo sanitario sin consumo humano....	108

Tabla 6-101: Propuesta de niveles según aporte de aguas recolectadas y/o cosechadas sobre consumo sanitario sin consumo humano .....	109
Tabla 6-102: Propuesta de niveles según aporte de aguas recolectadas sobre consumo de OAs .....	110
Tabla 6-103: Propuesta de niveles según sistemas de control y medición instalados .....	110
Tabla 6-104: Propuesta de niveles según concienciación del uso del agua .....	111
Tabla 6-105: Estándares para electrodomésticos y procesos .....	112
Tabla 6-106: Niveles para requerimiento de consumo de agua de las torres de refrigeración .....	113
Tabla 6-107: Propuesta de niveles según concienciación del uso del agua .....	113
Tabla 6-108: Evapotranspiración para ciudades representativas .....	114
Tabla 6-109: Factores de paisajismo .....	115
Tabla 6-110: Factores por tipo de vegetación .....	116
Tabla 6-111: Propuesta de zonas de precipitación y reducción de evapotranspiración .....	117
Tabla 6-112: Eficiencia según tipo de riego .....	118
Tabla 6-113: Eficiencia según tipo de controlador de riego .....	118
Tabla 6-114: Propuesta de zonas de precipitación y reducción de consumo de agua para riego .....	119
Tabla 6-115: Propuesta de niveles según aporte de aguas grises recicladas sobre consumo de riego .....	121
Tabla 6-116: Propuesta de niveles según aporte de aguas recolectadas sobre consumo de riego .....	122
Tabla 6-117: Niveles para paisajismo xerófilo .....	122
Tabla 6-118: Resumen de propuestas de requerimientos .....	122
Tabla 6-119: Requerimientos propuestos y ODS asociados .....	125
Tabla 6-120: Resumen de casos internacionales consultados - Acústica .....	129
Tabla 6-121: Resumen de requisitos asociados a la acústica en certificaciones .....	131
Tabla 6-122: Aeronaves más ruidosas por clave aeropuerto .....	132
Tabla 6-123: Approach Noise Level (EPNdB) más alto por clave aeropuerto .....	132
Tabla 6-124: Aislación mínima de elementos de fachada .....	134
Tabla 6-125: Aislación mínima de la envolvente (D2m,nT,A) para recintos regularmente ocupados .....	134
Tabla 6-126: Aislación mínima de elementos de cubierta .....	136
Tabla 6-127: Aislación mínima de la fachada (D2m,nT,A) para recintos regularmente ocupados .....	136
Tabla 6-128: Aislación mínima al ruido aéreo $D_{nT,A}$ (dB) .....	138
Tabla 6-129: Límites de tiempo de reverberación .....	140
Tabla 6-130: Límites de ruido de fondo $L_{eq}$ (dBA) asociado a equipamiento .....	141
Tabla 6-131: Resumen de propuestas de requerimientos .....	157
Tabla 6-132: Requerimientos propuestos y ODS asociados .....	159

## 1 INTRODUCCIÓN

Este presente informe se presentan los resultados obtenidos en el proyecto destinado a proponer y desarrollar nuevos requerimientos para la Certificación de Edificios Sustentables (CES) enfocada en aeropuertos, abarcando tanto aeropuertos de gran escala como pequeños aeródromos. Para este informe se considerarán diferentes áreas clave: energía, agua y acústica, todas ellas esenciales para asegurar el desarrollo sostenible y eficiente. Además, el estudio considera 16 zonas climáticas del país, incluyendo territorios extremos como Rapa Nui y la Antártida.

En la primera etapa del diagnóstico se revisaron proyectos aeroportuarios previamente desarrollados y se evaluaron las características de sostenibilidad incorporadas en cada uno de ellos según los criterios CES. Para todas las áreas se realizó una comparación entre las herramientas de certificación internacional y la versión 1.1 de CES, extrayendo de este análisis los créditos y requisitos más relevantes que podrían adaptarse o implementarse en una futura versión de CES Aeropuertos. Para los campos del agua y la acústica, además se estudiaron casos de éxito internacionales y se analizaron normativas y estándares vigentes de otros países, lo que permitió obtener un amplio marco de referencia para la formulación de nuevas propuestas.

La etapa de energía requirió una evaluación más técnica. En este sentido, se realizaron estudios sobre estándares energéticos y cargas térmicas, así como un análisis y propuesta de los tiempos de ocupación de distintos tipos de recintos existentes en terminales de aeropuertos y refugios de pasajeros. Con esta información se desarrolló una segunda fase de estudios en la que se realizaron más de 2.000 simulaciones energéticas, con el objetivo de encontrar los rangos de disminución de demanda y consumo energético, y el rango de disminución de horas fuera de confort pasivo. Este enfoque en la reducción de la demanda y el consumo energético contribuye en la disminución de las emisiones de carbono, además permite generar ahorros de costos operativos a largo plazo gracias al menor requerimiento de energía para la mantención de un confort ambiental adecuado.

En cuanto a la etapa de agua, se han propuesto diversas estrategias a manera de propuestas de requisitos. Estas propuestas buscan fomentar la reducción del consumo de agua potable mediante el uso de artefactos eficientes, así como la reutilización de aguas grises para operaciones aeroportuarias, como el lavado de pistas. Además, se incluyeron propuestas de créditos para la captación de agua de lluvia y la implementación de sistemas avanzados de control y medición del consumo, la promoción de paisajes xerófilos y la eventual incorporación de proyectos de desalinización de agua. Estas medidas no solo permiten minimizar el impacto ambiental sobre los recursos hídricos locales, sino que también aseguran una mayor resiliencia en zonas de escasez, disminuyendo la dependencia de fuentes externas de agua.

Finalmente, en la etapa de acústica, como propuestas de requisitos se plantea la mejora en el aislamiento acústico de fachadas y cubiertas, así como la incorporación de especialistas en acústica en proyectos de gran envergadura. Asimismo, se propuso el diseño de jardines interiores como estrategia de control acústico que también contribuiría al enriquecimiento cultural y estético de los aeropuertos. Un aspecto innovador en esta área es el crédito por creación de salas de silencio al interior de las terminales, espacios diseñados para ofrecer un ambiente de tranquilidad a los pasajeros, con especial atención en quienes tienen necesidades sensoriales específicas. Estas medidas contribuyen a reducir el impacto sonoro en el entorno aeroportuario, beneficiando a la fauna local y a las comunidades adyacentes con una menor contaminación acústica, mientras que se mejora la experiencia de los usuarios del aeropuerto a través de estrategias como el enmascaramiento del ruido o el control de la reverberación que mejoran la inteligibilidad de la palabra.

## 2 OBJETIVOS

El objetivo general es consolidar los resultados obtenidos en las etapas de diagnóstico, energía, agua y acústica para proponer una serie de créditos, requisitos y niveles que serán incorporados en la versión del CES para aeropuertos en Chile.

### 2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

En el ámbito de energía, el objetivo específico es optimizar el rendimiento térmico y reducir la demanda y el consumo energético mediante envolventes térmicas eficientes que minimicen las pérdidas de calor en invierno y de enfriamiento en verano. Este enfoque busca disminuir el consumo de sistemas de calefacción y aire acondicionado, impactando directamente

en el rendimiento económico del aeropuerto al reducir los costos energéticos anuales, generando ahorros a largo plazo y disminuyendo la huella de carbono, en línea con los estándares internacionales de sostenibilidad.

Para la gestión del agua, el objetivo específico es implementar prácticas de ahorro y reutilización que permitan reducir el consumo de agua potable y aprovechar fuentes alternativas. Estas medidas refuerzan el compromiso ambiental de los aeropuertos, optimizan los costos asociados al suministro y tratamiento del agua, y garantizan una operación más eficiente, especialmente en zonas con escasez hídrica, reduciendo la dependencia de fuentes externas.

En relación a la acústica, el objetivo específico es mitigar el impacto del ruido de las operaciones aeroportuarias tanto en el interior de las terminales como en las comunidades aledañas. Mediante mejoras en el aislamiento acústico de las fachadas y cubiertas, o con la implementación de barreras acústicas y técnicas de enmascaramiento del ruido, se busca mejorar el bienestar y confort de los usuarios y del personal aeroportuario. Esto eleva la calidad acústica, reduce la necesidad de ajustes adicionales en el futuro y fortalece la sostenibilidad económica y social del aeropuerto.

### 3 ALCANCE

El alcance de esta etapa del estudio abarca un resumen de la evaluación y diagnóstico de las condiciones actuales de los Terminales de Pasajeros y Refugios en términos de eficiencia energética, manejo de recursos hídricos y control acústico, con el propósito de identificar áreas de mejora y proponer requerimientos y créditos de soluciones sostenibles, considerando los siguientes aspectos clave:

- Realización de un diagnóstico detallado sobre la infraestructura de los Terminales de Pasajeros y Refugios en aspectos de energía, agua y acústica, con el objetivo de comprender su desempeño actual y definir las brechas respecto a los estándares CES aplicables a edificios aeroportuarios.
- Propuestas de créditos y requerimientos asociados a estrategias de mejora en eficiencia energética, uso responsable del agua y reducción de impacto acústico, que sean viables para la estructura de los Terminales de Pasajeros y Refugios nuevos y existentes y que, al mismo tiempo, cumplan con los requisitos de sostenibilidad y confort para los usuarios.

### 4 RESUMEN EJECUTIVO

Desde la dirección de aeropuertos del Ministerio de Obras Públicas (MOP) junto a la administración de la Certificación Sustentable de Edificios (CES) del Instituto de la Construcción, se ha impulsado este proyecto, cuyo objetivo es desarrollar un marco de certificación adaptado a las necesidades de sostenibilidad específicas de los aeropuertos chilenos. La iniciativa nace de la necesidad de adaptar los estándares de sostenibilidad a las particularidades de los aeropuertos, que son infraestructuras que presentan una mayor cantidad de desafíos en términos de eficiencia energética, manejo del agua, mitigación de ruido y otras áreas de la sustentabilidad.

En el contexto actual, las certificaciones internacionales y nacionales como LEED, BREEAM, ENVISION, CES entre otras han sido fundamentales en el impulso de la construcción sostenible en distintos sectores; sin embargo, su aplicación en aeropuertos se ha encontrado con condiciones para los cuales no se encuentran bien adaptadas. Estas certificaciones están diseñadas para evaluar de manera común edificios comerciales y de oficinas, y en casos especiales edificios de seguridad y salud, lo cual implica que no consideran las condiciones y demandas operativas que caracterizan a los aeropuertos, donde la combinación de altos volúmenes de tráfico, junto a grandes superficies de espera, horarios de ocupación específicos y grandes superficies vidriadas que requieren un enfoque especializado.

Este estudio se enfocó en diseñar un sistema de certificación CES ajustado a los aeropuertos chilenos, lo cual implicó un análisis de las prácticas y certificaciones de sustentabilidad en aeropuertos internacionales que ya han adoptado medidas innovadoras en eficiencia energética, sustentabilidad y reducción de impacto ambiental, sirviendo como base de análisis para la adaptación de estándares de sustentabilidad aeroportuaria en el contexto chileno. En este contexto, se revisaron casos

emblemáticos de aeropuertos como el Aeropuerto Internacional Boston Logan en Estados Unidos; el Aeropuerto Internacional Changi en Singapur; el Aeropuerto de las Galápagos en Ecuador y el Aeropuerto Schiphol en Países Bajos.

Estos aeropuertos han implementado prácticas adaptadas a su contexto climático y sus necesidades operativas, ofreciendo ejemplos para el desarrollo de un modelo de sostenibilidad aeroportuaria en Chile. En el Aeropuerto Boston Logan, por ejemplo, el uso de sistemas de aislamiento acústico avanzado y techos reflectantes permite mantener niveles de confort y eficiencia energética adecuados, mientras que en Galápagos, que se ubica en un entorno de alta sensibilidad ambiental, se emplean estrategias como la ventilación natural y materiales de construcción reciclados, los cuales resultan adecuados en el contexto de islas y regiones con limitados recursos naturales. Por su parte Schiphol se ha destacado por su integración de ventanas y espacios estratégicos que aprovechan la luz natural permitiendo reducir el consumo de energía y controlando el confort térmico. A su vez, Changi ha implementado sistemas de climatización eficiente y captación de aguas pluviales para riego en sus jardines interiores, logrando reducir significativamente el consumo de recursos. Estas prácticas internacionales podrían representar una base de referencia para definir qué aspectos podrían adaptarse al contexto nacional.

Además del análisis de casos internacionales, se realizó una revisión comparativa de las certificaciones de sustentabilidad existentes, evaluando su aplicabilidad y limitaciones en aeropuertos. La comparación incluyó LEED, CES v1.1, ENVISION, BREEAM, ISO 14001, ISO 50001. Aunque estas certificaciones establecen lineamientos importantes para mejorar la sustentabilidad, presentan limitaciones en su aplicación para el ámbito aeroportuario debido a las características únicas de estos espacios. Por ejemplo, CES, una certificación nacional en Chile, presenta criterios para edificaciones sustentables en edificios de ocupación convencional, sin contemplar la elevada demanda operativa ni las características arquitectónicas específicas de los aeropuertos, que incluyen zonas de embarque, extensas áreas de espera y espacios de circulación diseñados para recibir altos volúmenes de tráfico. A diferencia de la mayoría de los edificios de oficinas, los aeropuertos requieren un sistema de climatización eficiente en áreas abiertas y vidriadas, así como un control acústico especializado debido a la exposición al ruido exterior. En este sentido, CES y las certificaciones internacionales no son capaces de cubrir completamente las características de los aeropuertos.

La etapa de diagnóstico del proyecto fue fundamental para comprender las necesidades y condiciones actuales de los aeropuertos chilenos en términos de sostenibilidad. Se realizó una evaluación de los aspectos operacionales y arquitectónicos de varios aeropuertos en distintas regiones del país, con el fin de establecer una línea base que reflejara el estado actual y las áreas de oportunidad para mejorar la eficiencia y reducir el impacto ambiental.

Para realizar la línea base se identificaron estándares y certificaciones relevantes como LEED, ISO 14001 e ISO 50001, junto con mejores prácticas en aeropuertos sustentables alrededor del mundo. Sin embargo, se concluye que las certificaciones internacionales no abarcan la totalidad de las infraestructuras aeroportuarias, lo que destaca la necesidad de desarrollar criterios específicos adaptados a aeropuertos.

Junto al estudio de casos internacionales, también se incluyó el análisis de 13 proyectos aeroportuarios en diferentes zonas climáticas de Chile, evidenciando importantes diferencias en las estrategias y costos para cumplir con los requisitos CES. Los resultados indican que regiones con climas extremos enfrentan mayores desafíos en términos de eficiencia energética y sostenibilidad, lo que resalta la necesidad de adaptar las soluciones a las particularidades climáticas y operativas de cada ubicación. Esta revisión junto a la de certificaciones y casos internacionales resalta la necesidad de flexibilizar y contextualizar los criterios de certificación para su aplicabilidad y efectividad en recintos aeroportuarios.

Durante esta etapa se realizó un análisis del sobre costo promedio de implementar estrategias sustentables en comparación con proyectos tradicionales. Este impacto, expresado en UF/m<sup>2</sup>, varía según las características del proyecto, pero mejoras en sistemas HVAC, uso de materiales de alto rendimiento térmico y gestión de recursos energéticos pueden reducir significativamente el consumo energético y las emisiones a largo plazo.

En esta etapa también se realizó una visita a terreno en la Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo con el propósito de conocer las tres tipologías de edificios pertenecientes a las redes aeroportuarias de nuestro país. Las visitas

técnicas se llevaron a cabo en tres aeródromos estratégicos: el Aeródromo Balmaceda (código OACI: SCBA)/código IATA: BBA), el Aeródromo Teniente Vidal de Coyhaique (código OACI: SCCY) y el Aeródromo Cabo 1° Juan Román de Puerto Aysén (código OACI: SCAS). El objetivo principal de estas visitas fue recabar información sobre las condiciones operacionales y de uso de los recintos, incluyendo aspectos relacionados con temperaturas de consigna, equipos de climatización, aislación acústica, sistemas de sonido, rendimiento acústico, consumo de agua y características arquitectónicas. Además, se analizaron estas variables en el contexto de las tres categorías de aeropuertos de la Red Aeroportuaria Nacional: escala grande de la Red Primaria, escala mediana de la Red Secundaria y escala pequeña de la Red de Pequeños Aeródromos, con el fin de comprender las particularidades y desafíos específicos de cada tipología.

Durante la primera parte del estudio de energía mediante 620 simulaciones iniciales se concluyó que los datos de entrada existentes en la versión 1.1 de CES asociados a uso de generación de cargas térmicas como lo son los horarios de funcionamiento, carga de iluminación, ocupación de recintos, tipos de recintos, entre otros no se encontraban adaptados para representar la realidad aeroportuaria. Por este motivo en primer lugar se desarrollaron propuestas para mejorar la representación de los terminales y pequeños refugios de pasajeros aeroportuarios. Para esto se analizan horarios de operación basados en datos históricos de vuelos para clasificar los aeropuertos según regímenes de operación, facilitando su evaluación energética. Además, se presentan cargas internas específicas para distintos tipos de recintos, considerando ocupación, ventilación, iluminación y equipos, alineadas con estándares internacionales como ASHRAE y CIBSE.

Se propuso una clasificación de recintos que reconoce categorías ajustadas a las particularidades de los aeropuertos, como regularmente ocupados, ocupados con excepciones y no regularmente ocupados, permitiendo requisitos diferenciados según uso y confort. También se evalúan archivos climáticos para zonas de estudio, destacando el uso de datos de Climate.OneBuilding por su precisión y trazabilidad, fundamentales para estimar demandas energéticas.

En la segunda parte de la etapa de energía, se llevaron a cabo más de 2.000 simulaciones para analizar los efectos de diversas estrategias de eficiencia energética en aeropuertos, considerando las particularidades de horarios de ocupación específicos para terminales y refugios. Los resultados de estas simulaciones indicaron que, al optimizar la envolvente térmica con materiales de alta eficiencia y aplicar estrategias arquitectónicas pasivas, se podía reducir la demanda energética en distintos rangos, dependiendo de la zona climática y del tipo de infraestructura. Los análisis también contemplaron las cargas térmicas propias de los aeropuertos, con horarios de ocupación obtenidos de un análisis del comportamiento real de aeropuertos del país

La etapa asociada a medidas de cuidado de agua incluyó tanto el uso de artefactos sanitarios como la reutilización de aguas grises y la captación de aguas pluviales. En esta etapa se realizó la revisión de leyes internacionales, certificaciones internacionales y sistemas hídricos eficientes como lo son los sistemas de recolección de aguas grises y de captación de aguas pluviales, tecnologías que ya se han implementado exitosamente en otros aeropuertos del mundo. En este sentido, se propuso como requerimiento la instalación de sistemas de recolección de aguas de lluvia en aeropuertos ubicados en zonas áridas, como el norte de Chile, donde la disponibilidad de agua es limitada. Asimismo, se propuso el uso de dispositivos de bajo consumo en los baños y áreas comunes de las terminales, y se recomendó la incorporación de paisajes xerófilos en áreas verdes, ya que esta vegetación requiere menos riego. De aplicar estas medidas, además de reducir el impacto ambiental, ayudan a optimizar los costos asociados al abastecimiento y tratamiento del agua, especialmente en aquellas regiones con escasez hídrica.

La etapa de acústica es un componente clave, debido a que los aeropuertos enfrentan altos niveles de ruido, tanto en sus áreas internas como en el entorno adyacente, como consecuencia del tráfico aéreo y de las operaciones en pistas y el área de movimiento. La metodología utilizada para este análisis se basó en estudios de campo, casos internacionales, base de datos de ruidos de aproximación de aeronaves y simulaciones de aislación acústica de distintas soluciones constructivas. Estos estudios permitieron identificar los niveles de ruido generados por el tráfico aéreo y las operaciones en pista, lo que facilitó el desarrollo de créditos enfocados en la implementación de sistemas de aislamiento acústico en fachadas y cubiertas. Para mitigar los efectos del ruido generado, se propuso la implementación de criterios que evalúen de forma específica con los ruidos generados en aeropuertos los sistemas de aislamiento acústico en las fachadas y cubiertas de las terminales, de manera

que permitirían controlar la transmisión de ruido en las áreas de espera y de servicios. Otra de las propuestas relevantes es la creación de “salas de silencio” dentro de las terminales, espacios especialmente diseñados para ofrecer un ambiente tranquilo a los pasajeros y al personal del aeropuerto, especialmente para aquellos con necesidades sensoriales específicas. También se ha propuesto como crédito de evaluación la utilización de vegetación y elementos naturales como barreras acústicas, con el fin de mejorar el ambiente acústico y reducir la contaminación sonora en las áreas circundantes al aeropuerto, beneficiando tanto a las comunidades como a la fauna local.

Estas propuestas de créditos para CES Aeropuertos son más que requerimientos aislados; al ser implementados, se transforman en medidas efectivas de eficiencia energética y sustentabilidad que pueden guiar el diseño de los aeropuertos. Cumplir con estos créditos no solo asegura que los aeropuertos satisfacen estándares de sostenibilidad, sino que también representa una recomendación práctica de diseño que promueve el uso eficiente de los recursos.

## 5 COMPROMISOS DE MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP)

El Ministerio de Obras Públicas (MOP), consciente de la crisis del cambio climático, el aumento de la contaminación y la pérdida de biodiversidad, ha definido un marco de acción en su Política de Sostenibilidad 2024-2030. Esta política, además de dar continuidad a las iniciativas implementadas desde 2001, amplía su alcance con un enfoque integral en cuatro dimensiones: ambiental, social, económica e institucional. El compromiso del MOP es integrar la sostenibilidad en todas las fases de desarrollo de la infraestructura pública, desde la planificación y diseño hasta la operación y eventual desmantelamiento, garantizando así un desarrollo resiliente y sostenible que responda a los desafíos climáticos y sociales de un país altamente vulnerable.

En la dimensión ambiental, esta política establece lineamientos para enfrentar los efectos del cambio climático mediante el diseño de infraestructuras resilientes capaces de adaptarse a eventos extremos, como sequías, inundaciones y olas de calor. Además, se promueve el uso de tecnologías y materiales que reduzcan la huella de carbono e hídrica, junto con la incorporación de soluciones basadas en la naturaleza para favorecer la conservación de ecosistemas. En el ámbito social, la política enfatiza la equidad y la inclusión, garantizando que las obras públicas beneficien de manera equitativa a todas las comunidades mediante diseños accesibles que atiendan la diversidad según género, edad o pertenencia cultural. Desde una perspectiva económica, se busca equilibrar el desarrollo productivo con la protección ambiental, fomentando proyectos sostenibles que incluyan mecanismos innovadores de financiamiento, como bonos verdes. Finalmente, en lo institucional, se prioriza la capacitación, la digitalización de procesos y la gestión eficiente de recursos para asegurar el cumplimiento de los compromisos establecidos.

Esta política general establece el marco conceptual y operativo sobre el cual se desarrollan iniciativas más específicas, como el Plan de Adaptación y Mitigación de la Infraestructura al Cambio Climático 2025. Esta política no solo busca mitigar los impactos ambientales y sociales de sus proyectos, sino también posicionar a Chile como un referente en infraestructura sostenible, resiliente y equitativa, en armonía con los compromisos globales establecidos en la Agenda 2030 y la Ley Marco de Cambio Climático.

El nuevo Plan de Adaptación y Mitigación de la Infraestructura al Cambio Climático del MOP entrará en vigencia en enero del año 2025 el cual tiene como objetivo principal promover el desarrollo de infraestructura resiliente y sostenible que contribuya a la carbono-neutralidad al 2050. Este plan reconoce la infraestructura como un elemento clave para mitigar y adaptarse al cambio climático, integrando enfoques innovadores como soluciones basadas en la naturaleza y economía circular. Entre sus metas estratégicas, se destacan la incorporación de resiliencia en la conectividad territorial, la protección frente a eventos climáticos extremos y el diseño de edificaciones públicas sostenibles que reduzcan emisiones y garanticen la continuidad de los servicios esenciales.

El MOP ha dado pasos importantes hacia la construcción de infraestructuras aeroportuarias más sostenibles y resilientes. A través de, el MOP ha trazado una hoja de ruta que consolida su compromiso con la sostenibilidad en el ámbito aeroportuario, en concordancia con acuerdos internacionales como el Acuerdo de París y el Pacto Climático de Glasgow. Este plan se centra

en tres ejes estratégicos que abordan los desafíos más apremiantes en sostenibilidad: la mitigación del cambio climático, la adaptación del cambio climático y la gestión del conocimiento. Con este plan el MOP busca priorizar la sostenibilidad en sus obras mediante acciones como el diseño pasivo, el uso de materiales de baja huella de carbono y la gestión eficiente de residuos de construcción. Estas iniciativas buscan minimizar el impacto ambiental de la infraestructura y potenciar su capacidad de adaptación frente a fenómenos como sequías, inundaciones y olas de calor. Además, el plan promueve la inclusión social y la equidad, asegurando que las infraestructuras respondan a las necesidades de comunidades vulnerables y fomenten su participación en procesos de diseño y gestión.

Una de las principales medidas de este plan es la mitigación del cambio climático, que destaca la incorporación de Energías Renovables No Convencionales (ERNC) en los proyectos aeroportuarios. La utilización de estas fuentes de energía permite reducir significativamente el consumo energético de los aeropuertos, alineándolos con los estándares de sostenibilidad establecidos en el sistema de Certificación de Edificios Sustentables en Chile. Además, el MOP se ha comprometido a medir y gestionar la huella de carbono de las infraestructuras aeroportuarias mediante la elaboración de una guía para la estimación y gestión de la huella de carbono con enfoque de ciclo de vida y el desarrollo de un sistema de reporte, para la recolección y sistematización para la medición y gestión de la huella de carbono, iniciativas que no solo buscan cuantificar el impacto ambiental de estas construcciones, sino también explorar opciones de compensación de emisiones a través de proyectos de reducción de gases de efecto invernadero.

En cuanto a la gestión del conocimiento, el MOP ha identificado la necesidad de actualizar las normas y estándares de construcción en el sector aeroportuario, con el objetivo de incorporar criterios que favorezcan la sostenibilidad. Para lograrlo, el plan ha propuesto un fomento de certificaciones en sostenibilidad: edificación pública, como lo es la aeroportuaria mediante la construcción de proyectos de edificación pública que cuenten con certificación en diseño y construcción, la elaboración de estudios para la aplicación de Certificación de Sustentabilidad en la infraestructura Aeroportuaria y su posterior aplicación en proyectos y el análisis de la aplicación de certificación de sustentabilidad para obras concesionadas.

Frente a los riesgos que plantea el cambio climático, el MOP ha implementado también un enfoque de resiliencia en sus infraestructuras aeroportuarias. Con la intención de asegurar la continuidad de las operaciones en condiciones climáticas adversas, el plan incluye la creación de un sistema de monitoreo de riesgos, el cual permite identificar y mitigar las vulnerabilidades de las infraestructuras ante fenómenos naturales extremos. Este enfoque adaptativo no solo busca proteger las inversiones realizadas en infraestructura aeroportuaria, sino que también responde a las realidades operativas y climáticas de Chile, un país marcado por su diversidad climática, desde la región sur hasta territorios insulares y extremos como Rapa Nui y la Antártida. Al priorizar la adaptación de las infraestructuras, el MOP asegura la operación sostenible de los aeropuertos en distintos contextos climáticos, promoviendo así una mayor capacidad de respuesta frente a los desafíos ambientales actuales y futuros.

Para el caso de terminales y refugios aeroportuarios, estos lineamientos implican un diseño más robusto frente a amenazas como vientos extremos, temperaturas extremas y lluvias intensas. Además, la incorporación de tecnologías de eficiencia energética y el uso de energías renovables podrán contribuir a reducir las emisiones asociadas al funcionamiento de estas instalaciones. En este contexto, el desarrollo de una versión CES específica para aeropuertos y refugios de pasajeros es una manera de impulsar el cumplimiento de estos objetivos.

## 6 ETAPAS DE ESTUDIO

Las etapas de estudio del proyecto se estructuran como un proceso íntegro y detallado, orientado a evaluar y proponer soluciones sustentables en diferentes áreas clave de la infraestructura aeroportuaria. Esto se extiende a áreas técnicas cruciales como la energía, el agua y la acústica, empleando metodologías robustas que permiten realizar simulaciones y análisis detallados.

Se busca identificar oportunidades de mejora en eficiencia energética, gestión de recursos hídricos y reducción del impacto acústico, considerando las particularidades climáticas y operacionales de los distintos aeropuertos en el país. La finalidad de este enfoque integral es establecer una base sólida para la creación de una infraestructura aeroportuaria más sostenible y que sirva para la implementación de la Certificación de Edificio Sustentables (CES) para aeropuertos.

### 6.1 ETAPA 1: DIAGNÓSTICO

La etapa de diagnóstico establece las bases técnicas y metodológicas necesarias para el desarrollo de infraestructuras aeroportuarias sostenibles, apoyando la transición hacia un sector más comprometido con el medio ambiente y alineado con los objetivos climáticos globales. De esta manera se pretende desarrollar una herramienta de certificación específica para la infraestructura aeroportuaria en Chile, que aborde la creciente necesidad de diseñar y operar aeropuertos que minimicen su impacto ambiental y optimicen la eficiencia energética.

#### 6.1.1 Metodología empleada en etapa de diagnóstico

El desarrollo de la etapa de diagnóstico se centra en varios componentes clave para establecer una base sólida en la creación de una certificación para infraestructuras aeroportuarias en Chile, incluyendo la revisión bibliográfica y el estado del arte en materia de sostenibilidad de construcciones aeroportuarias, la revisión de casos prácticos a nivel internacional, además de certificaciones y estándares que permiten establecer parámetros técnicos que podrían ser implementados a futuro.

En primer lugar, se realiza una revisión bibliográfica y del estado del arte en cuanto a la sostenibilidad en infraestructura aeroportuaria a nivel global. El propósito de este análisis es establecer una base teórica sólida para entender las tendencias actuales y los desafíos que enfrenta la industria aeroportuaria en términos de sustentabilidad. Esta revisión incluyó el estudio de acuerdos internacionales relevantes, como el Acuerdo de París (COP21) y el Pacto Climático de Glasgow (COP26), que establecen compromisos para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y el desarrollo de infraestructuras resilientes al cambio climático.

Se analizan múltiples investigaciones académicas y casos prácticos de aeropuertos que ya han implementado estrategias de sustentabilidad, tales como la reducción del consumo energético, la optimización del uso del agua, y la gestión eficiente de los residuos. Un aspecto clave es el análisis de las fuentes de energía y los sistemas de gestión energética en aeropuertos, con especial énfasis en la utilización de energías renovables, tecnologías de cogeneración y medidas de eficiencia energética. Casos como los de los aeropuertos de Changi (Singapur), Ámsterdam-Schiphol (Países Bajos), San Francisco (EE.UU.) y el Aeropuerto Ecológico de Galápagos sirvieron como referencia para identificar tecnologías y prácticas innovadoras que podrían ser adaptadas al contexto chileno.

También se evalúan certificaciones y estándares internacionales que podrían servir como referencia para la futura herramienta de certificación chilena. Se estudian las principales certificaciones utilizadas a nivel global, como LEED, BREEAM, ISO 14001 (gestión ambiental) y ISO 50001 (gestión energética). Estas certificaciones proporcionan marcos robustos para evaluar la sostenibilidad de edificaciones e infraestructuras, considerando factores como la eficiencia energética, el uso de materiales sustentables, la gestión del agua y el confort ambiental.

Por ejemplo, la certificación LEED ha sido ampliamente adoptada en aeropuertos como el de San Francisco y el Aeropuerto Internacional de Chicago O'Hare ambos en Estados Unidos, demostrando mejoras significativas en la reducción de emisiones y en el desempeño energético de sus infraestructuras. Sin embargo, el estudio también identificó las limitaciones de estas certificaciones cuando se aplican a aeropuertos, debido a la naturaleza única de estas infraestructuras, que incluyen grandes superficies, zonas operativas especializadas y altos niveles de tráfico. A partir de lo anteriormente expuesto surge la necesidad de desarrollar un sistema de certificación que se ajuste específicamente a las características de los aeropuertos en Chile, pero que integre los aprendizajes y estándares de estas certificaciones internacionales.

Se desarrolla el levantamiento de una línea base con un análisis detallado de 13 proyectos aeroportuarios representativos en Chile. Estos proyectos abarcan una amplia variedad de zonas climáticas y escalas de operación, lo que permitió capturar la diversidad de las infraestructuras aeroportuarias del país. Para cada uno de estos proyectos, se identificaron las estrategias sustentables implementadas, con especial atención a las áreas de eficiencia energética, gestión del agua, confort térmico y acústico, y uso de energías renovables. Además, se consideraron los contextos climáticos y operacionales de cada aeropuerto, ya que la implementación de estrategias sustentables varía significativamente en función de estos factores.

La línea base también permitió identificar los vacíos en cuanto a la integración de criterios de sustentabilidad en algunos de los proyectos. Esto será clave para la formulación de la certificación futura, ya que permite establecer objetivos claros para mejorar el desempeño sustentable de los aeropuertos chilenos.

Finalmente, se lleva a cabo un análisis de costos para determinar el impacto económico de incorporar estrategias sustentables en los proyectos aeroportuarios en comparación con proyectos tradicionales. Este análisis fue fundamental para cuantificar los sobrecostos asociados a la implementación de medidas CES y para evaluar su viabilidad financiera. A través de la comparación de costos por metro cuadrado (UF/m<sup>2</sup>), se concluyó que, si bien la adopción de estrategias sustentables genera un sobrecosto inicial, este es compensado por los ahorros a largo plazo en términos de eficiencia energética, reducción de consumo de agua y mejoras en el confort ambiental de los pasajeros. Además, se destacó que la integración de energías renovables y la implementación de tecnologías eficientes no solo mejoran el desempeño ambiental del aeropuerto, sino que también contribuyen a reducir los costos operativos a largo plazo.

Cabe destacar que se realizaron visitas de inspección no invasivas a tres aeródromos en la región de Aysén en el Aeródromo Balmaceda en el pueblo homónimo, el Aeródromo Teniente Vidal en Coyhaique y el pequeño Aeródromo Cabo 1° Juan Román en Puerto Aysén. Se realizaron inspecciones a los caudales y tiempo de funcionamiento de artefactos sanitario mediante el uso de cronómetros y recipientes graduados. Las inspecciones acústicas se midieron niveles de ruido de operaciones de distintos tipos de aeronaves, dependiendo del aeródromo y su tráfico regular diario. Estos niveles fueron medidos con un sonómetro en el exterior de cada terminal, para así poder proyectar y entender la influencia de estos niveles en el edificio de terminal de pasajeros. Para las mediciones de niveles se utilizó un sonómetro integrador clase 1 Svantek, modelo SVAN 971. Además, se midió Inteligibilidad de la palabra del sistema de anunciamento (STIPA). Para esto se utilizó el software AuditoTools, módulo de medición STIPA (IEC 60268-16 Compliant) en conjunto con el micrófono de medición MiniDSP UMIK-1. En el área energética se realizó una inspección sobre las temperaturas ambientales que se encontraban distintos recintos de los recintos visitados, estas mediciones se realizaron con un termohigrómetro Fluke 971. También se realizó una lectura de la temperatura de la envolvente del edificio y la calidad de los sellos de esta mediante el registro de imágenes termográficas capturadas con una cámara infrarroja Ti480 PRO.

Con estas inspecciones se buscaba identificar oportunidades de mejora en la eficiencia operativa, energética y sostenibilidad de las infraestructuras aeroportuarias mediante el análisis visual y el uso de herramientas de medición portátiles. El objetivo es entender las distintas escalas aeroportuarias y sus necesidades, centrándose en estrategias pasivas de diseño arquitectónico y sistemas activos.

### 6.1.2 Casos internacionales de aeropuertos sustentables

El análisis de casos internacionales de aeropuertos en diferentes ubicaciones climáticas puede proporcionar referencias para establecer una certificación de sustentabilidad para aeropuertos en Chile (ver Tabla 6-1). Estos casos internacionales ofrecen una serie de ventajas al considerarlos como base para el desarrollo de un marco de certificación.

Por ejemplo, el Aeropuerto Internacional de Logan en East Boston, Estados Unidos, se encuentra en una zona con un clima continental templado sin estación seca, lo que podría ser relevante para aeropuertos en la región sur de Chile. Por otro lado, el Aeropuerto de las Galápagos-Seymour en Ecuador se ubica en un entorno semiárido cálido, lo que podría aportar ideas útiles para aeropuertos en regiones costeras del norte de Chile.

Cada caso internacional muestra enfoques específicos para el diseño y la gestión de aeropuertos sustentables. Por ejemplo, el uso de aleros para protección solar y especies de paisajismo sustentable son estrategias comunes en varios aeropuertos analizados.

Además, la incorporación de materiales de construcción bajos en COV y el uso de materiales reciclados son ejemplos de prácticas sostenibles que pueden ayudar a minimizar el impacto ambiental de la infraestructura aeroportuaria.

Tabla 6-1: Comparación casos internacionales - clima Chile

Aeropuerto	IATA	Ubicación	Clima	Clima semejable a Chile (CES v1.1)	Estrategias de sustentabilidad	Consumo de energía (kWh/m <sup>2</sup> )
Sardar Vallabhbhai Patel	AMD	Guyarat, India	Semiárido - Cálido (BSh)	Zona central litoral (CL)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aleros para protección solar.</li> <li>- Cubierta verde.</li> <li>- Especies de paisajismo sustentable.</li> </ul>	263
Esmirna-Adnan Menderes	ADB	Esmirna, Turquía	Mediterráneo típico (Csa)	Zona central interior (CI)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Control de islas de calor</li> <li>- Control solar mediante protecciones y aleros.</li> <li>- Especies de paisajismo sustentable.</li> <li>- Materiales de construcción bajos en COV.</li> </ul>	210
Assiut Airport	ATZ	Assiut, Egipto	Árido cálido (Bwh)	Zona norte desértica (ND)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Control solar mediante protecciones y aleros.</li> <li>- Ventilación pasiva.</li> </ul>	300
Galápagos-Seymour	GPS	Galápagos, Ecuador	Semiárido cálido (Bsh)	Zona norte litoral (NL); Isla de pascua	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ubicado en orientación estratégica.</li> <li>- Protecciones solares.</li> <li>- Ventilación natural.</li> <li>- Monitoreo de la calidad del aire.</li> <li>- Especies de paisajismo sustentable</li> <li>- Materiales reciclados y de bajo COV.</li> <li>- Espacios regularmente ocupados con acceso a iluminación natural.</li> </ul>	47
Internacional de Logan	BOS	East Boston, Estados Unidos	Continental templado sin estación seca (Dfa)	Zona sur interior (SI)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Control solar mediante protecciones y aleros.</li> <li>- Especies de paisajismo sustentable.</li> <li>- Uso de asfalto ecológico.</li> <li>- Techos y ventanas reflectantes de calor.</li> <li>- Grifos de bajo flujo e inodoros sin agua.</li> <li>- Luces de autorregulación.</li> <li>- Filtración de aguas pluviales.</li> <li>- Materiales de construcción bajos en COV.</li> </ul>	283

Aeropuerto	IATA	Ubicación	Clima	Clima semejable a Chile (CES v1.1)	Estrategias de sustentabilidad	Consumo de energía (kWh/m <sup>2</sup> )
Internacional de San Francisco	SFO	San Francisco, Estados Unidos	Mediterráneo subalpino con verano seco (Csc)	Zona norte valle transversal (NVT)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aleros para protección solar.</li> <li>- Materiales de construcción bajos en COV.</li> <li>- Diseño en busca del confort térmico.</li> <li>- Especies de paisajismo sustentable.</li> <li>- Monitoreo de la calidad del aire.</li> <li>- Espacios regularmente ocupados con acceso a iluminación natural</li> <li>- Uso de material reciclado en construcción.</li> </ul>	552
Londres Heathrow	LHR	Londres, Reino Unido	Marítimo de costa occidental (Cfb)	Zona sur litoral (SL)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aleros para protección solar.</li> <li>- Materiales de construcción bajos en COV.</li> <li>- Diseño en busca del confort térmico.</li> <li>- Especies de paisajismo sustentable.</li> </ul>	210
Ámsterdam - Schiphol	AMS	Ámsterdam, Países Bajos	Marítimo de costa occidental (Cfb)	Zona sur litoral (SL)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso de ventanas que reducen el ruido y mejoran el aislamiento.</li> <li>- Uso de materiales reciclados y de origen sostenible.</li> <li>- Orientación estratégica para aprovechamiento de luz natural.</li> <li>- Planificación en diseño para integrar energías renovables en el largo plazo.</li> </ul>	114

Fuente: Elaboración propia

### 6.1.3 Certificaciones y estándares internacionales

En la Tabla 6-2, se observan distintos parámetros relacionados con la sustentabilidad energética de los aeropuertos, junto con las certificaciones y estándares aplicables, como LEED, CES, ISO 14001, ISO 50001, ACI (Green Airport y ACA), Envision, BREEAM, BREEAM Infraestructura y ENERGY STAR certification for building. En esta comparación, se analiza cómo estas certificaciones abordan diferentes aspectos de la sustentabilidad energética.

- Confort Térmico, Visual, Calidad del Aire y Confort Acústico: Las certificaciones LEED, BREEAM, Envision y CES abordan estos parámetros. Para estas certificaciones estos aspectos son fundamentales para garantizar el compromiso de sustentabilidad del edificio.
- Energía y Energía Renovable: Todas las certificaciones mencionadas se centran en la eficiencia energética y la incorporación de energía renovable (a excepción de normas), lo que indica que hay un lineamiento general en la reducción del impacto ambiental de los aeropuertos y la disminución de su consumo de recursos no renovables.
- Paisajismo y Declaración Ambiental de Productos: LEED, ACI, Envision, BREEAM y CES promueven el paisajismo sostenible y la evaluación de productos desde una perspectiva ambiental.
- Gestión de Residuos: LEED, ACI, Envision, BREEAM y CES también abordan la gestión de residuos, lo que es esencial para minimizar la generación de desechos y promover su reciclaje.
- Gestión del Agua: LEED, ACI, Envision, BREEAM y CES incluyen criterios para una gestión eficiente del agua.
- Innovación y Huella de Carbono: Estas certificaciones fomentan la innovación en prácticas sostenibles y la medición de la huella de carbono.

- Transporte Sostenible: LEED y Envision son las únicas certificaciones que abordan directamente el transporte sostenible, lo que indica que es un tema que debe ser considerado, sobre todo con las nuevas tendencias tecno ambientales.

Tabla 6-2 comparación parámetros certificaciones de sustentabilidad energética

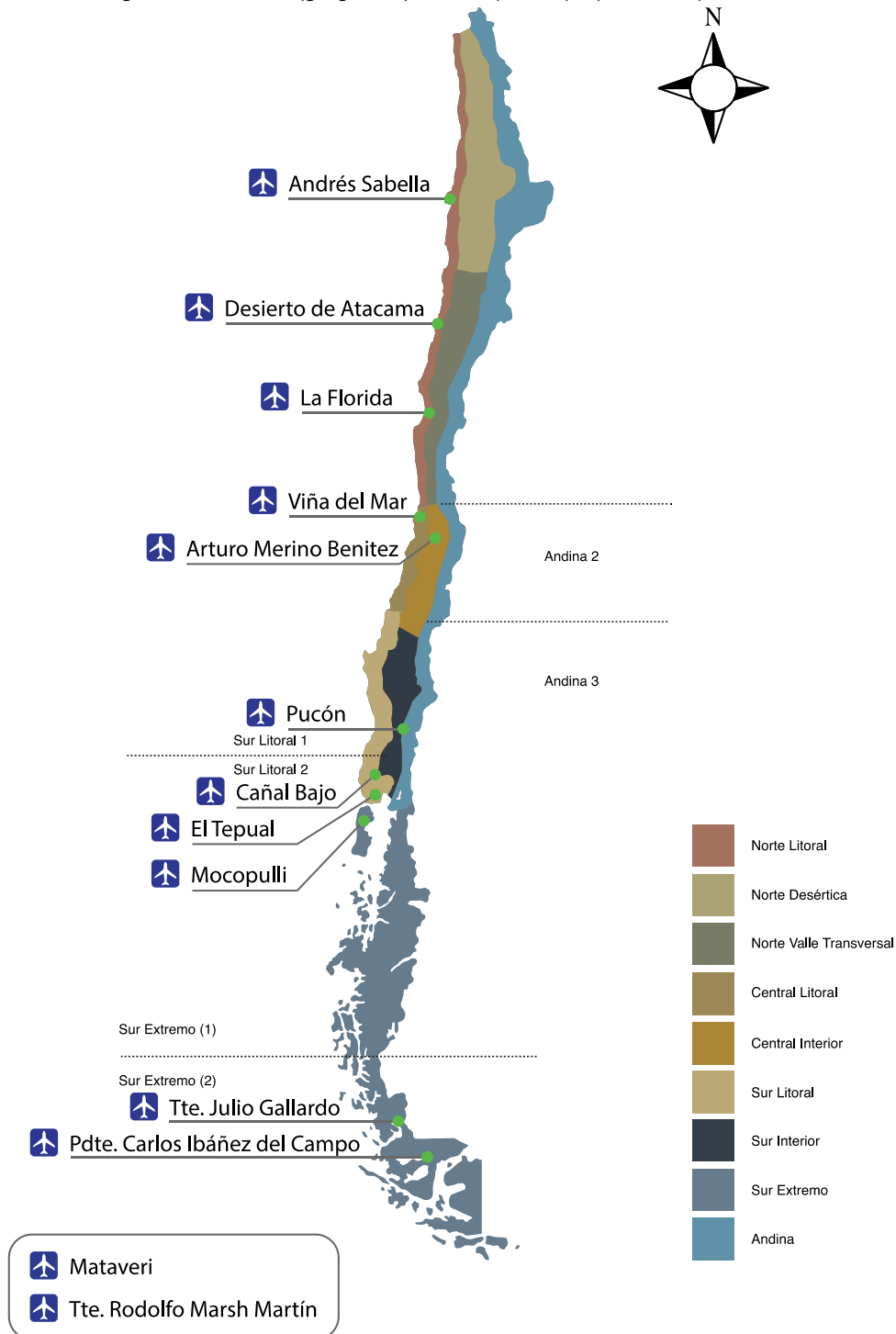
Parámetro	LEED	CES	ISO 14001	ISO 50001	ACI - GREEN AIRPORT/ACA	ENVISION	BREEAM	BREEAM Infraestructura	ENERGY STAR Certification for buildings
Confort térmico	SI	SI	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO
Confort visual	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	NO
Calidad del aire	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	NO
Confort acústico	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	NO
Energía	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Paisajismo	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	NO
Declaración ambiental de productos	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	NO
Gestión de residuos	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO
Gestión del agua	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	NO
Innovación	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	NO
Huella de carbono	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	NO
Transporte sostenible	SI	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI	NO
Energía renovable	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI
Manejo de Islas de calor	SI	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO

Fuente: Elaboración propia.

#### 6.1.4 Levantamiento de línea base

A continuación, se presenta la ubicación precisa de cada uno de los 13 proyectos recibidos como antecedente para el posterior levantamiento de la línea base, sobre un mapa coloreado con las 9 zonas climáticas que reconoce la NCh1079 y el respectivo instrumento CES:

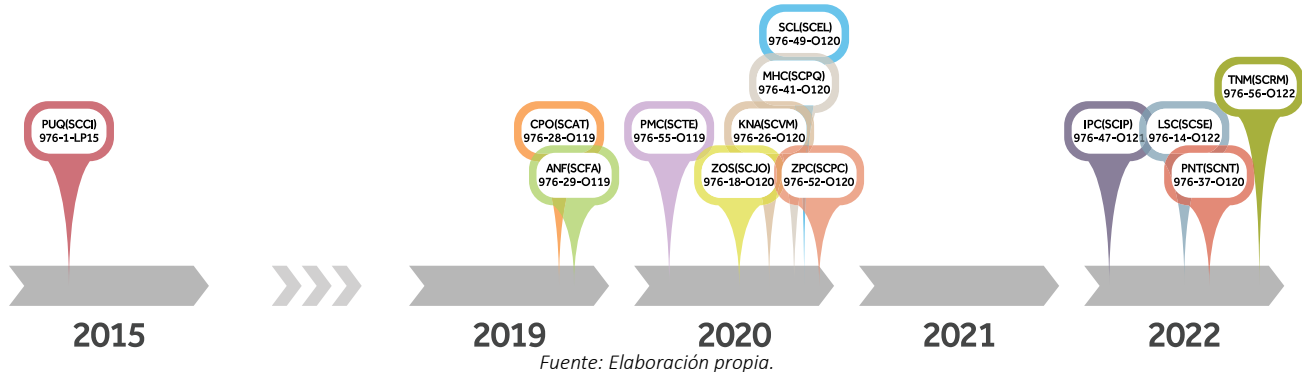
Figura 6-1: Ubicación (geográfica y climática) de los proyectos aeroportuarios.



Fuente: Elaboración propia en base a CES v1.1

Mientras que su ubicación temporal (en una línea de tiempo), considerando las fechas de cierre de cada una de las licitaciones públicas que dieron origen a las respectivas Consultorías, es la siguiente:

Figura 6-2: Ubicación temporal de los proyectos analizados (según su fecha de cierre de Licitación)



De la totalidad de estos proyectos (13), se revisaron en profundidad los antecedentes técnicos recibidos, con la finalidad de poder realizar la revisión de cada uno de ellos, y analizando la suficiencia de los datos a fin de realizar los análisis de costo requeridos con posterioridad.

De forma resumida, y buscando relacionar las distintas realidades y escalas de los recintos aeroportuarios analizados, se presenta la siguiente tabla, la cual sintetiza la totalidad de los proyectos tenidos a la vista, junto con su superficie construida (a nivel de proyecto) y el valor de PHP considerado a la hora de su dimensionamiento programático (a través del Manual de Desarrollo Aeroportuario en ese entonces vigente).

Se incorpora además la caracterización del tipo de obra, vale decir, si un edificio terminal dado se refiere a una obra totalmente nueva, una remodelación sin expansión de superficies, o bien una ampliación (esta última considera elementos tanto de remodelación como de obra nueva).

Finalmente, se destacan con un símbolo de visto bueno aquellas incursiones en diversas áreas de la sustentabilidad y eficiencia energética, tales como: **ELE**: Generación eléctrica, **ARQ**: Arquitectura pasiva eficiente, **BAS**: Recuperación y tratamiento sustentable de residuos, **ILU**: Iluminación eficiente, **CLI**: Climatización eficiente, **ATR**: Reutilización de agua tratada y **ALL**: Captación y reutilización de aguas lluvia.

Cabe señalar que el signo X implica desde que no lo aborda hasta que la información incorporada en los antecedentes es insuficiente como para poder validar su incorporación en el proyecto.

Tabla 6-3: Síntesis de la realidad aeroportuaria tenida a la vista.

IATA	OACI	SUP (m <sup>2</sup> )	PHP	TIPO_OBRA	TIPO_ING	ELE	ARQ	BAS	ILU	CLI	ATR	ALL
CPO	SCAT	19.667	622	Ampliación	Factibilidad	X	✓	X	✓	✓	✓	X
KNA	SCVM	4.393	412	Nueva	Factibilidad	X	✓	X	✓	✓	✓	X
PMC	SCTE	31.656	Pend.	Ampliación	Factibilidad	X	✓	X	✓	✓	✓	X
ZOS	SCJO	10.968	315	Ampliación	Factibilidad	X	✓	X	✓	✓	✓	X
SCL	SCEL	294.000	4.936	Nueva	Prefactibilidad	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
ANF	SCFA	34.503	Pend.	Ampliación	Factibilidad	X	✓	X	✓	✓	✓	X
MHC	SCPQ	11.919	Pend.	Ampliación	Factibilidad	X	✓	X	✓	✓	✓	X
ZPC	SCPC	2.962	177	Nueva	Factibilidad	X	✓	X	✓	✓	✓	X
PUQ	SCCI	16.176	Pend.	Ampliación	Factibilidad	X	✓	X	✓	✓	✓	X
PNT	SCNT	Pend.	311	Nueva	Factibilidad	X	✓	X	✓	✓	✓	X
TNM	SCRM	923	148	Nueva	Factibilidad	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
IPC	SCIP	Pend.	Pend.	Remodelación	Detalle	X	✓	X	✓	✓	✓	X
LSC	SCSE	Pend.	Pend.	Nueva	Detalle	X	✓	X	✓	✓	✓	X

Fuente: Elaboración propia.

### 6.1.5 Análisis de costos

Se realiza una comparación de los costos de incorporar estrategias CES (Certificación Edificio Sustentable) frente a proyectos tradicionales. Este análisis se realizó en función de la suficiencia técnica de cinco proyectos aeroportuarios, debido a que el resto de los proyectos recibidos no posee su información técnica-económica completa como para practicarles este tipo de análisis (cantidades de obra y presupuestos no presentes, sin planimetría de arquitectura y/o especialidades, entre otros aspectos).

El análisis se enfoca en determinar el sobrecosto por metro cuadrado (UF/m<sup>2</sup>) derivado de la implementación de estrategias sustentables respecto a un proyecto tradicional. Los aeropuertos seleccionados para este análisis incluyen Desierto de Atacama (SCAT/CPO), Viña del Mar (SCVM/KNA), El Tepual (SCTE/PMC), Carlos Ibáñez del Campo (SCCI/PUQ) y Cañal Bajo Carlos Hott Siebert (SCJO/ZOS).

Cabe destacar que la revisión y análisis de costos es una aproximación teórica, enfocada en determinar dentro del campo presupuestario de la arquitectura, partidas para materiales de terminación, cerramientos interiores y envolvente exterior, aquellas diferencias que se generan en un sobrecosto relativo, en proyectos con consideraciones de eficiencia energética, apuntando fundamentalmente al ámbito del diseño pasivo, para mejorar los estándares de habitabilidad y performance energética del edificio, esto versus una edificación convencional, cuyo criterio de diseño únicamente busque cumplir los estándares definidos en las normativas y regulaciones oficiales de construcción, validadas por la OGUC (Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones).

Es importante profundizar en que los porcentajes de presunto sobrecosto en una edificación arquitectónicamente más eficiente, pudieran llevar a análisis y conclusiones equivocadas, puesto que, para tener una visión integral de comportamiento energético de un edificio se requiere de la realización de modelaciones energéticas termodinámicas, acústicas y lumínicas, de manera de tener a la vista una serie de parámetros completos, con los cuales realizar iteraciones, calibraciones y ejercicios comparativos con el objeto de determinar la combinación más eficiente como resultado o propuesta aplicable.

Los resultados muestran que los sobrecostos para alcanzar los estándares CES varían entre un 10% y un 18% del presupuesto total de la obra. En el Aeródromo Desierto de Atacama (SCAT/CPO), el costo por metro cuadrado de un proyecto con criterios CES ascendió a 25,8 UF/m<sup>2</sup>, en comparación con los 23,5 UF/m<sup>2</sup> de un proyecto tradicional, resultando en un sobrecosto del 16%. Este incremento se debe a la integración de materiales y sistemas más eficientes en términos energéticos y de sustentabilidad.

El Aeródromo Viña del Mar (SCVM/KNA) mostró el mayor incremento, con un sobrecosto del 18%. En este caso, el costo del proyecto CES fue de 46,5 UF/m<sup>2</sup>, mientras que en una edificación convencional alcanzaría los 42,1 UF/m<sup>2</sup>. La implementación de criterios CES en este proyecto aumentó los costos debido a la necesidad de mejorar la eficiencia térmica y de utilizar sistemas activos de menor consumo energético.

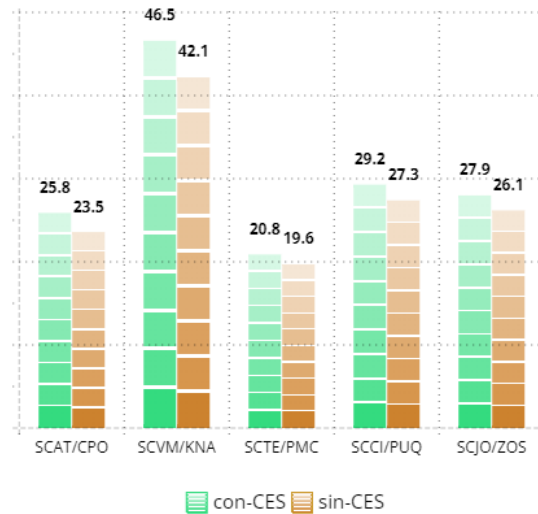
Para el Aeropuerto El Tepual (SCTE/PMC), se observó un sobrecosto del 11%, donde el costo del proyecto CES fue de 20,8 UF/m<sup>2</sup> en comparación con los 19,6 UF/m<sup>2</sup> de un proyecto tradicional. Este incremento se atribuye principalmente a la instalación de envolventes térmicas más eficientes.

En el Aeropuerto Presidente Carlos Ibáñez del Campo (SCCI/PUQ), el sobrecosto fue del 12%, con un costo de 29,2 UF/m<sup>2</sup> para el proyecto CES, frente a los 27,3 UF/m<sup>2</sup> de una edificación convencional. Las partidas más costosas incluyeron materiales de aislación térmica.

Finalmente, el Aeródromo Cañal Bajo Carlos Hott Siebert (SCJO/ZOS) presentó un sobrecosto del 12%, con un costo de 27,9 UF/m<sup>2</sup> para el proyecto CES, comparado con los 26,1 UF/m<sup>2</sup> de un proyecto tradicional. Este aumento se relaciona con la instalación de envolventes térmicas.

Gráficamente, el sobrecosto de la incorporación de estrategias CES para cada uno de los proyectos con relativa suficiencia técnica para dicho análisis, es el siguiente:

Figura 6-3: Sobrecosto de estrategias CES en edificios terminales (UF/m<sup>2</sup>)



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-4: Cuadro comparativo de sobrecosto CES de los proyectos (UF/m<sup>2</sup>)

CÓDIGO AERÓDROMO		COSTO DE EDIFICACIÓN			
OACI	IATA	con-CES	sin-CES	Diferencia	Porcentual
SCAT	CPO	25,8	23,5	2,3	9,8%
SCVM	KNA	46,5	42,1	4,4	10,5%
SCTE	PMC	20,8	19,6	1,2	6,1%
SCCI	PUQ	29,2	27,3	1,9	7,0%
SCJO	ZOS	27,9	26,1	1,8	6,9%

Fuente: Elaboración propia.

### 6.1.6 Brechas de aplicación CES v1.1 en terminales de aeropuertos y refugios.

En la Tabla 6-5 se pueden observar los distintos requerimientos y créditos de la CES v1.1 asociados a las variables de energía, agua y acústica que presentan dificultades en su aplicación y cumplimiento para edificios tipo terminal y refugios de pasajeros aeroportuarios.

Tabla 6-5: Brechas identificadas en aplicación CES v1.1 a proyectos aeroportuarios para las variables de energía, agua y acústica

Requerimiento	Descripción	Brechas identificadas
ARQ. CAI 1 Confort térmico pasivo	Este requerimiento obligatorio tiene como objetivo disminuir las horas en las que los usuarios de un edificio se encuentran fuera del rango de confort térmico mediante medidas pasivas. Se debe comparar el desempeño térmico proyectado con un edificio de referencia, evaluando las horas de disconfort en términos porcentuales, con un enfoque en la mejora del confort interior.	<p>Los edificios de Terminal de Pasajeros en los aeropuertos, tanto de pequeña como de gran escala, presentan desafíos específicos al intentar aplicar soluciones de confort térmico pasivo.</p> <p>En los terminales, los amplios espacios y grandes superficies de vidrio, diseñadas para proporcionar luz natural y vistas al exterior en el perímetro de los edificios, dificultan la conservación de la temperatura interna en rangos de confort sin la ayuda de sistemas activos de climatización.</p> <p>Las cargas internas y horarios de ocupación que poseen los edificios tipo terminal y refugio son distintos a las que poseen los edificios de oficinas convencionales, por lo que los rangos de reducción de horas fuera de confort pasivo poseen unas características distintas.</p> <p>Debido a estas razones, la CES v1.1 no se adapta en su totalidad a los edificios aeroportuarios por lo que se hace necesario utilizar cargas térmicas y horarios identificados especialmente para este tipo de edificios. Además, se deben calcular los rangos de reducción de confort pasivo para obtener niveles adaptados a los horarios de ocupación y la arquitectura especializada en procesamiento de pasajeros que poseen estos edificios.</p> <p><u>Esta brecha es considerada de nivel medio ya que en CES v1.1 existen herramientas para realizar el cálculo estas no son específicas para aeropuertos. Esta brecha puede ser solucionada mediante estudios de casos existentes.</u></p>
ARQ. CAI 2R – Confort visual pasivo	Este requerimiento obligatorio tiene como objetivo maximizar el aporte de luz natural a través de los elementos transparentes de la envolvente del edificio, para aumentar los niveles de confort visual y disminuir los consumos energéticos en iluminación artificial.	<p>Los edificios de Terminal de Pasajeros en los aeropuertos, tanto de pequeña como de gran escala, presentan una brecha importante en este requerimiento.</p> <p>En primer lugar, por razones de seguridad operacional este tipo de edificios no posee las mismas libertades que otro tipo de infraestructuras para la disposición de vanos.</p>
ARQ. CAI 2.1 – Confort visual pasivo: Luz natural	Este requerimiento voluntario tiene como objetivo maximizar el aporte de luz natural a través de los elementos transparentes de la envolvente del edificio, para aumentar los niveles de confort visual según niveles y disminuir los consumos energéticos en iluminación artificial.	<p>En segundo lugar, los recintos y su tipología de uso no se adecuan a los recintos descritos en la versión 1.1 de CES, por lo que la exigencia de iluminación natural se hace más exigente para estos tipos de proyectos.</p>

Requerimiento	Descripción	Brechas identificadas
ARQ. CAI 2.2 – Confort visual pasivo: Acceso visual al exterior	Este requerimiento voluntario tiene como objetivo establecer un porcentaje mínimo de acceso visual al exterior para los usuarios del edificio.	<p>Por último, los rangos de iluminación natural de la versión 1.1 de CES fueron definidos para otro tipo de edificios que no son de operación aeroportuaria, por lo que los valores que se deben alcanzar no son acordes a los que se pueden obtener de manera segura en los proyectos aeroportuarios.</p> <p><u>Esta brecha es considerada de nivel alto ya que en CES v1.1 se consideran valores de iluminación natural, estos no son representativos de terminales y refugios de pasajeros. Esta brecha puede ser solucionada mediante una nueva definición de recintos que incluya a los recintos aeroportuarios y una definición de rangos de iluminación natural mediante simulaciones.</u></p>
ARQ. CAI 4 Confort acústico – 4R Aislación acústica mínima de fachadas exteriores	Este requerimiento obligatorio tiene como objetivo limitar la transmisión de ruido mediante aislamiento acústico en las fachadas de los edificios. Se debe igualar o mejorar el aislamiento mínimo especificado de 25 dB(A) para niveles de ruido menores a 65 dB(A) y NED (Ruido equivalente)- 40 dB(A) para niveles superiores. Se permite evaluar mediante cálculo prescriptivo o prestacional, garantizando el confort acústico de los ocupantes.	<p>Los terminales de pasajeros enfrentan una exposición constante a altos niveles de ruido exterior debido al tráfico aéreo en cambio a los edificios públicos tradicionales.</p> <p>En terminales de gran escala, la necesidad de mantener un ambiente confortable para los pasajeros y personal requiere la implementación de sistemas avanzados de aislamiento acústico.</p> <p>Debido a esta razón los niveles de ruido exterior equivalente que existen en la CES v1.1 no pueden ser directamente aplicados para la evaluación.</p>
ARQ. CAI 4 Confort acústico – 4.1 Aislamiento acústico de fachada	Este requerimiento obligatorio tiene como objetivo limitar la transmisión de ruido entre recintos y desde el exterior para garantizar el confort acústico. Se deben cumplir niveles de aislamiento acústico específicos, excediendo en 5 o 10 dB(A) los mínimos establecidos, según el Nivel Equivalente Diurno (NED). Evalúa bibliotecas y salas de clases.	<p>Las cubiertas de los edificios de proyectos aeroportuarios también se encuentran constantemente expuestas al ruido exterior, por lo que se deberían considerar dentro de la evaluación de aislamiento acústica mínima, evaluación que la CES v1.1 no incluye.</p> <p><u>Esta brecha es considerada de nivel medio ya que en CES v1.1 se consideran algunos valores de ruido externo para realizar el cálculo, pero estos no representan los ruidos que existen en el contexto aeroportuario. Esta brecha puede ser solucionada mediante mediciones de casos existentes y revisión de bibliografía.</u></p>

Requerimiento	Descripción	Brechas identificadas
<p>ARQ. CAI 4 Confort acústico – 4.1 Aislamiento acústico al ruido aéreo entre recintos</p>	<p>Este requerimiento obligatorio tiene como objetivo asegurar un aislamiento acústico mínimo entre recintos para reducir la transmisión de ruido aéreo. Se debe cumplir un aislamiento de al menos 35 a 50 dB(A) dependiendo del tipo de recinto emisor y receptor, y un nivel de presión sonora de impacto no superior a 65 dB, cubriendo un 75% de los recintos ocupados.</p>	<p>Limitar la transmisión de ruido e impacto entre recintos en terminales de pasajeros es un desafío debido al diseño arquitectónico y la función de estos espacios que suelen poseer espacios muy amplios acompañados de muchos recintos mediterráneos</p> <p>Junto a esto los terminales de pasajeros poseen recintos muy diversas cuyas características y relaciones se encuentran, como lo son las áreas de tránsito donde el ruido de impacto y la vibración generada por el tráfico peatonal y de equipaje afectan a recintos vecinos.</p> <p>Por estos motivos es necesario reconocer los tipos de recintos existentes dentro de los terminales y proponer niveles de aislamiento acústico entre recintos según las relaciones existentes.</p> <p><u>Esta brecha es considerada de nivel bajo ya que en CES v1.1 se consideran algunos valores de aislación acústica para realizar el cálculo, pero estos no representan los ruidos que existen en el contexto aeroportuario. Esta brecha puede ser solucionada mediante homologación con requerimientos reconocidos internacionalmente.</u></p>
<p>ARQ. CAI 4 Confort acústico – 4.2 Acondicionamiento acústico tiempo de reverberación</p>	<p>Este requerimiento tiene como objetivo controlar el tiempo de reverberación en aulas, auditorios y espacios similares para garantizar una buena inteligibilidad de la palabra. Se debe lograr un tiempo de reverberación menor a 1,5 segundos para obtener puntos, cumpliendo con los rangos establecidos en la Tabla 8 según el tamaño del recinto, con valores de 0,6 a 1,0 segundos.</p>	<p>Controlar el tiempo de reverberación en terminales de pasajeros es importante para garantizar la claridad de los anuncios y la comunicación general en el espacio.</p> <p>Los terminales de gran escala suelen tener techos altos y grandes áreas abiertas, lo que provoca un aumento en el tiempo de reverberación y dificulta el control de la acústica.</p> <p>La inteligibilidad de la palabra es un aspecto esencial en los aeropuertos para asegurar que los anuncios y la comunicación sean claros y comprensibles para todos los pasajeros.</p>
<p>ARQ. CAI 4 Confort acústico – 4.2 Acondicionamiento acústico inteligibilidad de la palabra (STI)</p>	<p>Este requerimiento tiene como objetivo garantizar la inteligibilidad de la palabra en aulas y auditorios. Se debe lograr un Speech Transmission Index (STI) superior a 0,6 en aulas, auditorios, salas de audiencia y cámaras Gesell, y superior a 0,5 en oficinas. También se otorgan puntos por el uso de materiales absorbentes con coeficiente NRC mayor a 0,5.</p>	<p>Además, el uso de mobiliario y elementos de diseño específicos presentes en los terminales afectan directamente a los tiempos de reverberación e inteligibilidad de la palabra de los recintos.</p> <p>Considerando que la información que se entrega mediante los sistemas de altavoces de en los terminales de pasajeros es importante para su operación, y a la complejidad que posee el cálculo de la inteligibilidad de la palabra un estudio de simulación acústica es necesario, al menos para los grandes aeropuertos, evaluación que la CES v1.1 no considera como obligatoria.</p> <p><u>Esta brecha es considerada de nivel bajo ya que en CES v1.1 se consideran algunos valores de calidad del sonido interior, pero no está adecuado para altavoces de grandes espacios como lo son las salas de espera de aeropuertos. Esta brecha puede ser solucionada mediante la incorporación de un especialista en sonido en la evaluación CES.</u></p>

Requerimiento	Descripción	Brechas identificadas
ARQ. Energía 5 Demanda de energía – 5R Transmitancia térmica de la envolvente y factor solar modificado	Este requerimiento obligatorio tiene como objetivo disminuir la demanda de energía para calefacción y enfriamiento, limitando la transmitancia térmica de la envolvente y el factor solar modificado. Se deben cumplir los valores de transmitancia térmica y FSM específicos para cubiertas, muros y ventanas, con rangos desde 0,90 a 5,70 W/m <sup>2</sup> K y de 0,60 a 0,75 según el tipo de elemento, orientación y la zona climática.	No se detectan brechas que inhabiliten el cumplimiento de este requerimiento permitiendo utilizar la metodología propuesta en la versión existente del CES. Para proyectos aeroportuarios se debe cumplir con lo exigido tanto en reglamentación térmica, la versión del CES vigentes, u otras regulaciones locales, siempre cumpliendo con la más exigente.
ARQ. Energía 5 Demanda de energía – 5 Evaluación prestacional: disminución de la demanda de energía para calefacción y enfrentamiento	Este requerimiento tiene como objetivo reducir la demanda anual de energía para calefacción y enfriamiento en edificios mediante la mejora de la transmitancia térmica y el factor solar modificado de la envolvente. Existen dos opciones de cumplimiento: evaluación prestacional, que implica simulación dinámica y comparación con un edificio de referencia, y evaluación prescriptiva, que considera parámetros como transmitancia y factor solar en cubiertas, muros y ventanas. Los niveles de desempeño van de mínimo a muy bueno, y se otorgan puntos por reducción de la demanda o mejora en la transmitancia. Incluye condiciones específicas para exenciones y requisitos adicionales de aislamiento térmico.	<p>Al igual como ocurre con el crédito voluntario de reducción de horas fuera del rango de confort pasivo para obtener una reducción de demanda energética se debe contar con las cargas internas y horarios de ocupación que poseen los edificios tipo terminal y refugio específicos para realizar los cálculos.</p> <p>La simulación en aeropuertos requiere una modelación más compleja debido a las características singulares de estas edificaciones, como los techos altos y los grandes espacios abiertos.</p> <p>La modelación podría considerar el tránsito constante de personas, las operaciones de 24 horas y la alta carga interna de energía proveniente de sistemas de iluminación, pantallas y equipos de ventilación, complicando la comparación con un edificio de referencia.</p> <p>Debido a estas razones, la CES v1.1 no se adapta en su totalidad a los edificios aeroportuarios por lo que se hace necesario utilizar cargas térmicas y horarios identificados especialmente para este tipo de edificios. Además, se deben calcular los rangos de reducción de demanda energética para obtener niveles de reducción adaptados a un sistema referencial congruente con la realidad aeroportuaria.</p> <p><u>Esta brecha es considerada de nivel alto ya que en CES v1.1 se consideran valores de reducción de demanda energética, estos no son representativos de terminales y refugios de pasajeros. Esta brecha puede ser solucionada mediante un estudio de simulación en múltiples climas y envolventes con el objetivo de encontrar rangos de reducción adaptados a este tipo de edificios.</u></p>
ARQ. AGUA 7R. Paisajismo: Reducir un 20% la Evapotranspiración	Este requerimiento obligatorio tiene como objetivo reducir el uso de agua para riego al disminuir la evapotranspiración de las especies vegetales en proyectos de paisajismo. Se debe reducir al menos un 20% la evapotranspiración en comparación con el caso de referencia. Se excluyen del cálculo elementos sin vegetación.	<p>La implementación de medidas de reducción de evapotranspiración en proyectos de paisajismo en aeropuertos puede ser limitada por la disponibilidad de espacio y el enfoque de diseño.</p> <p>Las áreas pavimentadas y de movimiento vehicular restringen el espacio disponible, y las superficies vegetadas pueden no</p>

Requerimiento	Descripción	Brechas identificadas
ARQ. AGUA 7 Paisajismo: Disminución de la Evapotranspiración	Este requerimiento voluntario tiene como objetivo reducir el uso de agua para riego al disminuir la evapotranspiración de las especies vegetales en proyectos de paisajismo. Se aplica únicamente en edificios donde la superficie de paisajismo es igual o superior al 20% de la superficie del terreno. Se excluyen del cálculo elementos como paseos peatonales sin vegetación. Se calcula la evapotranspiración del paisajismo y se determina la disminución porcentual respecto al caso de referencia.	<p>representar el 20% del terreno, dificultando el cumplimiento del requisito.</p> <p>Por estos motivos, la evaluación que realiza la CES v1.1 no se adapta a los proyectos aeroportuarios, en gran parte debido a las grandes superficies que ocupan para el tránsito de aeronaves y como margen de seguridad.</p> <p><u>Esta brecha es considerada de nivel bajo ya que en CES v1.1 se consideran rangos de reducción de evapotranspiración, estos no son representativos de las superficies de los terrenos donde se emplazan aeropuertos y refugios. Esta brecha puede ser solucionada mediante un estudio de especies plantadas y homologías a casos internacionales de éxito.</u></p>
INST. AGUA 20R Sistemas de Agua Potable: Reducir en un 20% el Consumo de Agua Potable	Este requerimiento obligatorio busca reducir el consumo de agua potable en edificios mediante la incorporación de artefactos eficientes y sistemas de control. Se debe lograr una reducción del 20% en el consumo de agua potable.	<p>La reducción del consumo de agua potable en aeropuertos enfrenta dificultades por la gran cantidad de pasajeros y personal que utilizan los servicios en comparación a la CES v1.1</p> <p>Además, la operación aeroportuaria no posee las mismas tipologías de usuarios que edificios públicos tradicionales lo que difiere de la CES v1.1.</p>
INST. AGUA 20.1 Sistema de Agua Potable: Sistemas Eficientes	Este requerimiento voluntario busca reducir el consumo de agua potable mediante la incorporación de artefactos eficientes y sistemas de control. Se debe demostrar una reducción del consumo de agua potable de acuerdo con los porcentajes por zona climática. Se excluyen de la evaluación artefactos y griferías distintos a llaves de lavamanos, llaves de lavaplatos, llaves de ducha, inodoros y urinarios.	<p>Por esto es necesario identificar la tipología de usuarios de las terminales y su comportamiento de uso de los servicios sanitarios, para incluirlos en la versión CES aeropuertos.</p> <p><u>Esta brecha es considerada de nivel bajo ya que en CES v1.1 se consideran rangos de reducción de agua potable, estos no son representativos de las superficies de aeropuertos y refugios ya que no consideran la misma tipología de ocupantes que posee un aeropuerto ni tampoco las operaciones donde se podría reutilizar agua. Esta brecha puede ser solucionada mediante un estudio de uso de baños según ocupantes y la revisión de casos internacionales de éxito.</u></p>
INST. AGUA 21R Riego: Reducir en un 20% el Consumo de Agua para Riego	Este requerimiento obligatorio tiene como objetivo reducir el uso de agua para riego al mejorar la eficiencia del sistema de riego. Se debe reducir al menos un 20% el consumo de agua para riego en comparación con el caso de referencia, utilizando fuentes de agua superficial y sub-superficial.	<p>La aplicación de medidas de riego eficiente en aeropuertos puede verse afectada por la limitación de áreas verdes. Las áreas verdes en los aeropuertos suelen ser decorativas y limitadas, lo que reduce el impacto potencial de los sistemas de riego eficientes en el consumo total de agua.</p>

Requerimiento	Descripción	Brechas identificadas
<p>INST. AGUA 21 Riego: Sistemas Eficientes</p>	<p>Este requerimiento voluntario busca reducir el uso de agua para riego mediante la implementación de sistemas eficientes. Se aplica a proyectos de paisajismo donde la superficie de paisajismo sea igual o superior al 20% de la superficie del terreno del edificio. Se debe demostrar una reducción del consumo de agua para irrigación según los porcentajes por zona climática.</p>	<p>Además, estos sistemas deben diseñarse de manera que el paisajismo que se proponga no atraiga aves para no interferir con la seguridad operacional y el mantenimiento de las pistas, y la recolección de agua de lluvia puede presentar desafíos en almacenamiento y distribución.</p> <p>Por estos motivos, se deben reconocer las especies y sistemas de riego que son seguros para utilizarlas en proyectos de aeropuerto. Esta identificación con un cálculo ajustado a la realidad de este tipo de proyectos no se encuentra definida en la CES v1.1.</p> <p><u>Esta brecha es considerada de nivel bajo ya que en CES v1.1 se consideran rangos de reducción de evapotranspiración, estos no son representativos de las superficies de los terrenos donde se emplazan aeropuertos y refugios. Esta brecha puede ser solucionada mediante un estudio de especies plantadas y homologías a casos internacionales de éxito.</u></p>

Fuente: Elaboración propia.

## 6.2 ETAPA 2: ESTUDIO DE ENERGÍA

El estudio de energía desarrollado contempla una metodología robusta y exhaustiva, enfocada en la optimización energética y el confort térmico de infraestructuras aeroportuarias. Integra herramientas de simulación dinámica, estudios específicos del entorno climático para generar propuestas de reducción energética y estrategias de eficiencia, contribuyendo a la sostenibilidad y ofreciendo un marco sólido para su implementación en la Certificación de Edificio Sustentable (CES) en su versión adaptada para aeropuertos.

### 6.2.1 Metodología para estudio de energía

El estudio se fundamenta en normas internacionales ampliamente reconocidas como las de ASHRAE y CIBSE, que establecen los lineamientos para asegurar la eficiencia energética y el control adecuado del confort térmico. Estas normativas son cruciales para la simulación de edificios aeroportuarios, ya que definen cómo gestionar las cargas internas de calor, la ventilación, y el uso eficiente de los sistemas de climatización. Por ejemplo, la norma ASHRAE 90.1 establece criterios específicos para reducir el consumo energético a través del diseño de envolventes térmicas eficientes, la selección de sistemas de calefacción y refrigeración de bajo consumo, y la optimización de la iluminación, mientras que ASHRAE 62.1 se centra en mantener una calidad de aire interior adecuada ajustando las tasas de ventilación según el uso de cada espacio.

En una primera parte del estudio se identificaron inconsistencias en los datos de entrada del modelo CES v1.1, especialmente en lo relacionado con horarios, cargas internas y tipos de recintos, los cuales no reflejaban adecuadamente las características de terminales y refugios de pasajeros aeroportuarios. Para abordar esta problemática, se desarrollaron propuestas específicas orientadas a mejorar la representación de estas instalaciones.

Para esto se llevó a cabo un análisis detallado de horarios de operación utilizando datos históricos de vuelos, lo que permitió clasificar los aeropuertos según regímenes operativos. Junto a ello, se establecieron cargas internas para diversos tipos de recintos, considerando aspectos como ocupación, ventilación, iluminación y equipos, todo ello alineado con estándares internacionales reconocidos, como los de ASHRAE y CIBSE. Además, se propuso una clasificación específica de recintos aeroportuarios, que contempla categorías como regularmente ocupados, ocupados con excepciones y no regularmente ocupados. Este enfoque permitió establecer requisitos personalizados en función del uso y las necesidades de confort. Por último, se evaluaron archivos climáticos para las zonas de estudio, destacando el uso de datos de Climate.OneBuilding por su precisión y trazabilidad.

Un aspecto fundamental del estudio es la realización de simulaciones energéticas que permiten evaluar de forma detallada el comportamiento de las edificaciones bajo distintas configuraciones. Estas simulaciones se realizaron utilizando el software DesignBuilder, que emplea el motor de simulación EnergyPlus. La robustez del análisis se refleja en las 2.064 simulaciones realizadas, que incluyeron diversos escenarios que consideraron desde edificios con altos estándares de eficiencia energética hasta configuraciones referenciales con características mínimas de eficiencia. Cada simulación no solo consideró la orientación y envolvente del edificio, sino también diferentes niveles de desempeño energético, adaptados a las condiciones climáticas específicas de cada ubicación.

El uso de archivos climáticos específicos para cada ubicación aeroportuaria asegura que las simulaciones reflejen las condiciones reales a las que están expuestas las edificaciones. Estos archivos, en formato EPW, incluyen datos detallados de temperatura, humedad, radiación solar y velocidad del viento, y son esenciales para modelar con precisión la demanda energética. Las zonas climáticas cubiertas en el estudio abarcan desde regiones desérticas y mediterráneas hasta climas oceánicos y de tundra, incluyendo ubicaciones tan remotas como Rapa Nui, Robinson Crusoe, y la Base Antártica. Esta amplitud de análisis permite una representación fiel de las condiciones climáticas locales, y, por ende, una evaluación exhaustiva del comportamiento energético de los edificios.

Además de analizar el consumo y la demanda energética, también se incorpora la evaluación de estrategias de eficiencia energética tanto pasivas como activas. Las estrategias pasivas, como la mejora en la envolvente térmica y la optimización de los diseños de ventanas, buscan aprovechar las condiciones naturales del entorno para reducir la necesidad de climatización artificial. Mientras tanto, las estrategias activas se centran en mejorar la eficiencia de los sistemas de calefacción, ventilación

e iluminación mediante el uso de tecnología avanzada. La combinación de estas estrategias permite generar edificios más eficientes y sostenibles, adaptados a las características y demandas de cada recinto dentro del aeropuerto.

Las simulaciones no solo evalúan el comportamiento energético de los edificios, sino también su confort térmico. Este aspecto es especialmente relevante en infraestructuras aeroportuarias, donde los flujos de ocupación y las variaciones en las actividades dentro de los recintos generan patrones de uso muy específicos. Los horarios de ocupación y las cargas internas de calor (generadas por personas, equipos e iluminación) fueron consideradas para ajustar los sistemas de ventilación y climatización, asegurando que el consumo energético esté alineado con las necesidades reales de los ocupantes.

El estudio concluye con una evaluación exhaustiva de los resultados, presentados en forma de tablas comparativas que permiten visualizar el impacto de cada estrategia en términos de reducción de la demanda y el consumo energético, así como del confort térmico. Estos resultados se agrupan en categorías de desempeño que van desde "suficiente" hasta "muy bueno", lo que facilita la identificación de las mejores combinaciones de estrategias pasivas y activas. Además, el estudio incluye una validación práctica a través de un caso de estudio en un aeropuerto real, lo que demuestra la aplicabilidad y efectividad de las estrategias propuestas en un entorno operativo.

La selección de las metodologías empleadas en el estudio responde a las necesidades de los aeropuertos en Chile, las cuales se ven condicionadas por su diversidad climática, demandas operativas particulares y los compromisos con estándares de sostenibilidad. El uso de estándares internacionales como ASHRAE y CIBSE garantiza un enfoque riguroso y adaptable a las características locales, permitiendo abordar la alta variabilidad en flujos de ocupación, la optimización de la ventilación en ambientes cerrados y la eficiencia energética. El análisis de horarios de operación desarrollados se realizó utilizando datos históricos de vuelos, lo que permitió clasificar los aeropuertos según regímenes operativos, asegurando que las simulaciones energéticas reflejaran fielmente las dinámicas reales de uso. Este análisis se complementó con la definición de cargas internas específicas para diversos tipos de recintos, considerando aspectos como ocupación, ventilación, iluminación y equipos, y alineándose con estándares internacionales reconocidos.

La simulación energética mediante DesignBuilder se justifica por su capacidad para modelar edificios con gran precisión, considerando variables como las cargas internas de calor y las condiciones climáticas extremas que caracterizan a ciertas zonas del país, cómo lo es la Antártica. Por su parte, la incorporación de estrategias pasivas y activas en el análisis refleja una necesidad de adaptar los diseños de los edificios aeroportuarios tanto a las demandas energéticas y necesidades de confort térmico como a las de sostenibilidad. Finalmente, el uso de archivos climáticos EPW específicos asegura la validez de los resultados en el contexto geográfico chileno, donde las condiciones climáticas varían drásticamente, haciendo indispensable esta precisión para obtener resultados.

## 6.2.2 Cargas internas aplicables a terminales y refugios

Las cargas internas se refieren a las fuentes de calor dentro de un edificio que contribuyen a la carga térmica total que debe manejar el sistema HVAC&R y que determinan la demanda y consumo energético. Estas pueden incluir personas (cargas metabólicas), equipos electrónicos, iluminación, entre otros.

### 6.2.2.1 PROPUESTA DE GANANCIAS INTERNAS Y HORARIOS DE OCUPACIÓN

Con base en los estándares estudiados (ASHRAE, CIBSE y CES 1.1), se propone un modelo de ganancias internas que combina estos lineamientos internacionales y locales para optimizar las simulaciones energéticas en aeropuertos y refugios.

Se realizó un análisis de bitácoras de operación para 30 aeropuertos chilenos (años 2018-2023) a fin de categorizar los aeropuertos en tres regímenes de operación: 24 horas (H24), régimen HJ y régimen especial (más extenso que "HJ" pero menor a una operación de 24 horas). Esta categorización permite modelar la ocupación de los espacios en función de las horas de mayor y menor actividad. En el punto 3.1 del documento Anexo 1 se pueden observar el porcentaje de operaciones que ocurren durante un bloque horario para cada uno de los aeropuertos analizados (identificados con su código OACI).

El horario de ocupación que posee cada aeropuerto se determina según la varianza de los bloques horarios, en donde aquellos aeropuertos que posean una varianza de sus bloques menor a 0,2 pertenecen al grupo H24, aquellos que poseen una varianza menor a 0,4 al régimen especial y por último aquellos que poseen una varianza mayor a 0,4 pertenecen al régimen "HJ". Se utiliza la varianza debido a que es un valor que indica que tan distintas son la cantidad de operaciones según bloque horario. En el punto 3.1 del Anexo 1 se puede observar a que tipo de régimen pertenece cada aeropuerto.

La definición de tipos de aeropuertos se utilizará para separar los datos y analizar para cada régimen los valores de ocupación. Para determinar el porcentaje de ocupación se prorratea las operaciones de cada hora en función de la cantidad máxima de operaciones que el aeropuerto ha tenido según hora en el ciclo analizado. El resultado de este primer análisis se puede observar en el punto 3.1 del Anexo 1.

Para facilitar el ingreso de datos en simulaciones energéticas y simplificar la comprensión y lectura de los porcentajes de ocupación, los horarios son agrupados en bloques según su nivel de ocupación y representados en múltiplos de 5%. Además se reconoce un bloque de horarios en donde se alcanza el 100% de ocupación. Los resultados de este análisis alcanzan un error máximo del 1% frente a los resultados presentados anteriormente (sin ningún tipo de agrupamiento o aproximación) y son presentados junto a una letra identificadora de cada tipo de calendario, se puede observar en el punto 3.1 del Anexo 1.

Basado en los lineamientos de ASHRAE, CIBSE y CES junto a los horarios de ocupación propuestos, es aplicada a los espacios convencionales de terminales y refugios aeroportuarios con el fin de formular una propuesta relativa a las cargas de calor internas, la cual se presenta detalladamente en la Tabla 6-6.

Tabla 6-6: Propuesta de cargas internas para simulaciones

Recintos	Régimen de horario	Tasa de ocupación		Tasas de ventilación		Cargas internas			
		personas/100m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> /personas	l/s-persona	l/s <sup>2</sup> m	Personas (W/personas)	Personas (W/m <sup>2</sup> )	Equipos (W/m <sup>2</sup> )	Iluminación (W/m <sup>2</sup> )
Área counters (check-in)	A	24,5	4,1	2,5	0,3	115	28,2	9	16
Área de descanso (soft-seating)	C <sup>1</sup>	28,5	3,5	2,5	0,3	105	29,9	6,5	13
Área de llegada de vuelos (hall de llegada)	A	43,5	2,3	3,8	0,6	145	63,1	2,7	14
Área de retiro de equipaje	A	8,5	11,8	3,8	0,6	160	13,6	2,7	11
Área de salidas de vuelos (hall de salida)	A	43,5	2,3	3,8	0,6	145	63,1	2,7	14
Áreas de control (AVSEC, PDI, SAG, Aduanas, otros)	C <sup>1</sup>	10	10,0	2,5	0,3	220	22,0	16,1	12
Circulación y pasillos	C <sup>1</sup>	0	0,0	2,5	0,3	-	0,0	0	5
Concesiones comerciales (Tiendas)	C <sup>1</sup>	2,5	40,0	3,8	0,3	130	3,3	4	16
Estar para personal de losa	C	20	5,0	2,5	0,3	115	23,0	9	13
Oficinas servicios dependiente de operaciones	C <sup>1</sup>	20	5,0	2,5	0,3	115	23,0	9	12
Oficinas servicios públicos (independientes operaciones)	C <sup>1</sup>	20	5,0	2,5	0,3	115	23,0	9	12
Prepuentes de embarque	B	36	2,8	2,5	0,3	145	52,2	0	14
Puentes de embarque	B	36	2,8	2,5	0,3	145	52,2	0	14
Restaurantes y cafeterías (exc. Preparación, sala residuos)	C <sup>1</sup>	1,4	71,4	3,8	0,6	115	1,6	65	7
Restaurantes y cafeterías (preparación, sala residuos)	C <sup>1</sup>	5	20,0	3,8	0,9	220	11,0	65	13
Sala de embarque (por puente)	B	46,5	2,2	3,8	0,6	145	67,4	2,7	14
Zona de juegos infantiles	C <sup>1</sup>	6,5	15,4	3,8	0,6	160	10,4	2,7	15
Sala de embarque (remoto)	B	3,3	30,3	3,8	0,6	145	4,8	2,7	14
Salas de espera embarque	B	46,5	2,2	3,8	0,6	145	67,4	2,7	13
Salas de espera generales	C	46,5	2,2	3,8	0,6	145	67,4	2,7	13
Sala de lactancia	C <sup>1</sup>	5	20,0	5	0,9	115	5,8	2,7	13
Salas de reuniones y auditorios	C <sup>1</sup>	2	50,0	2,5	0,3	115	2,3	9	13,3
Salas técnicas	C	50	2,0	2,5	0,3	295	147,5	10	9
Bodegas	C	50	2,0	2,5	0,3	220	110,0	0	8,5
Bodegas ≤ 4,65m <sup>2</sup>	C	50	2,0	2,5	0,3	220	110,0	0	13
Kitchenettes	C <sup>1</sup>	5	20,0	3,8	0,6	220	11,0	65	13
Camarines / Servicios higiénicos	C <sup>1</sup>	0	0,0	2,5	0,9	-	0,0	0	9
Filas	C <sup>1</sup>	43,5	2,3	3,8	0,6	115	50,2	0	13

Fuente: Elaboración propia en base a ASHRAE 90.1 2016 y 2022, ASHRAE Handbook of Fundamentals 2017, CIBSE Guide-A 2021, Manual CES v1.1

<sup>1</sup> Recintos con régimen C se pueden utilizar en régimen A o B según su destino y ubicación.

#### 6.2.2.2 PROPUESTA DE CLASIFICACIÓN DE RECINTOS

Para realizar la propuesta de clasificación de recintos se considera como inicio los mismos criterios que plantea la certificación CES en su versión 1.1., considerando que algunos de los recintos que componen a las instalaciones aeroportuarias poseen ciertas características especiales como son una alta tasa de ocupación en espacios pequeños (como filas, prepunte de embarque, etc.) lo que indica que poseen una alta tasa de ocupación en una superficie reducida o la necesidad de privacidad en sus operaciones (por ejemplo, recintos de seguridad y atención médica), dificultan el cumplimiento de algunos requerimientos. Estas condiciones provocan que estos recintos que podrían ser catalogados como regularmente ocupados presenten dificultades para cumplir con requerimientos que la certificación CESv1.1 considera obligatorios como el acceso a iluminación natural o requerimientos voluntarios como confort térmico pasivo o acceso visual al exterior.

Debido a estas razones se propone que se consideren excepciones para los recintos con requerimientos especiales, estas excepciones significan que un recinto calificado como excepcional se puede omitir para el cálculo de algunos requerimientos obligatorios. La clasificación propuesta es la siguiente:

**Recintos Regularmente Ocupados (RRO):** Son recintos o áreas de recintos, cuyos ocupantes presentan una permanencia continua igual o mayor a una hora al día. Se entiende que la permanencia es de la misma persona en ese rango de tiempo. Se encuentran afectos a todos los requerimientos de confort de los usuarios.

**Recintos Regularmente Ocupados con excepción a iluminación natural (RROEI):** Son espacios habitables, recintos o áreas dentro de recintos mayores, destinados mayoritariamente a labores de seguridad o salud. Se propone la omisión de estos recintos del requerimiento de iluminación natural en su carácter obligatorio y también a ser contabilizados dentro de los recintos a considerar para acceso visual al exterior e iluminación natural en su componente voluntaria debido a que por el destino de uso de estos recintos el acceso a iluminación natural eventualmente generaría problemas en la seguridad operacional de los recintos debido a la inclusión de ventanas y/o mantener la privacidad de los pasajeros y procesos de tratamiento médico y asociados a seguridad. Ejemplo de este tipo de recintos son las zonas de AVSEC, oficinas de circuito cerrado, zonas de tratamiento médico como sala de primeros auxilios, salas de lactancia, y zonas de posible contaminación de vectores (como los recintos asociados al SAG). No obstante, estos recintos de igual manera deben ser considerados para la evaluación de confort térmico pasivo.

**Recintos Regularmente Ocupados con excepción a iluminación natural y confort pasivo (RROEIC):** Son espacios habitables, recintos o áreas dentro de recintos mayores, destinados a espera activa de atención como lo son filas, zonas de check in automático y las zonas de espera de retiro de equipaje. Se propone la omisión de estos recintos del requerimiento de iluminación natural debido a que, por el destino de uso de estos recintos, normalmente se encuentran en una ubicación mediterránea del edificio lo que complejiza el acceso a iluminación natural ya que la luz no alcanza a llegar con la intensidad suficiente a estas zonas o la inclusión de ventanas y celosías más grandes podría comprometer la seguridad del aeropuerto. También se propone la omisión de estos recintos en la evaluación de confort térmico debido a que son recintos con una gran carga de ocupación en un espacio reducido y un nivel de actividad medio (normalmente personas de pie con una generación de  $110\text{W/m}^2$ ), lo que implica que las personas generen una importante cantidad de calor de manera muy concentrada por lo que lograr alcanzar un nivel adecuado de confort sin el uso de equipos mecánicos es difícil para estos recintos considerando las restricciones de ventilación natural que poseen debido a las mismos criterios asociados a iluminación natural.

**Recintos No Regularmente Ocupados (RNRO):** Son espacios destinados al tránsito o estadía esporádica de personas, o que son usados por ocupantes en menos de 1 hora al día. Estos espacios suelen incluir zonas técnicas como salas de máquinas, cuartos eléctricos o bodegas, así como áreas de circulación, como pasillos, escaleras o rampas. También abarcan lugares de uso temporal, como baños, vestíbulos secundarios o pequeños almacenes.

#### 6.2.2.3 PROPUESTA DE DEFINICIÓN DE ALCANCES DE RECINTOS TIPO

A continuación, se presenta un listado de recintos, para los cuales se propone generar un ajuste en los requerimientos de variables específicas, tomando como base lo definido en la versión 1.1 de CES Edificios Públicos y el resultado de la Visita Técnica realizada a aeródromos de la región de Aysén.

Tabla 6-7: Propuesta de recintos regularmente ocupados

Tipo de recinto	Clasificación Recinto	Ajuste en Iluminación Natural	Ajuste en Acceso Visual Exterior	Ajuste en confort térmico pasivo
Oficinas AVSEC	RROEI	Sin exigencia para obligatorio y no se contabiliza su superficie para la evaluación del requerimiento.	Sin exigencia y no se contabiliza su superficie para la evaluación del requerimiento.	Rango de confort de RRO
Espacios de filas y espera de equipajes	RROEIC	Sin exigencia para obligatorio y no se contabiliza su superficie para la evaluación del requerimiento.	Sin exigencia y no se contabiliza su superficie para la evaluación del requerimiento.	Sin exigencia y no se contabiliza su superficie para la evaluación del requerimiento.
Áreas de acceso, espacios de juegos	RRO	Mantiene los requerimientos de un RRO según CES v1.1	Mantiene los requerimientos de un RRO según CES v1.1	Mantiene los requerimientos de un RRO según CES v1.1
Áreas de cintas de transportes u otro tipo de máquinas que impidan la estadía de personas en ese espacio	RNRO	Sin requerimiento	Sin requerimiento	Sin requerimiento
Áreas AVSEC de control	RROEI	Sin exigencia para obligatorio y no se contabiliza su superficie para la evaluación del requerimiento.	Sin exigencia y no se contabiliza su superficie para la evaluación del requerimiento.	Rango de confort de RRO
Áreas PDI de control	RROEI	Sin exigencia para obligatorio y no se contabiliza su superficie para la evaluación del requerimiento.	Sin exigencia y no se contabiliza su superficie para la evaluación del requerimiento.	Rango de confort de RRO
Salas de retenidos	RROEIC	Sin exigencia para obligatorio y no se contabiliza su superficie para la evaluación del requerimiento.	Sin exigencia y no se contabiliza su superficie para la evaluación del requerimiento.	Sin exigencia y no se contabiliza su superficie para la evaluación del requerimiento.
Superficies de pasillos	RNRO	Sin requerimiento	Sin requerimiento	Sin requerimiento
Oficinas administrativas no AVSEC	RRO	Mantiene los requerimientos de un RRO según CES v1.1	Mantiene los requerimientos de un RRO según CES v1.1	Mantiene los requerimientos de un RRO según CES v1.1
Servicios Higiénicos	RNRO	Sin ajuste	Sin ajuste	Sin ajuste
Área de informaciones	RRO	Sin ajuste	Sin ajuste	Sin ajuste
Counter aerolíneas	RRO	Sin ajuste	Sin ajuste	Sin ajuste
Salas de reuniones y de descanso	RRO	Sin ajuste	Sin ajuste	Sin ajuste
Salas de espera	RRO	Sin ajuste	Sin ajuste	Sin ajuste

Tipo de recinto	Clasificación Recinto	Ajuste en Iluminación Natural	Ajuste en Acceso Visual Exterior	Ajuste en confort térmico pasivo
Concesiones de servicio y comerciales	RRO	Sin ajuste	Sin ajuste	Sin ajuste

Fuente: Elaboración propia

Además de los recintos mencionados en la Tabla 6-7 se agregan los recintos de la Tabla 6-8 ya que son los que define la certificación CES v1.1 de manera base.

Tabla 6-8: Definición tipología de recintos según CES

RRO	RNRO
Oficinas	Servicios higiénicos
Cafeterías	Salas de vestir
Salas de reuniones	Lavaderos
Salas de estar	Vestíbulos
Salas de espera y recepción	Galerías
Salas de audiencia	Pasillos
Salas atención público	Escaleras
Salas especiales de juzgados	Bodegas
Cocinas	Estacionamientos
Enfermerías	
Box de atención	
Comedores	
Habitaciones	

Fuente: Manual CES v1.1

#### 6.2.2.4 ZONAS CLIMÁTICAS, CIUDADES Y DATOS CLIMATOLÓGICOS CONSIDERADOS

Se presentan los elementos clave necesarios para realizar simulaciones energéticas de alta precisión en edificios, específicamente en el contexto de proyectos de infraestructura aeroportuaria sustentable. Este punto aborda cómo se seleccionan y comparan los archivos climáticos para reflejar adecuadamente las condiciones meteorológicas locales en las diferentes ciudades de estudio. El objetivo es garantizar que las simulaciones energéticas sean precisas y representen fielmente las condiciones reales que afectarán el rendimiento térmico de los edificios.

Las simulaciones energéticas dependen en gran medida de los archivos climáticos, que proporcionan datos históricos y proyecciones meteorológicas. Existen dos principales enfoques metodológicos para crear estos archivos:

- **Archivos basados en datos observados:** Utilizan datos recopilados de estaciones meteorológicas y sensores satelitales. Este enfoque ofrece una representación precisa de las condiciones climáticas pasadas y actuales, incluyendo variables esenciales como la temperatura, la radiación solar, la velocidad del viento y la humedad. Aunque estos archivos son considerados más fiables, su precisión depende de la calidad y cantidad de estaciones meteorológicas disponibles en la región.
- **Archivos generados por modelos climáticos:** Estos archivos son simulados mediante modelos numéricos que predicen el comportamiento atmosférico a partir de principios físicos. Son útiles cuando no se dispone de datos observacionales suficientes o se necesita proyectar condiciones futuras, pero su exactitud puede variar según la complejidad del modelo y la cantidad de información inicial disponible.

Para realizar simulaciones energéticas confiables, se analizaron diferentes fuentes de datos climatológicos, cada una con características particulares que aportan ventajas y limitaciones:

- **Meteonorm:** Es un software que genera archivos climáticos a partir de la combinación de datos observados y simulaciones estadísticas. Esto lo convierte en una opción válida cuando no se dispone de datos meteorológicos suficientes en una ubicación específica. Aunque proporciona una cobertura geográfica amplia, la dependencia de interpolaciones introduce incertidumbres en las simulaciones energéticas.
- **EnergyPlus:** Este software utiliza archivos climáticos en formato EPW que son ampliamente aceptados para simulaciones energéticas. Los archivos de EnergyPlus están diseñados para modelar el comportamiento térmico y energético de los edificios bajo distintas condiciones climáticas, facilitando el análisis de carga térmica, eficiencia de HVAC, entre otros.
- **Climate.OneBuilding:** Proporciona archivos climáticos validados por estaciones meteorológicas certificadas por la Organización Meteorológica Mundial (WMO). Estos archivos incluyen datos detallados y precisos sobre la radiación solar, temperatura y otras variables esenciales. Además, cuentan con una trazabilidad completa, lo que garantiza que la información utilizada es de alta calidad y permite realizar simulaciones con un nivel de exactitud superior.
- **Certificación Edificio Sustentable (CES):** En el contexto de la Certificación Edificio Sustentable, los archivos climáticos desempeñan un papel crucial para evaluar el rendimiento energético y el confort térmico de los edificios. Los archivos climáticos CES, utilizados en este estudio, están diseñados específicamente para cumplir con los requisitos de esta certificación. Sin embargo, presentan limitaciones en términos de trazabilidad y disponibilidad de información completa, especialmente en lo que respecta a variables críticas como la radiación solar y la temperatura exterior. En algunos casos, estos archivos carecen de los detalles necesarios para simulaciones energéticas exhaustivas, lo que reduce su aplicabilidad en proyectos de alta precisión.

Se opta por realizar una comparativa entre los archivos climáticos ofrecidos por CES y Climate.OneBuilding, dada la cantidad de archivos climáticos existentes y que para ambos casos los archivos son de acceso libre. La comparación entre los archivos climáticos de CES y Climate.OneBuilding es necesaria para determinar cuál de ellos es más adecuado para las simulaciones energéticas. Climate.OneBuilding se destaca por su calidad, trazabilidad y cobertura, mientras que CES presenta deficiencias importantes en estos aspectos. Asimismo, EnergyPlus y Meteonorm se descartan debido a su limitada cobertura geográfica y la incertidumbre en sus datos interpolados, respectivamente.

En la Tabla 6-9 se observa una comparación de los dos repositorios para cada ciudad de referencia y zona que debe ser estudiada. En la tabla se observa que, de las 16 ciudades, para 14 ciudades existe un archivo de Climate.OneBuilding, pero en el caso de los archivos que ofrece CES faltan 6 ciudades. En cuanto a la data utilizada para generar los archivos Climate.Onebuilding utiliza los datos de estaciones identificadas por su código WOM e identificando los años utilizados, para el caso de la radiación se utiliza el modelo ERA5. En el caso de los archivos CES, los datos utilizados provienen de estaciones, pero sin identificar desde que estación, lo mismo ocurre con los años que no son indicados. Para el caso de la radiación fueron utilizados generados por el explorador solar y otras variables meteorológicas desde Meteonorm.

Se recomienda la utilización de los 14 archivos de Climate.OneBuilding para este estudio, ya que son archivos que han sido validados metodológicamente y existen archivos para todas las localidades a estudiar, la mayoría de las cuales corresponden a un período reciente (2007-2021).

Tabla 6-9: Comparación de fuentes y archivos climáticos para zonas de estudio

Zona	Ciudad / Referencia	Clasificación Köppen-Geiger	Coordenadas	Archivo clima CES	DATA CES	Archivo Clima Climate OneBuilding	DATA Climate.OneBuilding	Código Estación WMO utilizada en Climate.OneBuilding
NL	Antofagasta	BWk - Árido templado-frío	-23,45030; 70,44110	Si	Estaciones - Meteonorm - Explorador Solar	Si	Estaciones (2007 - 2021) - ERA5	854420
ND	Calama	BWk - Árido templado-frío	-22,49528; - 68,90445	Si	Estaciones - Meteonorm - Explorador Solar	Si	Estaciones (2007 - 2021) - ERA5	854320
NVT	Copiapó	BWk - Árido templado-frío	-27,29600; - 70,41400	No	Estaciones - Meteonorm - Explorador Solar	Si	Estaciones (1963 - 2009) - ERA5	854320
CL	Valparaíso	Csb - Mediterráneo oceánico	-33,03300; - 71,63300	No	Estaciones - Meteonorm - Explorador Solar	Si	Estaciones (2007 - 2021) - ERA5	855580
CI	Santiago	Bsk - Semiárido templado frío	-33,39240; - 70,79430	Si	Estaciones - Meteonorm - Explorador Solar	Si	Estaciones (2007 - 2021) - ERA5	855740
SL (1)	Concepción	Csb - Mediterráneo oceánico	-36,77830; - 73,06250	Si	Estaciones - Meteonorm - Explorador Solar	Si	Estaciones (2007 - 2021) - ERA5	856820
SL (2)	Puerto Montt	Cfb - Clima oceánico	-41,43500; - 73,09780	Si	Estaciones - Meteonorm - Explorador Solar	Si	Estaciones (2007 - 2021) - ERA5	857990
SI	Temuco	Csb - Mediterráneo oceánico	-38,76800; - 72,63200	Si	Estaciones - Meteonorm - Explorador Solar	Si	Estaciones (2007 - 2021) - ERA5	857430
SE (1)	Coyhaique	Cfb - Clima oceánico	-45,59400; - 72,10600	Si	Estaciones - Meteonorm - Explorador Solar	Si	Estaciones (2007 - 2021) - ERA5	858640
SE (2)	Punta Arenas	ET - Clima de tundra	-53,15000; - 70,90000	Si	Estaciones - Meteonorm - Explorador Solar	Si	Estaciones (2007 - 2021) - ERA5	859350
AN (1)	San Pedro Atacama	BWk - Árido templado-frío	-	No	Estaciones - Meteonorm - Explorador Solar	No	-	-
AN (2)	Los Libertadores	ET - Clima de tundra	-32,83300; - 70,08300	Si	Estaciones - Meteonorm - Explorador Solar	Si	Estaciones (2007 - 2021) - ERA5	855410
AN (3)	Termas Chillán	Csc - Mediterráneo subalpino Dsc - Clima subpolar	-	Si	Estaciones - Meteonorm - Explorador Solar	No	-	-
R. Crusoe	San Juan Bautista	Csb - Mediterráneo oceánico	-33,63300; - 78,83300	No	Estaciones - Meteonorm - Explorador Solar	Si	Estaciones (2007 - 2021) - ERA5	855850
Rapa Nui	Mataverí	AF - Ecuatorial lluvioso	-27,16060; - 109,4272	No	Estaciones - Meteonorm - Explorador Solar	Si	Estaciones (2007 - 2021) - ERA5	854690
Antártica	Base Frei	EF - Clima gélido ET - Clima de tundra	-62,20000; - 58,96417	No	Estaciones - Meteonorm - Explorador Solar	Si	Estaciones (1973 - 1985) - ERA5	856290

Fuente: Elaboración propia en base a CES y Climate.OneBuilding

Para el caso de San Pedro de Atacama y Termas de Chillán que no cuentan con archivos de clima en ninguno de los repositorios se generarán nuevos archivos de clima para cada una de las ciudades. Para la ciudad de San Pedro de Atacama se propone utilizar la estación ubicada en latitud: -22.93, longitud: -68.21, elevación: 2.416 metros propiedad del INIA que cuenta con mediciones desde el año 2013 por lo que posee datos suficientes para utilizar la metodología expuesta en la norma ISO 15927-4. Para el caso de Termas de Chillán se propone utilizar el archivo de clima de CES que utiliza datos de la estación Termas de Chillán (código WMO 85671) que posee datos desde el año 2013 por lo que también cumple con lo solicitado en la norma ISO 15927-4.

### 6.2.3 Datos de entrada, niveles y modelos de simulación

Se aborda el desarrollo de un estudio energético enfocado en proyectos de infraestructura aeroportuaria sustentable, centrándose en la evaluación de diferentes estrategias pasivas y activas para mejorar el desempeño energético y el confort térmico en terminales de pasajeros y refugios de aeródromos.

En primer lugar, se describen los archivos y zonas climáticas utilizadas como base para las simulaciones energéticas. Los datos climáticos empleados fueron obtenidos de fuentes validadas, utilizando el formato EPW (EnergyPlus Weather), que proporciona información detallada sobre las condiciones meteorológicas de diferentes regiones a lo largo de un año típico. Estas condiciones incluyen temperatura, humedad, velocidad del viento y radiación solar, entre otros factores. En total, se seleccionaron 16 zonas climáticas de Chile para el análisis, representando desde climas áridos hasta climas oceánicos y de tundra, con ciudades de referencia como Antofagasta, Santiago, Concepción, Puerto Montt y Punta Arenas. La Tabla 6-10 detalla las zonas climáticas, las coordenadas geográficas y la clasificación climática según Köppen-Geiger.

Tabla 6-10: Archivos climáticos para zonas de estudio

Zona	Ciudad / Referencia	Clasificación Köppen-Geiger	Coordenadas	Fuente de archivo de clima	Código Estación utilizada en archivo de clima
NL	Antofagasta	BWk - Árido templado-frío	-23,45030; 70,44110	Climate.OneBuilding	WMO 854420
ND	Calama	BWk - Árido templado-frío	-22,49528; - 68,90445	Climate.OneBuilding	WMO 854320
NVT	Copiapó	BWk - Árido templado-frío	-27,29600; - 70,41400	Climate.OneBuilding	WMO 854320
CL	Valparaíso	Csb - Mediterráneo oceánico	-33,03300; - 71,63300	Climate.OneBuilding	WMO 855580
CI	Santiago	Bsk - Semiárido templado frío	-33,39240; - 70,79430	Climate.OneBuilding	WMO 855740
SL (1)	Concepción	Csb - Mediterráneo oceánico	-36,77830; - 73,06250	Climate.OneBuilding	WMO 856820
SL (2)	Puerto Montt	Cfb - Clima oceánico	-41,43500; - 73,09780	Climate.OneBuilding	WMO 857990
SI	Temuco	Csb - Mediterráneo oceánico	-38,76800; - 72,63200	Climate.OneBuilding	WMO 857430
SE (1)	Coyhaique	Cfb - Clima oceánico	-45,59400; - 72,10600	Climate.OneBuilding	WMO 858640
SE (2)	Punta Arenas	ET - Clima de tundra	-53,15000; - 70,90000	Climate.OneBuilding	WMO 859350
AN (1)	San Pedro Atacama	BWk - Árido templado-frío	-22,932221; - 68,213333	Elaboración propia en base a ISO 15927-4	Nacional 220024
AN (2)	Los Libertadores	ET - Clima de tundra	-32,83300; - 70,08300	Climate.OneBuilding	WMO 855410
AN (3)	Termas Chillán	Csc - Mediterráneo subalpino Dsc - Clima subpolar	-36,903611; - 71,410000	CES	WMO 85671-
R. Crusoe	San Juan Bautista	Csb - Mediterráneo oceánico	-33,63300; - 78,83300	Climate.OneBuilding	WMO 855850
Rapa Nui	Mataverí	AF - Ecuatorial lluvioso	-27,16060; - 109,4272	Climate.OneBuilding	WMO 854690
Antártica	Base Frei	EF - Clima gélido ET - Clima de tundra	-62,20000; - 58,96417	Climate.OneBuilding	WMO 856290

Fuente: Elaboración propia

El estudio empleó cuatro modelos de simulación energética para evaluar el comportamiento de los edificios bajo diferentes configuraciones de sistemas pasivos y activos:

- **Modelo 1:** Representa el edificio proyectado con todos los sistemas activos y pasivos, es decir, incluye las medidas de eficiencia energética propuestas para la infraestructura.

- **Modelo 2:** Utiliza los mismos sistemas activos que el Modelo 1, pero con una envolvente referencial, es decir, una configuración base sin mejoras adicionales.
- **Modelo 3:** Mantiene la envolvente térmica del Modelo 1, pero los sistemas activos son referenciales, lo que implica que los sistemas de climatización y otros equipos no están optimizados.
- **Modelo 4:** Este es un modelo completamente referencial, tanto en términos de envolvente como de sistemas activos y pasivos.

Estos modelos se utilizaron para evaluar tanto la demanda energética como el consumo energético de los edificios en diferentes climas y condiciones. Además, se desarrollaron versiones pasivas de los modelos 1 y 2 para medir el confort térmico sin el uso de sistemas de climatización, lo que proporciona información valiosa sobre el comportamiento natural de los edificios bajo diversas condiciones climáticas.

Para evaluar el desempeño energético bajo diferentes condiciones, tanto de envolvente térmica y sistemas constructivos, es que se definen niveles. Este término se refiere a las diferentes configuraciones que se evalúan para cada modelo simulado, ya sean cambios en la envolvente, el porcentaje de vanos, densidad de potencia de los equipos de iluminación y el rendimiento energético de los equipos de climatización. Por otro lado, también se considera la rotación del edificio en las simulaciones, evaluando cuando este se encuentra orientado a 0°, 90°, 180° y 270° respecto al norte, para analizar su comportamiento energético en conjunto con los diferentes niveles.

Los materiales utilizados para la envolvente de los modelos poseen un valor específico de transmitancia térmica (valor U), el cual refleja la cantidad de calor que atraviesa un material, siendo un indicador clave para el aislamiento térmico. En el punto 3.2 del Anexo 2 se presentan las diversas combinaciones de materiales y sus valores de transmitancia térmica. Este enfoque de parametrización permitió crear un conjunto de niveles que van desde envolventes con alto aislamiento térmico hasta envolventes menos eficientes, proporcionando una base sólida para comparar el desempeño de los modelos bajo diferentes condiciones constructivas.

A continuación, se presenta la envolvente correspondiente a cada nivel, con variaciones en función de la combinación de sus elementos constructivos. Esto significa que cada nivel tiene una envolvente única, configurada según sus componentes específicos. La parametrización de la envolvente del modelo 1 se basa en los elementos mostrados en la Tabla 6-11, derivados de los componentes previamente descritos.

Tabla 6-11: Valor de transmitancia térmica en W/m<sup>2</sup>K y propiedades de cristal para cada nivel de envolvente

Zona	Ubicación	Nivel	Muro	Cubierta	Piso ventilado	Piso contra terreno	Ventana	TL	SGHC
NL	Antofagasta	1	0,115	1,159	0,295	1,38	2,8	0,59	0,58
NL	Antofagasta	2	0,115	0,825	1,34	3,85	2,8	0,81	0,76
NL	Antofagasta	3	0,24	1,021	1,277	3,85	1,9	0,57	0,44
NL	Antofagasta	4	0,692	0,825	1,277	1,38	5,7	0,87	0,87
NL	Antofagasta	5	1,068	0,554	0,084	3,85	2,8	0,46	0,46
ND	Calama	1	0,115	0,253	0,295	1,38	2,8	0,46	0,46
ND	Calama	2	0,115	0,253	0,084	3,85	2,8	0,46	0,46
ND	Calama	3	0,24	0,467	0,455	3,85	2,8	0,33	0,34
ND	Calama	4	0,504	0,253	0,455	1,38	1,9	0,57	0,44
ND	Calama	5	0,504	0,16	0,084	3,85	1,9	0,57	0,44
NVT	Copiapó	1	0,275	0,16	0,084	1,38	3,1	0,82	0,79
NVT	Copiapó	2	0,396	0,195	0,295	3,85	2,8	0,33	0,34
NVT	Copiapó	3	0,404	0,195	0,455	3,85	2,8	0,82	0,79
NVT	Copiapó	4	0,504	0,692	0,455	1,38	1,8	0,37	0,28
NVT	Copiapó	5	0,816	0,253	0,663	3,85	2,8	0,33	0,34
CL	Valparaíso	1	0,115	0,554	0,084	1,38	1,9	0,47	0,36
CL	Valparaíso	2	0,157	0,253	0,084	3,85	3,6	0,79	0,77
CL	Valparaíso	3	0,157	0,16	0,663	3,85	2,8	0,46	0,46

Zona	Ubicación	Nivel	Muro	Cubierta	Piso ventilado	Piso contra terreno	Ventana	TL	SGHC
CL	Valparaíso	4	0,396	0,692	0,663	1,38	2,8	0,33	0,34
CL	Valparaíso	5	0,504	0,253	0,084	3,85	1,9	0,57	0,44
CI	Santiago	1	0,115	0,467	0,663	1,38	1,8	0,37	0,28
CI	Santiago	2	0,115	0,467	0,295	3,85	1,8	0,37	0,28
CI	Santiago	3	0,115	0,467	0,295	3,85	1,9	0,47	0,36
CI	Santiago	4	0,271	0,158	0,295	1,38	1,8	0,37	0,28
CI	Santiago	5	0,535	0,334	0,084	3,85	3,6	0,79	0,77
SL (1)	Concepción	1	0,115	0,195	0,663	1,38	2,8	0,82	0,79
SL (1)	Concepción	2	0,24	0,384	0,084	3,85	2,8	0,81	0,76
SL (1)	Concepción	3	0,396	0,16	0,295	3,85	2,8	0,46	0,46
SL (1)	Concepción	4	0,535	0,253	0,295	1,38	2,8	0,82	0,79
SL (1)	Concepción	5	0,692	0,384	0,663	3,85	1,8	0,37	0,28
SI	Temuco	1	0,115	0,16	0,344	1,38	1,9	0,47	0,36
SI	Temuco	2	0,275	0,16	0,084	3,85	2,8	0,46	0,46
SI	Temuco	3	0,396	0,16	0,295	3,85	2,8	0,33	0,34
SI	Temuco	4	0,404	0,554	0,084	1,38	1,9	0,57	0,44
SI	Temuco	5	0,535	0,16	0,455	3,85	2,8	0,33	0,34
SL (2)	Puerto Montt	1	0,157	0,692	0,084	1,38	2,8	0,82	0,79
SL (2)	Puerto Montt	2	0,396	0,554	0,663	3,85	1,9	0,57	0,44
SL (2)	Puerto Montt	3	0,396	0,554	0,084	3,85	1,9	0,47	0,36
SL (2)	Puerto Montt	4	0,661	0,384	0,663	1,38	2,8	0,59	0,58
SL (2)	Puerto Montt	5	0,692	0,384	0,344	3,85	2,8	0,82	0,79
SE (1)	Coyhaique	1	0,115	0,158	0,084	1,38	2,8	0,81	0,76
SE (1)	Coyhaique	2	0,115	0,158	0,084	3,85	2,8	0,46	0,46
SE (1)	Coyhaique	3	0,24	0,253	0,295	3,85	1,9	0,57	0,44
SE (1)	Coyhaique	4	0,271	0,195	0,084	1,38	1,8	0,37	0,28
SE (1)	Coyhaique	5	0,404	0,16	0,295	3,85	2,8	0,33	0,34
SE (2)	Punta Arenas	1	0,115	0,195	0,084	1,38	2,8	0,81	0,76
SE (2)	Punta Arenas	2	0,24	0,158	0,084	3,85	1,9	0,57	0,44
SE (2)	Punta Arenas	3	0,396	0,158	0,084	3,85	2,8	0,81	0,76
SE (2)	Punta Arenas	4	0,396	0,16	0,295	1,38	1,8	0,37	0,28
SE (2)	Punta Arenas	5	0,396	0,253	0,295	3,85	1,9	0,57	0,44
An (2)	Los Libertadores	1	0,157	0,158	0,344	1,38	2,8	0,59	0,58
An (2)	Los Libertadores	2	0,24	0,334	0,295	3,85	1,9	0,47	0,36
An (2)	Los Libertadores	3	0,275	0,158	0,455	3,85	2,8	0,46	0,46
An (2)	Los Libertadores	4	0,396	0,253	0,084	1,38	2,8	0,81	0,76
An (2)	Los Libertadores	5	0,396	0,334	0,084	3,85	1,9	0,57	0,44
Rapa Nui	Rapa Nui	1	0,115	0,467	0,344	1,38	1,9	0,57	0,44
Rapa Nui	Rapa Nui	2	0,157	0,825	0,084	3,85	2,8	0,59	0,58
Rapa Nui	Rapa Nui	3	0,24	0,467	0,455	3,85	1,9	0,57	0,44
Rapa Nui	Rapa Nui	4	0,95	0,16	0,295	1,38	1,8	0,37	0,28
Rapa Nui	Rapa Nui	5	2,032	1,021	0,084	3,85	2,8	0,82	0,79
Antártica	Antártica	1	0,115	0,16	0,295	3,85	2,8	0,59	0,58
Antártica	Antártica	2	0,157	0,195	0,084	1,38	1,9	0,57	0,44
Antártica	Antártica	3	0,157	0,253	0,295	1,38	2,8	0,59	0,58
Antártica	Antártica	4	0,24	0,158	0,084	1,38	3	0,79	0,77
Antártica	Antártica	5	0,271	0,158	0,084	1,38	3	0,79	0,77
R. Crusoe	Robinson Crusoe	1	0,115	0,825	0,084	1,38	3	0,79	0,77
R. Crusoe	Robinson Crusoe	2	0,157	0,825	0,295	3,85	1,9	0,47	0,36
R. Crusoe	Robinson Crusoe	3	0,396	0,16	0,084	3,85	3,1	0,82	0,79
R. Crusoe	Robinson Crusoe	4	0,504	0,253	0,455	1,38	3	0,79	0,77
R. Crusoe	Robinson Crusoe	5	0,692	0,334	0,663	3,85	2,8	0,46	0,46
An (1)	San Pedro	1	0,115	0,334	0,344	1,38	1,9	0,47	0,36
An (1)	San Pedro	2	0,115	0,384	0,455	3,85	2,8	0,59	0,58

Zona	Ubicación	Nivel	Muro	Cubierta	Piso ventilado	Piso contra terreno	Ventana	TL	SGHC
An (1)	San Pedro	3	0,157	0,195	0,084	3,85	1,9	0,57	0,44
An (1)	San Pedro	4	0,275	0,158	0,084	1,38	2,8	0,82	0,79
An (1)	San Pedro	5	0,275	0,384	0,295	3,85	3	0,79	0,77
An (3)	Termas de Chillan	1	0,115	0,16	0,084	1,38	1,9	0,47	0,36
An (3)	Termas de Chillan	2	0,115	0,334	0,455	3,85	1,8	0,37	0,28
An (3)	Termas de Chillan	3	0,115	0,384	0,084	3,85	2,8	0,33	0,34
An (3)	Termas de Chillan	4	0,157	0,334	0,295	1,38	1,8	0,37	0,28
An (3)	Termas de Chillan	5	0,157	0,16	0,344	3,85	2,8	0,82	0,79
An (2)	Los Libertadores	6	0,083	0,083	0,084	3,85	1,8	0,37	0,28
Antártica	Antártica	6	0,083	0,083	0,084	3,85	1,8	0,37	0,28

Fuente: Elaboración propia

Para el caso del modelo referencial se utilizan los valores de transmitancia térmica por zona climática indicada en la Tabla 6-12, dichos valores corresponden a los valores referenciales del Manual CES v1.1

Tabla 6-12: Valores de transmitancia térmica en W/m<sup>2</sup>K para envolvente referencial

Clima	Muro	Cubierta	Piso ventilado	Piso Contra terreno	Ventana	TL	SGHC
NL, Rapa Nui	2,50	1,35	1,35	3,85	5,70	0,87	0,87
ND	0,60	0,80	0,80	3,85	3,60	0,79	0,77
NVT	1,00	0,90	0,90	3,85	3,60	0,79	0,77
CL, R.Crusoe	1,00	0,90	0,90	3,85	3,60	0,79	0,77
CI	0,75	0,80	0,80	3,85	3,60	0,79	0,77
SL (1) y (2)	0,75	0,70	0,70	3,85	3,00	0,79	0,77
SI	0,60	0,60	0,60	3,85	3,00	0,79	0,77
SE (1), (2), Antártica	0,50	0,30	0,30	3,85	3,00	0,79	0,77
An (1), (2) y (3)	0,40	0,50	0,50	3,85	3,00	0,79	0,77

Fuente: Elaboración propia en base a Manual CES v1.1

## 6.2.4 Resultados y análisis de simulaciones

Para realizar las simulaciones se han considerado dos casos de estudio, siendo el primero uno de gran escala y otro de pequeña escala. Como datos de entrada para la ejecución de las simulaciones (realizadas en software DesignBuilder) de consumo y demanda energética, se incluyen las tasas y horarios de ocupación, cargas internas de personas, iluminación y equipos, así como tasas de ventilación y temperaturas de consigna. Específicamente, las temperaturas de consigna se han establecido en 20°C para calefacción y 24°C para refrigeración, lo que permite evaluar el desempeño energético bajo condiciones estandarizadas. Lo mismo ocurre con la ventilación, la cual fue programada según los horarios y porcentajes de ocupación de cada recinto utilizando las tasas de ventilación tanto por ocupantes como superficies propuestas en la Tabla 6-6.

Se ha considerado una infiltración de 0,5 renovaciones por hora en condiciones normales. Para ambos casos estudiados, los datos de entrada para los modelos 1, 2 y 3 se detallan en el punto 3.3 del Anexo 1. El modelo 4, aunque similar al modelo 3, incorpora una mejora del 25% en la eficiencia de las cargas de iluminación.

Para realizar el cálculo del confort térmico pasivo el Manual 1.1 CES establece dos opciones:

1. Cálculo Dinámico – Temperatura del aire: Busca disminuir el tiempo (horas) en que la temperatura interior del aire de todos los recintos regularmente ocupados se encuentra fuera del rango de confort de manera pasiva, comparado con un edificio de referencia, en términos porcentuales. Para determinar el rango de confort se deberá considerar el método de confort adaptativo Szokolay (2004).

2. Cálculo Dinámico – Temperatura operativa y HR: Busca disminuir las horas en que la combinación de humedad relativa y temperatura operativa están fuera del rango de confort según el estándar ASHRAE 55-2004 o ISO 7730, comparado a un edificio de referencia, en términos porcentuales, utilizando un software especializado.

Para este caso, por ser edificios con uso de 24 horas y alta carga ocupacional se utilizará el estándar ASHRAE: El Estándar ASHRAE 55 tiene como objetivo establecer las condiciones térmicas aceptables para los ocupantes de los edificios, de acuerdo con un conjunto de factores asociados al ambiente interior (temperatura, radiación térmica, humedad y velocidad del aire), así como a los propios ocupantes (nivel de actividad y vestimenta).

La ASHRAE con su modelo adaptativo permite determinar las condiciones térmicas aceptables en espacios con control natural por parte de los ocupantes que cumplan con los siguientes criterios:

- No hay un sistema de enfriamiento mecánico o sistema de calefacción en funcionamiento.
- Los ocupantes representativos tienen tasas metabólicas que van de 1,0 a 1,5 met.
- Los ocupantes son libres de adaptar su vestimenta a las condiciones térmicas.

Las horas de disconfort que tiene el establecimiento se determinan a partir de los límites de aceptabilidad del 80% tal como lo indica el estándar.

#### 6.2.4.1 CASO GRAN ESCALA

##### 6.2.4.1.1 RESULTADOS DE SIMULACIÓN

#### **Demanda Energética**

Para el Modelo 1, los resultados de refrigeración se tienen que las localidades asociadas a climas más fríos (cómo Los Libertadores y desde Coyhaique hacia el sur) poseen una menor demanda, en contraste de aquellas con climas más cálidos (cómo San Pedro, Calama, Antofagasta, Rapa Nui y Copiapó). Para todos los resultados se tiene que cuándo el edificio se encuentra orientado en 90° y 270° se obtiene la menor demanda en refrigeración, debido a que mayoría de sus ventanas no se encuentran orientadas hacia el oriente y poniente.

En los resultados de calefacción se observa como las localidades asociadas a clima más fríos (como Los Libertadores y desde Coyhaique hacia el sur, a excepción de Puerto Montt) poseen una mayor demanda, en contraste de aquellas con climas más cálidos (cómo San Pedro, Calama, Antofagasta, Rapa Nui y Copiapó).

En los resultados de demanda de climatización se observa como las localidades asociadas a climas extremos poseen una mayor demanda. En los resultados se puede observar que cuándo el edificio se encuentra orientado en 90° y 270° se obtiene la menor demanda.

Para el Modelo 2, los resultados de refrigeración se observan como las localidades asociadas a climas más fríos (cómo Los Libertadores y desde Coyhaique hacia el sur) poseen una menor demanda, en contraste de aquellas con climas más cálidos (cómo San Pedro, Calama, Antofagasta, Rapa Nui y Copiapó). Para todos los resultados se puede observar que cuándo el edificio se encuentra orientado en 0° y 180° se obtiene la menor demanda en refrigeración, debido a que mayoría de sus ventanas se encuentran orientadas hacia el oriente y poniente.

En los resultados de calefacción se puede observar como las localidades asociadas a clima más fríos (cómo Los Libertadores y desde Coyhaique hacia el sur, a excepción de Puerto Montt) poseen una mayor demanda, en contraste de aquellas con climas más cálidos (cómo San Pedro, Calama, Antofagasta, Rapa Nui y Copiapó).

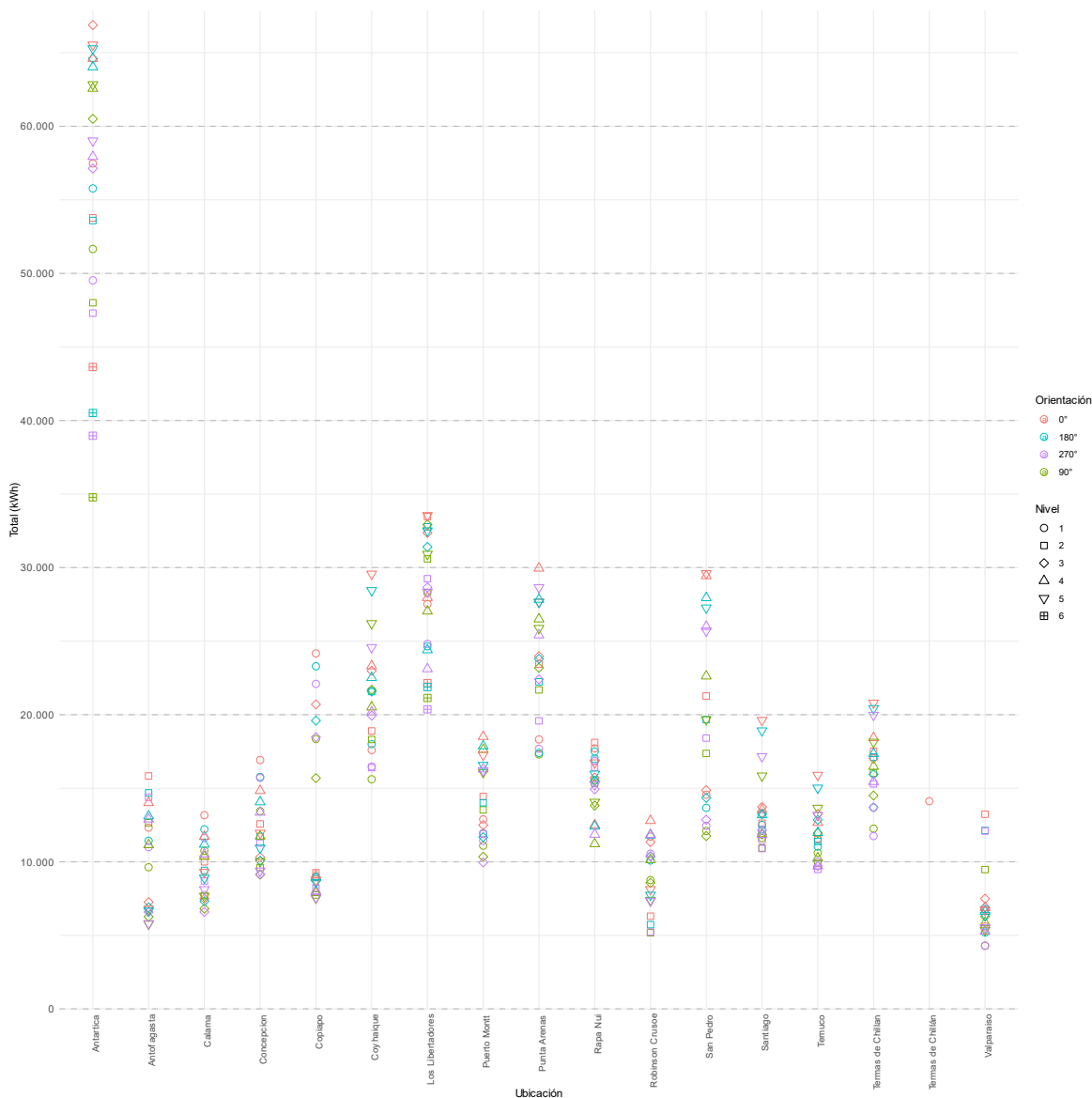
En los resultados de demanda de climatización se observa como las localidades asociadas a climas extremos poseen una mayor demanda. En los resultados se puede observar que cuándo el edificio se encuentra orientado en 90° se obtiene la menor demanda en refrigeración.

En el Modelo 4, los resultados de refrigeración de las localidades asociadas a climas más fríos (cómo Los Libertadores y desde Coyhaique hacia el sur) poseen una menor demanda, en contraste de aquellas con climas más cálidos (cómo San Pedro, Calama, Antofagasta, Rapa Nui y Copiapó). Para todos los resultados se puede observar que cuándo el edificio se encuentra orientado en 90° y 270° se obtiene la menor demanda en refrigeración, debido a que mayoría de sus ventanas no se encuentran orientadas hacia el oriente y poniente.

En los resultados de calefacción las localidades asociadas a clima más fríos (cómo Los Libertadores y desde Coyhaique hacia el sur, a excepción de Puerto Montt) poseen una mayor demanda, en contraste de aquellas con climas más cálidos (cómo San Pedro, Calama, Antofagasta, Rapa Nui y Copiapó).

En los resultados de demanda de climatización (Figura 6-4) se observa como las localidades asociadas a climas extremos poseen una mayor demanda. Se observa que cuándo el edificio se encuentra orientado en 0° y 180° se obtiene la mayor demanda.

Figura 6-4: Gráfico de resultados demanda Modelo 1 en climatización en kWh



Fuente: Elaboración propia

El detalle de los resultados se puede observar en el punto 3.5 del Anexo 1.

### Consumo Energético

En el Modelo 1, Los resultados indican que zonas más cálidas tienen un mayor consumo en refrigeración, más frías en calefacción y aquellas más templada un consumo similar de climatización. El consumo en iluminación es igual para todas las zonas ya que depende del horario de ocupación y los sistemas instalados, que para este caso son iguales para todas las zonas.

En el Modelo 3, Al igual que en el modelo 1, los resultados indican que zonas más cálidas tienen un mayor consumo en refrigeración, más frías en calefacción y aquellas más templadas un consumo similar de climatización. El consumo energético se va reduciendo mientras mejora tanto la eficiencia de los sistemas de climatización, cómo los de iluminación, por lo que la relación de menor consumo a mejor eficiencia de equipos es directa.

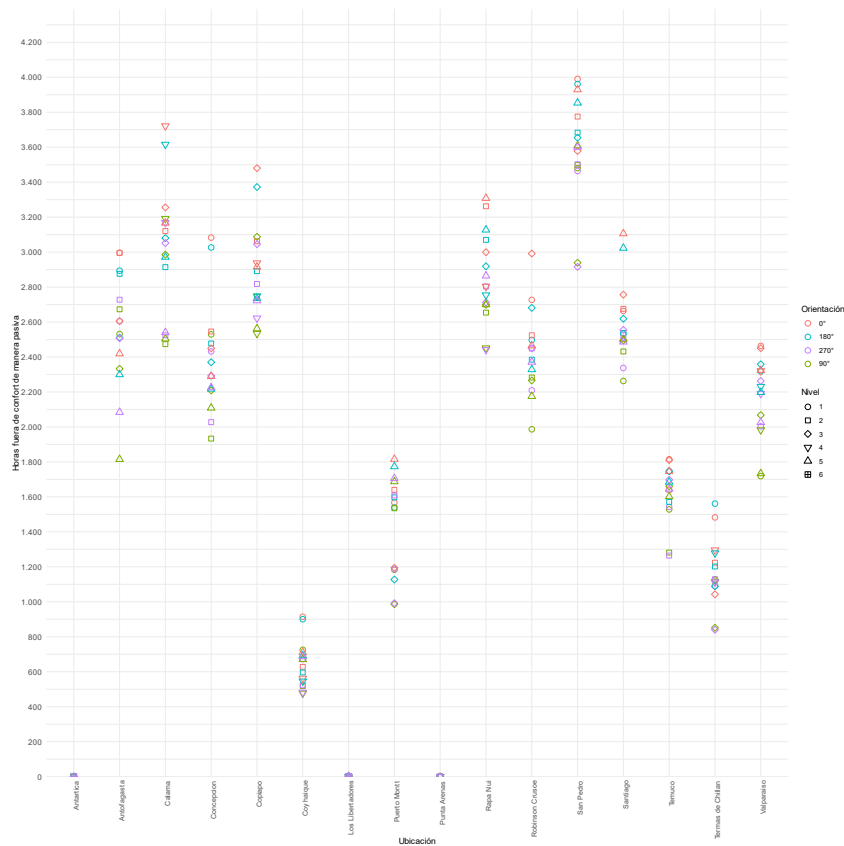
Para el Modelo 4, los resultados de consumo energético indican que zonas más cálidas tienen un mayor consumo en refrigeración, más frías en calefacción y aquellas más templadas un consumo similar de climatización. El consumo en iluminación es igual para todas las zonas ya que depende del horario de ocupación y los sistemas instalados, que para este caso son iguales para todas las zonas.

El detalle de los resultados se puede observar en el punto 3.6 del Anexo 1.

### Horas fuera del rango de confort térmico

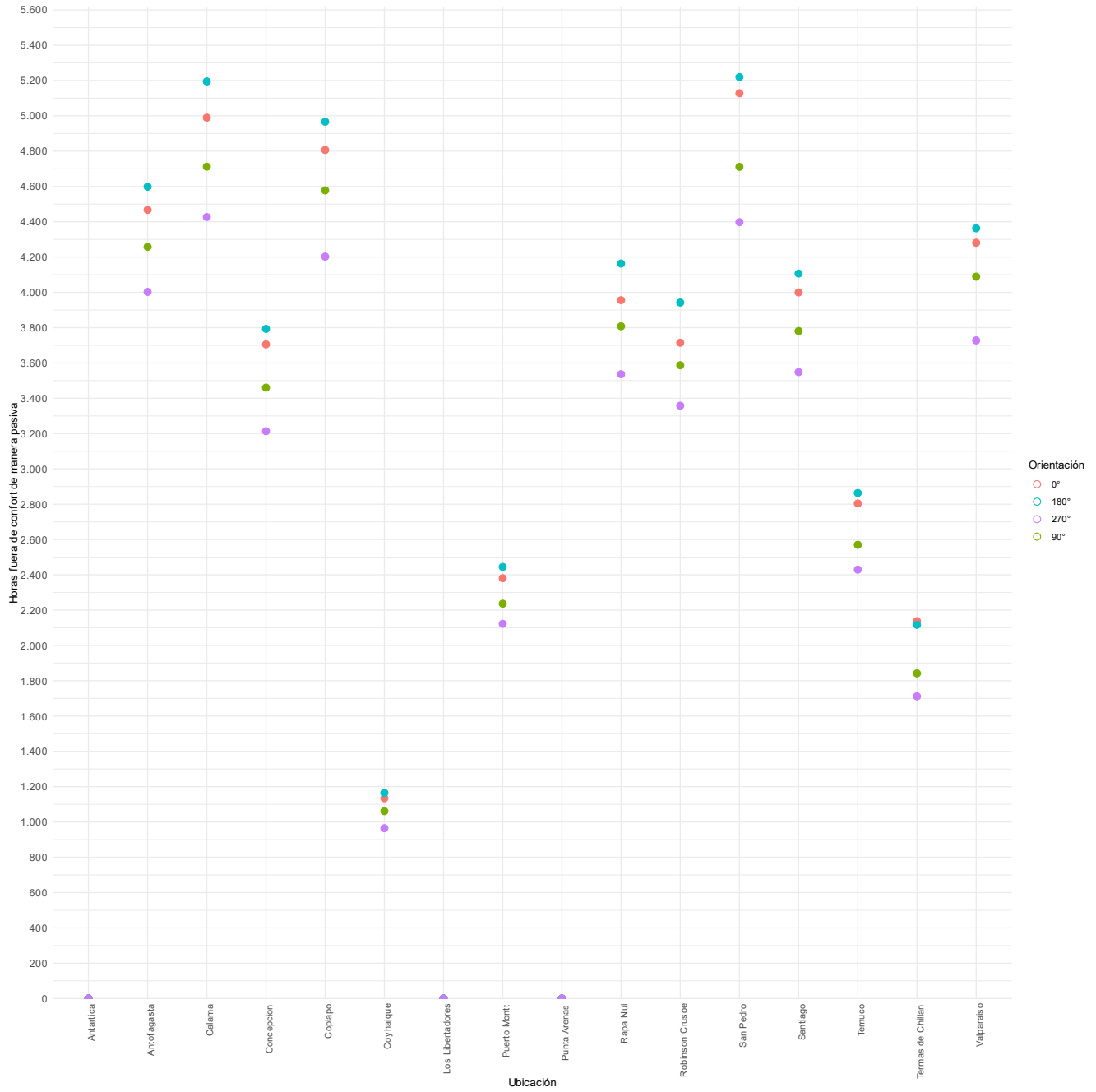
Los resultados para el Modelo 1 y Modelo 2 se presentan se manera gráfica en la Figura 6-5 y Figura 6-6 respectivamente.

Figura 6-5: Gráfico de resultados de disminución de horas de desconfort por nivel y orientación para M1



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-6: Gráfico de resultados de disminución de horas de discomfort por nivel y orientación para M2



Fuente: Elaboración propia

6.2.4.1.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

**Disminución de demanda energética**

Para calcular la reducción de demanda energética, la demanda obtenida en cada nivel debe ser comparada frente a un caso referencial, para esta etapa se utilizaron 4 niveles de edificio referencial en cuanto elementos pasivos (M2) y un nivel respecto a niveles pasivos y activos (M4). En la Tabla 6-13 se observan los resultados de demanda energética promedios de las cuatro orientaciones para cada nivel y ubicación, es sobre estos valores que se calcula la reducción de demanda obtenida.

Tabla 6-13: Resultados promedio de demanda energética en climatización para M2 en distintos niveles y M4

Ubicación	M2 Nivel 1	M2 Nivel 2	M2 Nivel 3	M2 Nivel 4	M4
Antártica	2.507.983	2.500.552	2.488.146	2.477.933	2.398.567
Antofagasta	1.017.323	995.050	1.192.779	1.320.644	1.145.249
Calama	1.055.005	1.008.862	1.232.798	1.372.695	1.165.352
Concepción	872.453	798.892	943.871	1.042.337	862.491
Copiapó	1.128.552	1.101.860	1.319.735	1.456.270	1.258.864
Coyhaique	1.179.948	1.094.481	1.153.046	1.196.341	997.531
Los Libertadores	1.474.223	1.267.134	1.309.958	1.353.766	1.199.545
Puerto Montt	892.199	813.326	889.150	944.381	791.661
Punta Arenas	1.243.029	1.157.554	1.183.080	1.201.680	996.123
Rapa Nui	1.399.981	1.418.080	1.581.874	1.682.528	1.592.436
Robinson Crusoe	729.224	676.933	803.051	890.124	783.953
San Pedro	1.346.970	1.335.642	1.564.387	1.697.799	1.501.492
Santiago	1.243.235	1.203.570	1.361.831	1.459.901	1.296.164
Temuco	956.127	890.594	1.005.076	1.081.781	914.213
Termas de Chillan	1.124.577	1.044.430	1.167.315	1.246.876	1.039.677
Valparaíso	801.758	732.772	892.928	1.002.651	836.257

Fuente: Elaboración propia

La reducción de demanda porcentual obtenida por las distintas envolventes térmicas frente a los distintos modelos referenciales se puede observar desde la Tabla 6-14 a la Tabla 6-18.

En los resultados se puede apreciar como las envolventes de nivel 5 del modelo objeto (M1) para la mayoría de las ubicaciones entrega las reducciones de demanda más alta sobre todos los niveles del modelo referencial (M2).

Tabla 6-14: Reducción de demanda energética frente a M2 en nivel 1

Orientación	Nivel	Antártica	Antofagasta	Calama	Concepción	Copiapó	Coyhaique	Los Libertadores	Puerto Montt	Punta Arenas	Rapa Nui	Robinson Crusoe	San Pedro	Santiago	Temuco	Termas de Chillan	Valparaíso
0°	1	8,5%	17,4%	19,1%	7,0%	6,1%	14,4%	5,8%	18,3%	13,4%	-0,6%	9,8%	23,3%	28,5%	29,9%	32,9%	36,8%
0°	2	7,0%	26,5%	38,9%	25,5%	40,5%	20,7%	5,4%	19,0%	23,9%	18,4%	26,6%	19,8%	36,2%	35,6%	24,2%	26,4%
0°	3	-4,8%	41,0%	38,5%	29,2%	12,1%	13,4%	6,5%	27,2%	15,2%	20,1%	17,4%	39,5%	33,5%	32,0%	29,1%	33,9%
0°	4	0,2%	14,1%	22,2%	4,6%	32,3%	19,2%	9,8%	14,6%	11,0%	9,2%	-3,6%	4,6%	28,1%	24,9%	21,5%	32,8%
0°	5	-0,1%	42,8%	39,8%	32,3%	42,6%	15,7%	8,5%	13,9%	10,2%	14,1%	26,7%	7,0%	24,0%	31,1%	17,9%	38,6%
0°	6	27,9%						27,1%									
90°	1	12,4%	34,7%	35,0%	30,2%	29,9%	20,9%	8,8%	26,7%	18,6%	6,4%	27,2%	35,6%	35,3%	38,1%	42,9%	45,1%
90°	2	12,1%	43,2%	49,9%	40,0%	50,4%	31,2%	9,0%	24,3%	32,4%	27,4%	36,1%	36,7%	42,7%	45,9%	29,4%	43,9%
90°	3	-1,7%	49,6%	47,1%	41,3%	37,6%	20,8%	10,1%	34,5%	20,8%	27,6%	34,1%	50,3%	42,0%	39,0%	39,3%	46,5%
90°	4	2,2%	34,4%	36,5%	29,7%	41,3%	28,0%	11,9%	22,1%	16,4%	14,7%	22,9%	28,2%	35,4%	32,9%	27,4%	41,2%
90°	5	1,9%	50,7%	50,6%	38,3%	51,4%	22,3%	14,5%	26,0%	16,1%	25,4%	37,7%	30,8%	38,6%	37,9%	32,2%	47,9%
90°	6	29,3%						32,5%									
180°	1	12,0%	18,1%	19,7%	8,1%	10,5%	15,9%	5,8%	19,5%	15,0%	2,8%	17,3%	20,5%	28,6%	29,2%	33,6%	38,6%
180°	2	10,9%	26,3%	41,5%	28,8%	41,4%	25,1%	5,8%	18,1%	27,9%	23,5%	31,1%	16,1%	36,6%	38,7%	22,4%	30,9%
180°	3	-2,3%	40,8%	38,3%	29,7%	15,1%	14,2%	7,2%	28,6%	18,5%	24,6%	26,3%	38,5%	33,6%	31,8%	30,7%	34,6%
180°	4	3,0%	14,3%	22,5%	6,0%	33,1%	21,8%	11,7%	13,8%	12,6%	12,7%	7,5%	4,6%	28,5%	26,2%	19,3%	32,8%
180°	5	2,6%	45,1%	42,2%	31,6%	43,0%	17,1%	10,9%	13,1%	12,1%	20,3%	32,1%	5,3%	27,5%	30,7%	10,6%	40,8%
180°	6	29,4%						29,7%									
270°	1	20,6%	27,8%	30,9%	20,9%	27,3%	29,1%	8,3%	27,8%	28,1%	3,9%	23,0%	33,4%	34,8%	37,9%	45,6%	43,5%
270°	2	18,4%	36,8%	48,7%	38,4%	47,0%	38,5%	11,8%	24,1%	40,3%	26,0%	31,7%	32,2%	41,0%	47,0%	30,8%	38,1%
270°	3	5,0%	46,4%	44,5%	37,0%	29,3%	25,7%	12,3%	37,6%	34,9%	24,8%	29,3%	49,4%	38,9%	39,7%	42,7%	40,4%
270°	4	11,4%	26,8%	32,8%	17,8%	38,5%	32,1%	14,8%	20,5%	23,0%	13,1%	11,6%	26,6%	33,7%	34,9%	28,2%	37,9%
270°	5	11,0%	48,8%	49,5%	37,6%	48,6%	27,8%	20,5%	18,3%	23,5%	23,1%	32,6%	23,9%	37,6%	38,6%	26,3%	45,5%
270°	6	30,9%						35,5%									

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-15: Reducción de demanda energética frente a M2 en nivel 2

Orientación	Nivel	Antártica	Antofagasta	Calama	Concepción	Copiapó	Coyhaique	Los Libertadores	Puerto Montt	Punta Arenas	Rapa Nui	Robinson Crusoe	San Pedro	Santiago	Temuco	Termas de Chillan	Valparaíso
0°	1	8,2%	15,6%	15,4%	-1,5%	3,9%	7,7%	-9,6%	10,4%	7,0%	0,7%	2,9%	22,6%	26,1%	24,8%	27,8%	30,9%
0°	2	6,8%	24,8%	36,1%	18,7%	39,1%	14,5%	-10,1%	11,1%	18,3%	19,4%	20,9%	19,1%	34,1%	30,9%	18,4%	19,4%
0°	3	-5,1%	39,6%	35,7%	22,7%	9,9%	6,6%	-8,7%	20,1%	9,0%	21,1%	11,0%	39,0%	31,3%	27,0%	23,6%	27,6%
0°	4	-0,1%	12,2%	18,6%	-4,2%	30,6%	12,9%	-5,0%	6,4%	4,4%	10,4%	-11,6%	3,8%	25,7%	19,4%	15,4%	26,4%
0°	5	-0,4%	41,6%	37,1%	26,1%	41,2%	9,1%	-6,4%	5,5%	3,6%	15,2%	21,0%	6,2%	21,5%	26,1%	11,6%	32,8%
0°	6	27,6%						15,1%									
90°	1	12,2%	33,3%	32,1%	23,7%	28,2%	14,7%	-6,1%	19,6%	12,5%	7,6%	21,6%	35,0%	33,2%	33,5%	38,5%	39,9%
90°	2	11,8%	42,0%	47,6%	34,5%	49,2%	25,9%	-5,9%	17,0%	27,4%	28,4%	31,1%	36,2%	40,8%	41,9%	23,9%	38,6%
90°	3	-2,0%	48,5%	44,6%	35,9%	36,1%	14,6%	-4,6%	28,2%	15,0%	28,5%	29,0%	49,9%	40,1%	34,6%	34,6%	41,5%
90°	4	1,9%	32,9%	33,6%	23,2%	39,9%	22,4%	-2,5%	14,6%	10,2%	15,8%	17,0%	27,6%	33,3%	27,9%	21,8%	35,7%
90°	5	1,6%	49,6%	48,4%	32,6%	50,2%	16,2%	0,6%	18,8%	9,9%	26,4%	32,9%	30,2%	36,6%	33,3%	27,0%	43,0%
90°	6	29,0%						21,4%									
180°	1	11,7%	16,2%	16,1%	-0,3%	8,4%	9,3%	-9,6%	11,7%	8,7%	4,1%	10,9%	19,8%	26,2%	24,0%	28,5%	32,9%
180°	2	10,6%	24,7%	38,9%	22,3%	40,0%	19,2%	-9,5%	10,2%	22,6%	24,5%	25,8%	15,4%	34,5%	34,2%	16,4%	24,3%
180°	3	-2,6%	39,5%	35,5%	23,2%	13,0%	7,5%	-7,9%	21,7%	12,5%	25,6%	20,6%	38,0%	31,4%	26,7%	25,4%	28,5%
180°	4	2,7%	12,3%	18,9%	-2,6%	31,5%	15,7%	-2,7%	5,4%	6,2%	13,9%	0,3%	3,7%	26,2%	20,8%	13,1%	26,5%
180°	5	2,3%	43,9%	39,6%	25,3%	41,6%	10,6%	-3,6%	4,7%	5,6%	21,3%	26,9%	4,5%	25,1%	25,6%	3,7%	35,2%
180°	6	29,2%						18,2%									
270°	1	20,4%	26,2%	27,8%	13,6%	25,5%	23,6%	-6,7%	20,8%	22,8%	5,1%	17,0%	32,8%	32,7%	33,3%	41,4%	38,2%
270°	2	18,1%	35,4%	46,3%	32,8%	45,7%	33,7%	-2,7%	16,8%	35,9%	26,9%	26,4%	31,7%	39,0%	43,0%	25,4%	32,2%

Orientación	Nivel	Antártica	Antofagasta	Calama	Concepción	Copiapó	Coyhaique	Los Libertadores	Puerto Montt	Punta Arenas	Rapa Nui	Robinson Crusoe	San Pedro	Santiago	Temuco	Termas de Chillan	Valparaíso
270°	3	4,7%	45,2%	41,9%	31,2%	27,6%	19,9%	-2,0%	31,6%	30,1%	25,8%	23,8%	49,0%	36,9%	35,3%	38,3%	34,8%
270°	4	11,1%	25,2%	29,7%	10,3%	37,0%	26,8%	0,9%	12,8%	17,4%	14,2%	4,8%	26,0%	31,5%	30,1%	22,7%	32,1%
270°	5	10,8%	47,6%	47,2%	31,9%	47,4%	22,2%	7,5%	10,4%	17,8%	24,1%	27,4%	23,3%	35,5%	34,1%	20,6%	40,4%
270°	6	30,7%						25,0%									

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-16: Reducción de demanda energética frente a M2 en nivel 3

Orientación	Nivel	Antártica	Antofagasta	Calama	Concepción	Copiapó	Coyhaique	Los Libertadores	Puerto Montt	Punta Arenas	Rapa Nui	Robinson Crusoe	San Pedro	Santiago	Temuco	Termas de Chillan	Valparaíso
0°	1	7,7%	29,6%	30,7%	14,1%	19,7%	12,4%	-6,1%	18,0%	9,0%	10,9%	18,1%	33,9%	34,7%	33,3%	35,4%	43,3%
0°	2	6,3%	37,3%	47,7%	31,2%	49,1%	18,9%	-6,5%	18,7%	20,1%	27,7%	33,4%	31,0%	41,8%	38,7%	27,0%	33,9%
0°	3	-5,6%	49,6%	47,4%	34,6%	24,8%	11,3%	-5,2%	26,9%	10,9%	29,3%	25,0%	47,9%	39,3%	35,3%	31,7%	40,6%
0°	4	-0,6%	26,7%	33,4%	11,8%	42,1%	17,3%	-1,6%	14,4%	6,5%	19,6%	6,0%	17,9%	34,3%	28,6%	24,3%	39,6%
0°	5	-0,9%	51,3%	48,5%	37,4%	50,9%	13,7%	-2,9%	13,6%	5,7%	23,9%	33,4%	19,9%	30,6%	34,5%	20,9%	44,9%
0°	6	27,3%						17,9%									
90°	1	11,7%	44,3%	44,4%	35,4%	40,0%	19,1%	-2,6%	26,4%	14,4%	17,1%	33,9%	44,5%	40,9%	41,1%	45,0%	50,7%
90°	2	11,4%	51,6%	57,2%	44,6%	57,6%	29,6%	-2,4%	24,1%	29,0%	35,8%	41,9%	45,5%	47,7%	48,5%	31,9%	49,6%
90°	3	-2,5%	57,0%	54,7%	45,7%	46,7%	19,0%	-1,2%	34,3%	16,8%	35,9%	40,1%	57,2%	47,0%	42,0%	41,5%	52,0%
90°	4	1,4%	44,0%	45,6%	35,0%	49,8%	26,4%	0,8%	21,9%	12,1%	24,5%	30,0%	38,2%	41,0%	36,1%	30,0%	47,2%
90°	5	1,1%	58,0%	57,7%	43,0%	58,5%	20,4%	3,8%	25,8%	11,9%	34,0%	43,4%	40,4%	43,9%	40,9%	34,7%	53,2%
90°	6	28,7%						24,0%									
180°	1	11,3%	30,1%	31,3%	15,1%	23,5%	13,9%	-6,0%	19,3%	10,7%	14,0%	24,9%	31,5%	34,8%	32,6%	36,0%	44,9%
180°	2	10,2%	37,2%	50,0%	34,2%	49,9%	23,3%	-6,0%	17,8%	24,3%	32,3%	37,4%	27,8%	42,1%	41,7%	25,2%	37,9%
180°	3	-3,2%	49,5%	47,2%	35,0%	27,4%	12,2%	-4,4%	28,4%	14,3%	33,3%	33,1%	47,0%	39,4%	35,1%	33,3%	41,3%
180°	4	2,2%	26,9%	33,7%	13,1%	42,8%	20,0%	0,6%	13,5%	8,2%	22,8%	16,0%	17,8%	34,7%	29,8%	22,3%	39,7%
180°	5	1,8%	53,2%	50,6%	36,8%	51,3%	15,1%	-0,2%	12,9%	7,6%	29,5%	38,4%	18,5%	33,8%	34,1%	13,9%	46,8%
180°	6	28,9%						20,9%									
270°	1	20,0%	38,4%	40,9%	26,8%	37,8%	27,5%	-3,2%	27,6%	24,5%	15,0%	30,1%	42,6%	40,5%	40,9%	47,6%	49,3%
270°	2	17,7%	46,1%	56,1%	43,1%	54,7%	37,0%	0,7%	23,9%	37,3%	34,5%	38,0%	41,6%	46,1%	49,5%	33,3%	44,4%
270°	3	4,2%	54,3%	52,5%	41,8%	39,5%	23,9%	1,4%	37,4%	31,6%	33,5%	35,8%	56,5%	44,2%	42,6%	44,8%	46,5%
270°	4	10,7%	37,6%	42,5%	24,1%	47,4%	30,5%	4,1%	20,2%	19,1%	23,1%	19,7%	36,8%	39,5%	38,0%	30,8%	44,2%
270°	5	10,3%	56,3%	56,8%	42,4%	56,0%	26,1%	10,5%	18,0%	19,6%	32,0%	38,8%	34,5%	43,0%	41,6%	29,0%	51,1%
270°	6	30,4%						27,5%									

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-17: Reducción de demanda energética frente a M2 en nivel 4

Orientación	Nivel	Antártica	Antofagasta	Calama	Concepción	Copiapó	Coyhaique	Los Libertadores	Puerto Montt	Punta Arenas	Rapa Nui	Robinson Crusoe	San Pedro	Santiago	Temuco	Termas de Chillan	Valparaíso
0°	1	7,4%	36,4%	37,8%	22,2%	27,3%	15,6%	-2,6%	22,8%	10,4%	16,3%	26,1%	39,1%	39,1%	38,1%	39,5%	49,5%
0°	2	5,9%	43,4%	53,1%	37,7%	53,9%	21,8%	-3,0%	23,4%	21,3%	32,1%	39,9%	36,4%	45,7%	43,1%	31,6%	41,1%
0°	3	-6,0%	54,5%	52,8%	40,7%	31,9%	14,6%	-1,8%	31,2%	12,3%	33,5%	32,3%	52,0%	43,4%	39,9%	36,0%	47,1%
0°	4	-1,0%	33,8%	40,2%	20,2%	47,5%	20,3%	1,7%	19,4%	7,9%	24,4%	15,2%	24,3%	38,8%	33,6%	29,2%	46,2%
0°	5	-1,3%	56,0%	53,8%	43,3%	55,5%	16,8%	0,4%	18,6%	7,1%	28,5%	39,9%	26,2%	35,3%	39,1%	26,0%	50,9%
0°	6	27,0%						20,6%									
90°	1	11,4%	49,7%	50,1%	41,5%	45,6%	22,0%	0,7%	30,7%	15,8%	22,1%	40,4%	48,9%	44,9%	45,3%	48,5%	56,1%
90°	2	11,0%	56,3%	61,5%	49,8%	61,6%	32,2%	0,9%	28,5%	30,1%	39,6%	47,6%	49,8%	51,2%	52,2%	36,3%	55,1%
90°	3	-3,0%	61,2%	59,3%	50,8%	51,7%	21,9%	2,1%	38,1%	18,1%	39,7%	46,0%	60,6%	50,6%	46,1%	45,2%	57,2%
90°	4	1,0%	49,5%	51,2%	41,1%	54,5%	29,0%	4,1%	26,4%	13,5%	29,0%	36,9%	43,0%	45,0%	40,7%	34,5%	53,0%
90°	5	0,7%	62,0%	62,1%	48,4%	62,4%	23,3%	6,9%	30,1%	13,2%	37,9%	48,9%	45,1%	47,7%	45,1%	38,9%	58,3%
90°	6	28,4%						26,5%									
180°	1	10,9%	36,9%	38,3%	23,1%	30,7%	17,0%	-2,6%	24,0%	12,1%	19,2%	32,3%	36,9%	39,2%	37,4%	40,1%	50,9%

Orientación	Nivel	Antártica	Antofagasta	Calama	Concepción	Copiapó	Coyhaique	Los Libertadores	Puerto Montt	Punta Arenas	Rapa Nui	Robinson Crusoe	San Pedro	Santiago	Temuco	Termas de Chillan	Valparaíso
180°	2	9,8%	43,3%	55,1%	40,4%	54,6%	26,1%	-2,5%	22,7%	25,4%	36,4%	43,6%	33,4%	46,0%	45,9%	30,0%	44,7%
180°	3	-3,6%	54,4%	52,6%	41,2%	34,2%	15,4%	-1,0%	32,6%	15,7%	37,3%	39,6%	51,2%	43,5%	39,7%	37,5%	47,7%
180°	4	1,8%	33,9%	40,4%	21,4%	48,2%	22,9%	3,9%	18,5%	9,6%	27,4%	24,2%	24,3%	39,1%	34,8%	27,2%	46,3%
180°	5	1,4%	57,7%	55,6%	42,8%	55,8%	18,2%	3,0%	17,9%	9,1%	33,7%	44,4%	24,9%	38,2%	38,7%	19,3%	52,6%
180°	6	28,6%						23,4%									
270°	1	19,6%	44,4%	46,9%	33,8%	43,7%	30,1%	0,1%	31,8%	25,6%	20,0%	36,9%	47,1%	44,5%	45,1%	50,9%	54,8%
270°	2	17,4%	51,3%	60,6%	48,5%	58,9%	39,3%	3,9%	28,3%	38,2%	38,4%	44,0%	46,2%	49,7%	53,1%	37,5%	50,5%
270°	3	3,8%	58,7%	57,3%	47,3%	45,2%	26,7%	4,5%	41,1%	32,6%	37,4%	42,0%	59,9%	48,0%	46,7%	48,3%	52,3%
270°	4	10,3%	43,6%	48,3%	31,2%	52,3%	33,0%	7,2%	24,9%	20,4%	27,7%	27,6%	41,8%	43,6%	42,4%	35,2%	50,3%
270°	5	10,0%	60,5%	61,2%	47,8%	60,2%	28,8%	13,4%	22,8%	20,8%	36,0%	44,8%	39,7%	46,8%	45,7%	33,5%	56,5%
270°	6	30,1%						29,8%									

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-18: Reducción de demanda energética frente a M4

Orientación	Nivel	Antártica	Antofagasta	Calama	Concepción	Copiapó	Coyhaique	Los Libertadores	Puerto Montt	Punta Arenas	Rapa Nui	Robinson Crusoe	San Pedro	Santiago	Temuco	Termas de Chillan	Valparaíso
0°	1	4,3%	26,7%	26,7%	6,0%	15,8%	-1,3%	-15,8%	7,9%	-8,1%	11,5%	16,1%	31,2%	31,4%	26,7%	27,5%	4,3%
0°	2	2,8%	34,7%	44,7%	24,7%	46,7%	6,2%	-16,3%	8,7%	5,0%	28,2%	31,7%	28,1%	38,8%	32,6%	18,0%	2,8%
0°	3	-9,5%	47,5%	44,4%	28,4%	21,2%	-2,5%	-14,9%	17,9%	-5,8%	29,8%	23,2%	45,7%	36,2%	28,8%	23,3%	-9,5%
0°	4	-4,3%	23,7%	29,5%	3,5%	39,3%	4,4%	-10,9%	3,8%	-11,1%	20,2%	3,7%	14,4%	31,0%	21,5%	15,1%	-4,3%
0°	5	-4,7%	49,2%	45,5%	31,5%	48,6%	0,2%	-12,4%	2,9%	-12,0%	24,5%	31,8%	16,6%	27,1%	28,0%	11,2%	-4,7%
0°	6	24,6%						10,4%									24,6%
90°	1	8,4%	42,0%	41,2%	29,4%	37,1%	6,4%	-12,0%	17,3%	-1,6%	17,7%	32,3%	42,2%	38,0%	35,2%	38,2%	8,4%
90°	2	8,1%	49,6%	54,7%	39,3%	55,5%	18,6%	-11,8%	14,7%	15,7%	36,2%	40,5%	43,2%	45,1%	43,4%	23,6%	8,1%
90°	3	-6,4%	55,2%	52,1%	40,6%	44,1%	6,3%	-10,5%	26,2%	1,2%	36,3%	38,7%	55,4%	44,4%	36,2%	34,3%	-6,4%
90°	4	-2,2%	41,7%	42,5%	28,8%	47,4%	14,9%	-8,3%	12,2%	-4,4%	25,0%	28,3%	35,6%	38,1%	29,8%	21,4%	-2,2%
90°	5	-2,6%	56,2%	55,3%	37,6%	56,4%	8,0%	-5,0%	16,6%	-4,7%	34,4%	42,0%	37,9%	41,1%	35,0%	26,7%	-2,6%
90°	6	26,0%						17,0%									26,0%
180°	1	7,9%	27,2%	27,3%	7,1%	19,8%	0,5%	-15,8%	9,3%	-6,1%	14,6%	23,1%	28,6%	31,5%	25,9%	28,2%	7,9%
180°	2	6,8%	34,6%	47,1%	28,0%	47,4%	11,4%	-15,7%	7,7%	10,0%	32,8%	35,9%	24,7%	39,2%	35,9%	16,0%	6,8%
180°	3	-7,0%	47,4%	44,2%	28,9%	23,8%	-1,5%	-14,0%	19,6%	-1,7%	33,8%	31,5%	44,8%	36,3%	28,6%	25,1%	-7,0%
180°	4	-1,4%	23,8%	29,8%	5,0%	40,0%	7,5%	-8,5%	2,8%	-9,0%	23,3%	13,9%	14,4%	31,4%	22,9%	12,7%	-1,4%
180°	5	-1,8%	51,2%	47,7%	30,8%	48,9%	1,9%	-9,5%	2,1%	-9,7%	30,0%	36,9%	15,1%	30,4%	27,5%	3,3%	-1,8%
180°	6	26,2%						13,6%									26,2%
270°	1	17,0%	35,9%	37,5%	19,9%	34,8%	16,2%	-12,7%	18,7%	10,3%	15,5%	28,4%	40,2%	37,5%	35,0%	41,1%	17,0%
270°	2	14,7%	43,9%	53,5%	37,7%	52,5%	27,2%	-8,4%	14,5%	25,5%	34,9%	36,4%	39,2%	43,4%	44,5%	25,1%	14,7%
270°	3	0,6%	52,4%	49,7%	36,3%	36,6%	12,1%	-7,7%	29,7%	18,7%	33,9%	34,2%	54,6%	41,4%	36,9%	38,0%	0,6%
270°	4	7,3%	35,0%	39,1%	16,9%	44,9%	19,7%	-4,7%	10,4%	4,0%	23,6%	17,8%	34,2%	36,4%	31,9%	22,3%	7,3%
270°	5	7,0%	54,5%	54,2%	36,9%	53,9%	14,6%	2,3%	7,9%	4,5%	32,4%	37,3%	31,8%	40,1%	35,8%	20,3%	7,0%
270°	6	27,8%						20,8%									27,8%

Fuente: Elaboración propia

## Disminución de consumo energético

Los niveles de disminución de consumo energético se observan en la Tabla 6-19, en esta también se detalla el valor máximo y mínimo alcanzados según al nivel de M3 con que M1 es comparado. Estos rangos serán los utilizados para la propuesta de niveles de reducción de consumo energético.

Tabla 6-19: Reducción porcentual de consumo energético sobre niveles de M3

Zona climática	Ubicación	M3 Nivel 1	M3 Nivel 2	M3 Nivel 3	M3 Nivel 4	MAX	MIN	M4
NL	Antofagasta	61,4%	59,6%	51,8%	49,1%	61,4%	49,1%	54,3%
ND	Calama	60,0%	58,1%	50,4%	47,6%	60,0%	47,6%	53,3%
NVT	Copiapó	60,7%	58,8%	51,0%	48,2%	60,7%	48,2%	55,1%
CL	Valparaíso	61,9%	60,3%	52,0%	49,7%	61,9%	49,7%	53,1%
CI	Santiago	59,7%	57,7%	50,1%	47,0%	59,7%	47,0%	54,3%
SL (1)	Concepción	60,8%	59,4%	50,8%	48,6%	60,8%	48,6%	53,0%
SI	Temuco	60,8%	59,3%	50,9%	48,6%	60,8%	48,6%	53,0%
SL (2)	Puerto Montt	60,8%	59,5%	50,9%	48,7%	60,8%	48,7%	52,4%
SE (1)	Coyhaique	58,9%	57,3%	49,1%	46,6%	58,9%	46,6%	50,7%
SE (2)	Punta Arenas	58,6%	57,1%	48,7%	46,3%	58,6%	46,3%	50,6%
An (2)	Los Libertadores	57,9%	55,9%	48,4%	45,4%	57,9%	45,4%	51,1%
Rapa Nui	Rapa Nui	58,6%	56,0%	49,6%	45,7%	58,6%	45,7%	51,4%
R. Crusoe	Robinson Crusoe	61,6%	60,1%	51,7%	49,4%	61,6%	49,4%	53,0%
Antártica	Antártica	54,8%	52,1%	46,3%	42,2%	54,8%	42,2%	52,3%
An (1)	San Pedro	60,1%	58,0%	50,4%	47,3%	60,1%	47,3%	56,4%
An (3)	Termas de Chillan	60,0%	57,9%	49,7%	47,3%	60,0%	47,3%	52,5%

Fuente: Elaboración propia

## Disminución de horas de discomfort

La Tabla 6-20 presenta los resultados de reducción de las horas de discomfort en diferentes ubicaciones y orientaciones, clasificadas según niveles de intervención en el diseño. La tabla cuantifica el porcentaje de reducción en función de las mejoras implementadas en las envolventes térmicas y otros factores que afectan el confort térmico pasivo.

Cada fila representa una combinación específica de ubicación y orientación, con cinco niveles de mejoras que logran distintos grados de reducción porcentual de horas de discomfort. La orientación y las características climáticas de cada localidad son cruciales en los resultados, ya que determinan la cantidad de horas en las que los ocupantes estarían en condiciones de incomodidad térmica.

Este análisis es clave para proponer y validar intervenciones pasivas o activas en el diseño de edificaciones en diversas zonas climáticas, mejorando el bienestar de los ocupantes mientras se reduce la dependencia de sistemas de climatización activa.

Las localidades que no entregaron resultados debido a indeterminación (Los Libertadores, Punta Arenas y Antártica) fueron omitidas.

Tabla 6-20: Reducción porcentual de horas de discomfort por nivel

Ubicación	Orientación	1	2	3	4	5
Antofagasta	0°	30,8%	30,9%	39,8%		44,1%
Antofagasta	90°	41,6%	38,3%	46,1%		58,1%
Antofagasta	180°	33,2%	33,6%	42,0%		46,9%
Antofagasta	270°	39,9%	37,0%	42,1%		51,9%
Calama	0°		35,4%	32,6%	23,0%	34,4%
Calama	90°		48,8%	38,2%	33,9%	48,2%
Calama	180°		39,7%	36,2%	25,1%	38,5%
Calama	270°		47,7%	36,8%	34,4%	47,4%

Ubicación	Orientación	1	2	3	4	5
Copiapó	0°		34,0%	25,0%	36,7%	37,1%
Copiapó	90°		40,8%	33,4%	45,4%	44,8%
Copiapó	180°		37,7%	27,3%	40,7%	41,0%
Copiapó	270°		39,2%	34,3%	43,5%	41,3%
Valparaíso	0°	40,1%		40,5%	43,6%	43,5%
Valparaíso	90°	58,2%		49,7%	51,8%	57,9%
Valparaíso	180°	43,7%		42,7%	45,8%	46,6%
Valparaíso	270°	51,3%		45,0%	46,8%	50,8%
Santiago	0°	31,0%	30,7%	28,6%		19,5%
Santiago	90°	41,4%	37,0%	35,4%		35,2%
Santiago	180°	34,3%	34,2%	32,1%		21,7%
Santiago	270°	39,4%	35,0%	33,8%		35,6%
Concepción	0°	13,0%	28,1%	30,9%		35,4%
Concepción	90°	28,6%	45,4%	37,7%		40,5%
Concepción	180°	14,6%	30,1%	33,1%		37,4%
Concepción	270°	31,4%	42,8%	35,3%		37,2%
Temuco	0°	31,9%	38,5%	32,1%		34,5%
Temuco	90°	42,7%	51,9%	37,7%		39,9%
Temuco	180°	34,5%	41,1%	34,5%		36,8%
Temuco	270°	42,2%	52,6%	36,3%		38,3%
Puerto Montt	0°	31,8%	28,6%	48,0%		20,9%
Puerto Montt	90°	48,5%	33,1%	57,1%		26,5%
Puerto Montt	180°	33,0%	30,4%	50,9%		22,8%
Puerto Montt	270°	48,3%	30,0%	56,8%		25,7%
Coyhaique	0°	15,5%	41,9%		48,0%	34,4%
Coyhaique	90°	32,9%	52,1%		55,9%	38,0%
Coyhaique	180°	16,7%	44,9%		49,5%	36,0%
Coyhaique	270°	37,8%	51,7%		55,5%	36,5%
Rapa Nui	0°		15,6%	22,4%	27,5%	14,4%
Rapa Nui	90°		31,3%	30,2%	36,6%	30,2%
Rapa Nui	180°		20,6%	24,5%	28,7%	19,1%
Rapa Nui	270°		27,5%	29,8%	36,8%	25,9%
Robinson Crusoe	0°	25,3%	30,8%	18,0%		32,5%
Robinson Crusoe	90°	45,6%	37,5%	37,9%		40,4%
Robinson Crusoe	180°	31,6%	34,7%	26,6%		36,2%
Robinson Crusoe	270°	39,5%	32,9%	32,9%		35,0%
San Pedro	0°	18,0%	22,4%	26,4%		19,2%
San Pedro	90°	28,4%	28,1%	39,6%		25,8%
San Pedro	180°	18,6%	24,3%	24,9%		20,8%
San Pedro	270°	28,8%	28,0%	40,1%		26,0%
Termas de Chillan	0°	24,0%	37,3%	46,6%	33,6%	
Termas de Chillan	90°	42,2%	42,6%	56,4%	43,0%	
Termas de Chillan	180°	20,0%	38,4%	44,2%	34,5%	
Termas de Chillan	270°	44,2%	42,2%	57,0%	43,0%	

Fuente: Elaboración propia

#### 6.2.4.2 CASO PEQUEÑA ESCALA

##### 6.2.4.2.1 RESULTADOS DE SIMULACIÓN

Para el Modelo 1, las distintas ubicaciones presentan variaciones en los niveles alcanzados. Las localidades asociadas a climas más cálidos, como Calama, Rapa Nui, y Antofagasta, muestran una demanda más alta en comparación con las localidades de

clima frío, como Coyhaique y Puerto Montt. Este patrón sugiere que la demanda de refrigeración para este tipo de edificio estas directamente relacionada con la temperatura ambiente de cada lugar.

En cuanto a la orientación del edificio, se evidencia una tendencia a que, cuando las fachadas principales están orientadas en 90° y 270°, la demanda de refrigeración tiende a reducirse. Esto puede deberse a la menor incidencia directa de la radiación solar, ya que las ventanas no están orientadas directamente al oriente u occidente, reduciendo las ganancias térmicas durante las horas más calurosas del día.

Respecto a los niveles de envolvente utilizados, se observa que, para ubicaciones como Santiago, Antofagasta y Calama, los resultados de demanda de refrigeración son similares en la mayoría de los niveles, lo que indica que las envolventes probadas no generan un gran impacto en estas zonas. Sin embargo, en zonas como Coyhaique y Puerto Montt, los niveles de envolvente tienen un impacto notable, presentando variaciones más marcadas en la demanda de refrigeración. Esto sugiere que, en estos climas, la elección del nivel de envolvente puede tener un mayor efecto sobre la eficiencia energética del edificio.

Para el Modelo 2, los resultados de refrigeración se observan cómo las distintas ubicaciones presentan variaciones según el factor vano-muro utilizado. Las localidades con climas más cálidos, como Calama, Antofagasta y Rapa Nui, presentan una mayor demanda de refrigeración en comparación con aquellas con climas más fríos, como Coyhaique y Puerto Montt, lo cual es consistente con las diferencias en las temperaturas ambientales.

En relación con el factor vano-muro, se nota que, en general, a medida que se incrementa el porcentaje de ventanas, la demanda de refrigeración aumenta. Por ejemplo, en ubicaciones como Santiago y Valparaíso, los niveles de refrigeración son más altos en los niveles 3 y 4, donde el porcentaje de ventanas en las fachadas landside y airside es mayor. Esto sugiere que, al aumentar la superficie de vidrio expuesta, también aumenta la ganancia solar, lo que incrementa la demanda de refrigeración.

En localidades de clima frío, como Coyhaique y Los Libertadores, aunque el incremento en el factor vano-muro afecta la demanda de refrigeración, el cambio es menos pronunciado en comparación con los climas cálidos. Esto indica que, si bien la proporción de ventanas influye en la demanda, el impacto es menor en lugares con temperaturas más bajas y menor exposición a la radiación solar intensa.

En el Modelo 4, las localidades con climas cálidos, como Calama, Antofagasta y Rapa Nui, muestran una mayor demanda de refrigeración en comparación con aquellas de climas más templados, como Valparaíso y Concepción, lo cual es consistente con las temperaturas elevadas y la necesidad de mantener el confort térmico en estos lugares.

El uso de sistemas pasivos de nivel 2 implica una mejora en la eficiencia del aislamiento, lo cual contribuye a una reducción en la transferencia de calor a través de la envolvente. Sin embargo, en las ubicaciones con mayor exposición solar, esta estrategia pasiva no es suficiente para mantener la demanda de refrigeración en niveles bajos, debido a la alta carga térmica externa.

El detalle de los resultados se puede observar en el punto 3.8 de Anexo 1.

## **Consumo Energético**

En el Modelo 1, los resultados indican cómo las distintas ubicaciones presentan variaciones en función de sus condiciones climáticas. Las localidades con climas más extremos, como Los Libertadores, Coyhaique y Calama, presentan un mayor consumo energético en comparación con localidades de climas más templados, como Valparaíso y Concepción. Esto indica que la necesidad de climatización y otros servicios energéticos es mayor en zonas donde se enfrentan temperaturas más extremas.

En localidades con climas fríos, como Coyhaique y Los Libertadores, el consumo energético está impulsado principalmente por la demanda de calefacción, mientras que, en localidades cálidas, como Calama y Rapa Nui, el consumo energético se ve

incrementado por la mayor demanda de refrigeración. Este patrón resalta la influencia directa del clima local en el comportamiento energético de los edificios.

Por otro lado, en ubicaciones como Santiago y Antofagasta, los consumos energéticos se encuentran en un rango intermedio, lo cual sugiere que, aunque el clima no es tan extremo, se requiere un esfuerzo para mantener las condiciones de confort tanto en invierno como en verano.

En el Modelo 3, Al igual que en el modelo 1, los resultados indican que las distintas ubicaciones presentan variaciones según los niveles evaluados. Las localidades con climas más extremos, como Los Libertadores, Coyhaique y Calama, muestran un mayor consumo energético en comparación con aquellas de climas más templados, como Valparaíso y Concepción.

Al analizar los diferentes niveles, se observa que el nivel 1, con cargas de iluminación referenciales y un COP y EER de 2,8, tiende a tener un mayor consumo energético en todas las ubicaciones, en comparación con el nivel 2, que mejora el rendimiento de los equipos a un COP y EER de 3,5. Esto indica que mejorar la eficiencia de los sistemas de climatización tiene un impacto positivo en la reducción del consumo energético.

Por otro lado, al comparar los niveles 3 y 4, que incluyen una reducción del 25% en las cargas de iluminación referenciales, se observa que el consumo energético es aún más bajo en comparación con los niveles 1 y 2. Entre estos, el nivel 4, con un COP y EER de 3,5, presenta el menor consumo energético en la mayoría de las localidades, lo cual subraya la importancia de tanto mejorar la eficiencia de los equipos como reducir las cargas internas de iluminación para disminuir el consumo energético total.

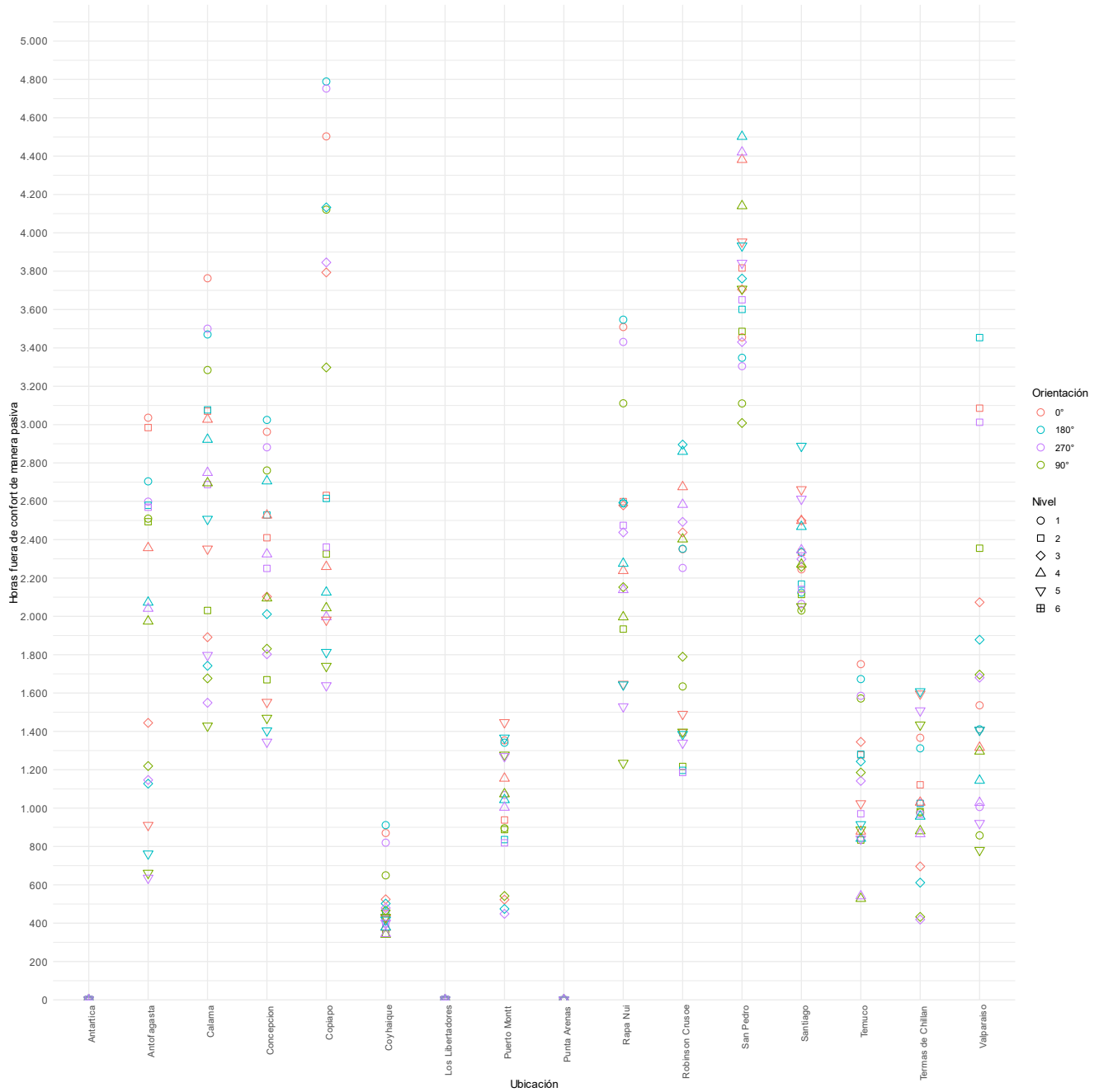
Para el Modelo 4, los resultados de consumo energético indican las localidades con climas extremos, como Coyhaique, Los Libertadores y Calama, muestran un mayor consumo energético en comparación con ubicaciones de climas más templados, como Valparaíso y Concepción. Esto refleja la necesidad de calefacción adicional en climas fríos y de refrigeración en climas cálidos para mantener el confort térmico en el edificio.

El detalle de los resultados se puede observar en el punto 3.9 del Anexo 1.

### **Horas fuera del rango de confort térmico**

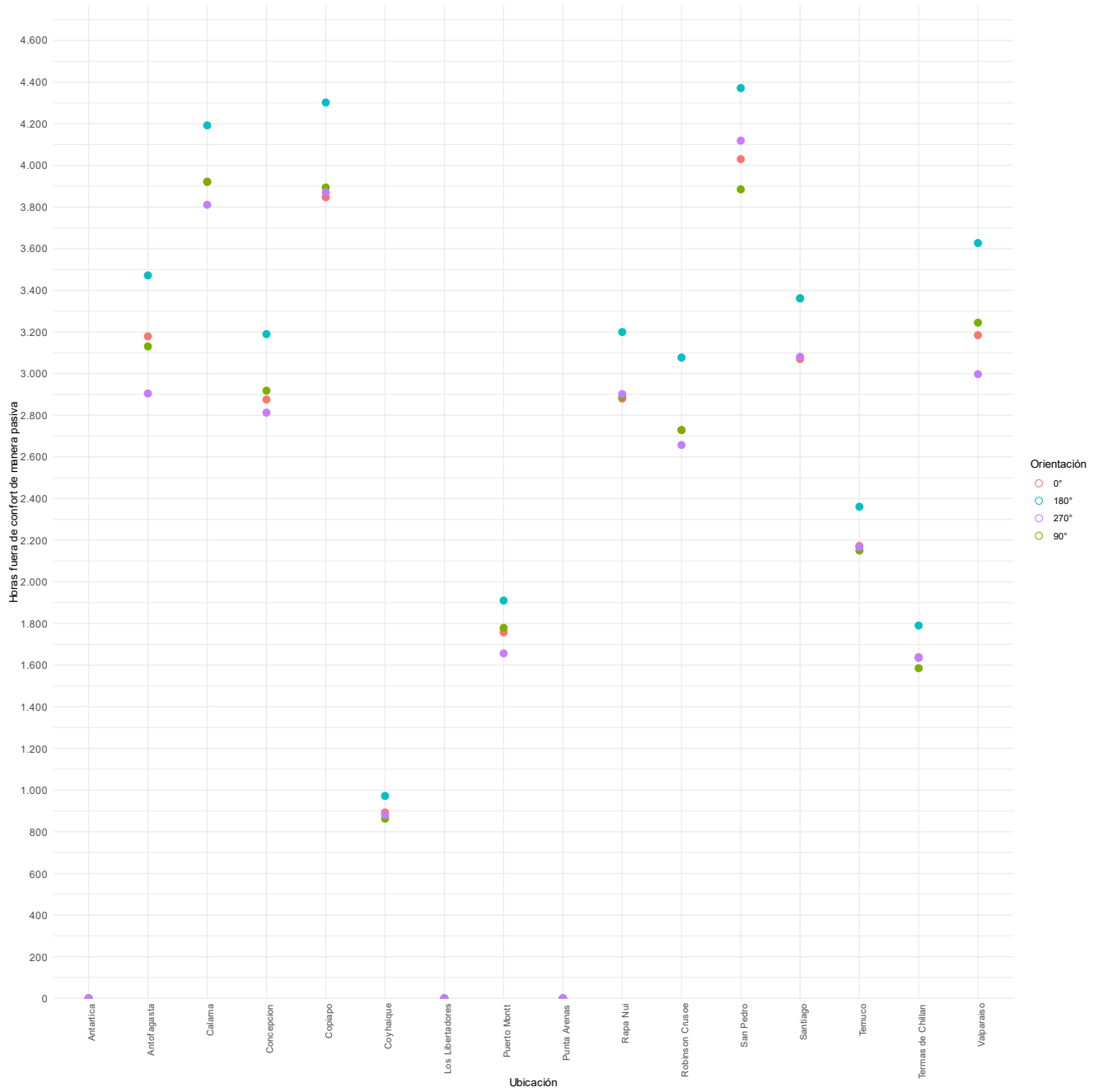
Los resultados para el Modelo 1 y Modelo 2 se presentan se manera gráfica en la Figura 6-7 y la Figura 6-8 respectivamente.

Figura 6-7: Gráfico de resultados de disminución de horas de discomfort por nivel y orientación para M1



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-8: Gráfico de resultados de disminución de horas de discomfort por nivel y orientación para M2



Fuente: Elaboración propia

6.2.4.2.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

**Disminución de demanda energética**

Para calcular la reducción de demanda energética, la demanda obtenida en cada nivel debe ser comparada frente a un caso referencial, para esta etapa se utilizaron 4 niveles de edificio referencial en cuanto elementos pasivos (M2) y un nivel respecto a niveles pasivos y activos (M4). En la Tabla 6-13 se observan los resultados de demanda energética promedios de las cuatro orientaciones para cada nivel y ubicación, es sobre estos valores que se calcula la reducción de demanda obtenida.

Tabla 6-21: Resultados promedio de demanda energética en climatización para M2 en distintos niveles y M4

Ubicación	M2 Nivel 1	M2 Nivel 2	M2 Nivel 3	M2 Nivel 4	M4
Antártica	16,581	31,816	39,926	47,528	31,816
Antofagasta	16,905	38,536	49,233	59,194	38,536
Calama	19,957	42,035	52,583	62,587	42,035
Concepción	12,932	26,701	34,961	40,714	26,701
Copiapó	25,188	41,033	49,986	58,452	41,033
Coyhaique	16,274	28,617	36,763	44,007	28,617
Los Libertadores	19,555	28,919	35,261	41,503	28,919
Puerto Montt	20,399	23,999	28,863	33,495	23,999
Punta Arenas	28,673	34,751	37,596	50,101	32,053
Rapa Nui	30,774	35,353	34,641	37,442	31,288
Robinson Crusoe	32,982	35,558	41,467	48,735	35,558
San Pedro	23,424	38,291	45,390	51,889	38,291
Santiago	78,747	94,718	85,040	95,926	83,632
Temuco	11,559	21,419	27,877	32,324	21,419
Termas de Chillan	27,323	55,599	68,135	79,672	55,599
Valparaíso	25,306	35,570	46,491	54,407	35,570

Fuente: Elaboración propia

La reducción de demanda porcentual obtenida por las distintas envolventes térmicas frente a los distintos modelos referenciales se puede observar desde la Tabla 6-22 a la Tabla 6-26.

En los resultados se puede apreciar como las envolventes de nivel 5 del modelo objeto (M1) para la mayoría de las ubicaciones entrega las reducciones de demanda más alta sobre todos los niveles del modelo referencial (M2).

Tabla 6-22: Reducción de demanda energética frente a M2 en nivel 1

Orientación	Nivel	Antártica	Antofagasta	Calama	Concepción	Copiapó	Coyhaique	Los Libertadores	Puerto Montt	Punta Arenas	Rapa Nui	Robinson Crusoe	San Pedro	Santiago	Temuco	Termas de Chillan	Valparaíso
0°	1	27,01%	25,71%	22,10%	-3,96%	-21,10%	38,63%	16,56%	36,84%	40,48%	24,40%	-1,34%	46,72%	47,16%	41,09%	44,20%	56,64%
0°	2	31,71%	4,50%	40,87%	22,74%	53,62%	34,10%	-1,49%	29,23%	23,83%	22,68%	45,49%	22,16%	49,89%	40,82%	30,82%	-2,32%
0°	3	15,07%	56,23%	55,73%	36,60%	-3,73%	19,84%	1,88%	38,73%	22,09%	32,88%	1,86%	45,59%	45,51%	32,28%	32,76%	42,07%
0°	4	17,96%	15,49%	30,64%	8,87%	54,53%	18,69%	15,24%	9,26%	2,67%	46,60%	-10,70%	-7,75%	46,24%	35,23%	27,16%	46,74%
0°	5	16,78%	59,09%	44,98%	26,57%	56,19%	-3,11%	-1,72%	15,40%	10,14%	28,56%	29,73%	-8,34%	22,10%	18,74%	17,81%	48,04%
0°	6	44,58%						32,85%									
90°	1	34,40%	41,94%	36,41%	17,40%	8,08%	45,55%	14,26%	45,62%	43,80%	33,56%	24,26%	55,75%	53,93%	45,78%	51,57%	66,79%
90°	2	39,04%	23,70%	54,39%	40,96%	61,22%	36,12%	7,24%	33,68%	29,54%	34,49%	55,20%	36,44%	56,59%	49,44%	36,64%	26,76%
90°	3	23,16%	62,22%	59,71%	43,92%	21,38%	24,33%	0,16%	49,30%	24,66%	40,99%	25,88%	57,00%	52,91%	38,83%	42,69%	51,36%
90°	4	20,54%	32,76%	38,73%	27,90%	60,45%	28,45%	18,03%	13,57%	13,90%	52,10%	12,30%	17,21%	52,81%	47,53%	34,86%	54,70%
90°	5	20,20%	65,21%	54,66%	38,41%	62,27%	8,62%	6,26%	21,19%	15,91%	39,98%	36,03%	28,02%	37,10%	30,19%	28,32%	58,54%
90°	6	55,84%						35,91%									
180°	1	29,17%	31,07%	27,81%	3,13%	-16,71%	37,23%	25,25%	41,55%	43,47%	25,29%	12,74%	49,98%	50,33%	43,57%	45,92%	59,83%
180°	2	31,94%	11,43%	44,31%	27,97%	55,14%	24,75%	0,64%	31,31%	27,75%	27,51%	50,46%	28,02%	51,66%	41,81%	32,34%	6,22%
180°	3	17,96%	58,36%	56,71%	38,08%	1,79%	24,75%	4,79%	42,77%	22,68%	33,83%	10,28%	47,50%	47,47%	34,26%	37,00%	46,63%
180°	4	18,69%	20,96%	33,83%	13,57%	55,41%	21,48%	26,02%	12,39%	9,57%	47,01%	-2,15%	-2,26%	47,66%	38,74%	31,45%	48,80%
180°	5	17,10%	59,79%	47,39%	32,75%	56,90%	0,80%	1,44%	18,79%	10,11%	31,82%	33,05%	0,20%	24,92%	23,19%	19,28%	50,87%
180°	6	48,56%						33,68%									
270°	1	37,11%	33,69%	31,27%	3,48%	-10,72%	42,57%	24,75%	44,00%	42,54%	28,04%	8,72%	54,46%	54,60%	48,84%	53,58%	66,79%
270°	2	39,94%	13,25%	48,57%	30,68%	58,83%	42,80%	11,33%	41,61%	36,37%	29,87%	54,79%	32,62%	56,73%	51,50%	39,55%	6,51%
270°	3	27,45%	60,32%	61,01%	43,75%	7,42%	30,47%	13,13%	51,21%	27,20%	36,27%	10,30%	52,93%	51,81%	50,36%	45,86%	47,88%
270°	4	26,43%	22,23%	37,76%	17,92%	59,84%	29,63%	29,93%	20,10%	17,42%	49,36%	-2,49%	4,88%	52,96%	50,36%	38,98%	59,15%
270°	5	25,06%	64,95%	51,97%	42,35%	62,10%	14,31%	14,08%	20,61%	6,89%	34,93%	36,55%	5,95%	31,88%	32,66%	21,08%	57,27%
270°	6	50,52%						38,26%									

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-23: Reducción de demanda energética frente a M2 en nivel 2

Orientación	Nivel	Antártica	Antofagasta	Calama	Concepción	Copiapó	Coyhaique	Los Libertadores	Puerto Montt	Punta Arenas	Rapa Nui	Robinson Crusoe	San Pedro	Santiago	Temuco	Termas de Chillan	Valparaíso
0°	1	39,32%	61,28%	65,82%	40,88%	42,51%	49,37%	22,60%	46,31%	48,19%	53,75%	45,31%	73,81%	67,56%	60,17%	60,30%	79,00%
0°	2	43,22%	50,23%	74,06%	56,06%	77,98%	45,63%	5,86%	39,84%	33,70%	52,70%	70,58%	61,75%	69,24%	59,98%	50,78%	50,45%
0°	3	29,39%	77,19%	80,58%	63,95%	50,75%	33,86%	8,99%	47,92%	32,19%	58,94%	47,04%	73,26%	66,55%	54,21%	52,17%	71,94%
0°	4	31,79%	55,95%	69,57%	48,18%	78,41%	32,91%	21,37%	22,87%	15,28%	67,34%	40,26%	47,05%	67,00%	56,20%	48,18%	74,21%
0°	5	30,81%	78,68%	75,86%	58,24%	79,20%	14,92%	5,65%	28,09%	21,78%	56,30%	62,08%	46,76%	52,18%	45,06%	41,53%	74,83%
0°	6	53,93%						37,71%									
90°	1	45,46%	69,74%	72,10%	53,02%	56,36%	55,08%	20,47%	53,78%	51,08%	59,36%	59,13%	78,25%	71,72%	63,34%	65,55%	83,92%
90°	2	49,32%	60,23%	79,99%	66,42%	81,59%	47,29%	13,96%	43,63%	38,66%	59,93%	75,82%	68,77%	73,35%	65,81%	54,93%	64,53%
90°	3	36,12%	80,31%	82,33%	68,11%	62,67%	37,57%	7,39%	56,90%	34,42%	63,90%	60,00%	78,87%	71,10%	58,64%	59,22%	76,44%
90°	4	33,94%	64,96%	73,12%	58,99%	81,22%	40,96%	23,96%	26,53%	25,05%	70,70%	52,67%	59,32%	71,03%	64,52%	53,66%	78,06%
90°	5	33,65%	81,87%	80,11%	64,98%	82,08%	24,60%	13,05%	33,01%	26,80%	63,28%	65,48%	64,63%	61,39%	52,80%	49,00%	79,92%
90°	6	63,28%						40,55%									
180°	1	41,11%	64,08%	68,33%	44,91%	44,59%	48,20%	30,66%	50,32%	50,79%	54,30%	52,91%	75,42%	69,51%	61,85%	61,52%	80,55%
180°	2	43,42%	53,84%	75,57%	59,03%	78,70%	37,91%	7,84%	41,61%	37,11%	55,66%	73,26%	64,63%	70,33%	60,65%	51,87%	54,58%
180°	3	31,80%	78,30%	81,01%	64,79%	53,37%	37,91%	11,68%	51,36%	32,70%	59,52%	51,58%	74,20%	67,75%	55,55%	55,18%	74,15%
180°	4	32,40%	58,81%	70,97%	50,85%	78,83%	35,21%	31,38%	25,53%	21,28%	67,59%	44,87%	49,74%	67,87%	58,58%	51,23%	75,20%
180°	5	31,08%	79,04%	76,92%	61,76%	79,54%	18,15%	8,58%	30,97%	21,75%	58,29%	63,87%	50,96%	53,91%	48,06%	42,57%	76,21%
180°	6	57,23%						38,48%									
270°	1	47,71%	65,44%	69,85%	45,11%	47,43%	52,61%	30,20%	52,40%	49,98%	55,98%	50,74%	77,62%	72,13%	65,40%	66,98%	83,91%
270°	2	50,06%	54,79%	77,44%	60,58%	80,46%	52,80%	17,76%	50,37%	44,61%	57,10%	75,60%	66,89%	73,44%	67,21%	57,00%	54,72%

Orientación	Nivel	Antártica	Antofagasta	Calama	Concepción	Copiapó	Coyhaique	Los Libertadores	Puerto Montt	Punta Arenas	Rapa Nui	Robinson Crusoe	San Pedro	Santiago	Temuco	Termas de Chillan	Valparaíso
270°	3	39,68%	79,32%	82,90%	68,01%	56,05%	42,63%	19,42%	58,53%	36,63%	61,01%	51,59%	76,87%	70,42%	66,44%	61,49%	74,76%
270°	4	38,84%	59,47%	72,69%	53,32%	80,93%	41,94%	35,00%	32,08%	28,12%	69,02%	44,69%	53,26%	71,13%	66,44%	56,59%	80,22%
270°	5	37,69%	81,74%	78,93%	67,21%	82,00%	29,29%	20,30%	32,52%	18,95%	60,19%	65,76%	53,78%	58,19%	54,46%	43,85%	79,31%
270°	6	58,86%						42,73%									

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-24: Reducción de demanda energética frente a M2 en nivel 3

Orientación	Nivel	Antártica	Antofagasta	Calama	Concepción	Copiapó	Coyhaique	Los Libertadores	Puerto Montt	Punta Arenas	Rapa Nui	Robinson Crusoe	San Pedro	Santiago	Temuco	Termas de Chillan	Valparaíso
0°	1	32,41%	69,15%	73,25%	53,98%	54,04%	53,20%	33,63%	55,36%	47,12%	60,99%	57,98%	78,63%	73,37%	67,33%	69,63%	83,96%
0°	2	36,76%	60,34%	79,70%	65,80%	82,40%	49,74%	19,28%	49,98%	32,34%	60,10%	77,40%	68,78%	74,75%	67,18%	62,35%	62,15%
0°	3	21,35%	81,82%	84,80%	71,94%	60,63%	38,86%	21,96%	56,70%	30,79%	65,36%	59,30%	78,18%	72,54%	62,44%	63,40%	78,57%
0°	4	24,03%	64,90%	76,18%	59,66%	82,74%	37,99%	32,58%	35,87%	13,53%	72,44%	54,10%	56,79%	72,91%	64,08%	60,35%	80,30%
0°	5	22,94%	83,01%	81,11%	67,50%	83,37%	21,36%	19,10%	40,21%	20,17%	63,13%	70,86%	56,55%	60,74%	54,94%	55,26%	80,78%
0°	6	48,68%						46,59%									
90°	1	39,25%	75,89%	78,16%	63,43%	65,11%	58,48%	31,80%	61,57%	50,07%	65,71%	68,59%	82,26%	76,78%	69,93%	73,64%	87,72%
90°	2	43,55%	68,31%	84,34%	73,86%	85,28%	51,28%	26,22%	53,13%	37,40%	66,20%	81,42%	74,51%	78,13%	71,96%	65,52%	72,91%
90°	3	28,85%	84,31%	86,17%	75,18%	70,16%	42,29%	20,59%	64,17%	33,07%	69,55%	69,27%	82,75%	76,27%	66,08%	68,80%	82,01%
90°	4	26,42%	72,08%	78,96%	68,08%	84,99%	45,43%	34,80%	38,91%	23,51%	75,28%	63,64%	66,80%	76,22%	70,90%	64,54%	83,24%
90°	5	26,10%	85,55%	84,43%	72,74%	85,68%	30,31%	25,44%	44,30%	25,30%	69,03%	73,47%	71,14%	68,31%	61,29%	60,98%	84,67%
90°	6	59,10%						49,03%									
180°	1	34,41%	71,37%	75,21%	57,12%	55,70%	52,12%	40,54%	58,69%	49,78%	61,45%	63,82%	79,94%	74,97%	68,71%	70,56%	85,14%
180°	2	36,98%	63,21%	80,88%	68,11%	82,97%	42,61%	20,97%	51,45%	35,82%	62,59%	79,46%	71,14%	75,64%	67,73%	63,17%	65,31%
180°	3	24,03%	82,71%	85,13%	72,59%	62,73%	42,61%	24,27%	59,55%	31,31%	65,85%	62,80%	78,95%	73,53%	63,54%	65,71%	80,26%
180°	4	24,71%	67,17%	77,28%	61,74%	83,08%	40,12%	41,16%	38,08%	19,66%	72,65%	57,64%	58,99%	73,62%	66,03%	62,69%	81,06%
180°	5	23,23%	83,30%	81,94%	70,23%	83,64%	24,34%	21,61%	42,61%	20,14%	64,81%	72,24%	59,98%	62,17%	57,40%	56,06%	81,83%
180°	6	52,36%						47,25%									
270°	1	41,76%	72,46%	76,40%	57,27%	57,98%	56,20%	40,15%	60,42%	48,95%	62,86%	62,15%	81,74%	77,12%	71,63%	74,73%	87,71%
270°	2	44,38%	63,97%	82,34%	69,31%	84,38%	56,38%	29,48%	58,73%	43,47%	63,81%	81,25%	72,98%	78,20%	73,11%	67,10%	65,42%
270°	3	32,82%	83,52%	86,61%	75,10%	64,86%	46,97%	30,90%	65,51%	35,33%	67,11%	62,81%	81,12%	75,72%	72,47%	70,53%	80,72%
270°	4	31,87%	67,70%	78,63%	63,66%	84,76%	46,34%	44,27%	43,53%	26,64%	73,87%	57,50%	61,86%	76,30%	72,47%	66,79%	84,89%
270°	5	30,60%	85,45%	83,51%	74,48%	85,61%	34,64%	31,66%	43,89%	17,29%	66,42%	73,69%	62,28%	65,68%	62,65%	57,04%	84,20%
270°	6	54,18%						50,89%									

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-25: Reducción de demanda energética frente a M2 en nivel 4

Orientación	Nivel	Antártica	Antofagasta	Calama	Concepción	Copiapó	Coyhaique	Los Libertadores	Puerto Montt	Punta Arenas	Rapa Nui	Robinson Crusoe	San Pedro	Santiago	Temuco	Termas de Chillan	Valparaíso
0°	1	40,08%	74,08%	77,75%	61,55%	61,39%	64,88%	43,53%	61,53%	51,08%	65,87%	63,76%	81,73%	77,23%	72,25%	74,05%	86,23%
0°	2	43,94%	66,68%	83,11%	71,43%	85,21%	62,29%	31,32%	56,90%	37,40%	65,10%	80,51%	73,30%	78,41%	72,12%	67,82%	67,50%
0°	3	30,28%	84,73%	87,36%	76,56%	66,92%	54,12%	33,60%	62,68%	35,97%	69,70%	64,90%	81,34%	76,52%	68,09%	68,73%	81,60%
0°	4	32,65%	70,52%	80,19%	66,30%	85,50%	53,46%	42,63%	44,74%	20,00%	75,90%	60,41%	63,05%	76,83%	69,48%	66,12%	83,08%
0°	5	31,68%	85,73%	84,29%	72,85%	86,03%	40,99%	31,16%	48,47%	26,14%	67,75%	74,87%	62,85%	66,43%	61,72%	61,77%	83,50%
0°	6	54,51%						54,56%									
90°	1	46,15%	79,74%	81,84%	69,45%	70,69%	68,84%	41,97%	66,88%	53,81%	70,01%	72,92%	84,82%	80,15%	74,45%	77,48%	89,45%
90°	2	49,96%	73,38%	86,98%	78,17%	87,63%	63,44%	37,22%	59,61%	42,08%	70,43%	83,98%	78,20%	81,30%	76,18%	70,53%	76,74%
90°	3	36,92%	86,82%	88,49%	79,26%	74,93%	56,70%	32,43%	69,12%	38,07%	73,36%	73,49%	85,25%	79,71%	71,18%	73,34%	84,55%
90°	4	34,77%	76,54%	82,50%	73,34%	87,39%	59,05%	44,52%	47,36%	29,23%	78,38%	68,64%	71,61%	79,66%	75,28%	69,70%	85,61%
90°	5	34,49%	87,86%	87,05%	77,23%	87,97%	47,70%	36,56%	52,00%	30,89%	72,91%	77,12%	75,32%	72,90%	67,11%	66,66%	86,83%
90°	6	63,74%						56,63%									
180°	1	41,85%	75,95%	79,38%	64,18%	62,78%	64,07%	49,41%	64,40%	53,54%	66,28%	68,79%	82,84%	78,60%	73,41%	74,85%	87,24%

Orientación	Nivel	Antártica	Antofagasta	Calama	Concepción	Copiapó	Coyhaique	Los Libertadores	Puerto Montt	Punta Arenas	Rapa Nui	Robinson Crusoe	San Pedro	Santiago	Temuco	Termas de Chillan	Valparaíso
180°	2	44,13%	69,10%	84,09%	73,36%	85,69%	56,93%	32,76%	58,17%	40,62%	67,28%	82,28%	75,32%	79,17%	72,58%	68,53%	70,21%
180°	3	32,65%	85,47%	87,64%	77,10%	68,68%	56,93%	35,56%	65,15%	36,45%	70,13%	67,92%	81,99%	77,36%	69,03%	70,70%	83,05%
180°	4	33,25%	72,43%	81,10%	68,04%	85,78%	55,06%	49,93%	46,65%	25,67%	76,08%	63,47%	64,93%	77,44%	71,14%	68,12%	83,74%
180°	5	31,94%	85,97%	84,98%	75,13%	86,26%	43,22%	33,30%	50,54%	26,11%	69,22%	76,06%	65,78%	67,65%	63,81%	62,45%	84,40%
180°	6	57,77%						55,11%									
270°	1	48,37%	76,87%	80,37%	64,30%	64,69%	67,13%	49,07%	65,89%	52,77%	67,52%	67,36%	84,38%	80,44%	75,89%	78,41%	89,45%
270°	2	50,69%	69,74%	85,31%	74,37%	86,87%	67,26%	39,99%	64,44%	47,70%	68,34%	83,83%	76,89%	81,35%	77,15%	71,89%	70,31%
270°	3	40,44%	86,16%	88,86%	79,20%	70,48%	60,21%	41,21%	70,28%	40,17%	71,23%	67,92%	83,86%	79,24%	76,61%	74,82%	83,45%
270°	4	39,61%	72,87%	82,22%	69,65%	87,19%	59,73%	52,58%	51,34%	32,13%	77,14%	63,35%	67,38%	79,73%	76,61%	71,62%	87,03%
270°	5	38,48%	87,77%	86,28%	78,68%	87,91%	50,96%	41,85%	51,65%	23,47%	70,62%	77,31%	67,75%	70,65%	68,27%	63,29%	86,43%
270°	6	59,38%						58,21%									

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-26: Reducción de demanda energética frente a M4

Orientación	Nivel	Antártica	Antofagasta	Calama	Concepción	Copiapó	Coyhaique	Los Libertadores	Puerto Montt	Punta Arenas	Rapa Nui	Robinson Crusoe	San Pedro	Santiago	Temuco	Termas de Chillan	Valparaíso
0°	1	31,28%	61,28%	65,82%	40,88%	42,51%	45,10%	22,60%	46,31%	41,46%	53,75%	45,31%	73,81%	67,56%	60,17%	60,30%	79,00%
0°	2	35,70%	50,23%	74,06%	56,06%	77,98%	41,05%	5,86%	39,84%	25,09%	52,70%	70,58%	61,75%	69,24%	59,98%	50,78%	50,45%
0°	3	20,03%	77,19%	80,58%	63,95%	50,75%	28,29%	8,99%	47,92%	23,37%	58,94%	47,04%	73,26%	66,55%	54,21%	52,17%	71,94%
0°	4	22,75%	55,95%	69,57%	48,18%	78,41%	27,26%	21,37%	22,87%	4,27%	67,34%	40,26%	47,05%	67,00%	56,20%	48,18%	74,21%
0°	5	21,64%	78,68%	75,86%	58,24%	79,20%	7,76%	5,65%	28,09%	11,62%	56,30%	62,08%	46,76%	52,18%	45,06%	41,53%	74,83%
0°	6	47,82%						37,71%									
90°	1	38,23%	69,74%	72,10%	53,02%	56,36%	51,29%	20,47%	53,78%	44,72%	59,36%	59,13%	78,25%	71,72%	63,34%	65,55%	83,92%
90°	2	42,60%	60,23%	79,99%	66,42%	81,59%	42,86%	13,96%	43,63%	30,69%	59,93%	75,82%	68,77%	73,35%	65,81%	54,93%	64,53%
90°	3	27,65%	80,31%	82,33%	68,11%	62,67%	32,31%	7,39%	56,90%	25,89%	63,90%	60,00%	78,87%	71,10%	58,64%	59,22%	76,44%
90°	4	25,19%	64,96%	73,12%	58,99%	81,22%	35,99%	23,96%	26,53%	15,31%	70,70%	52,67%	59,32%	71,03%	64,52%	53,66%	78,06%
90°	5	24,86%	81,87%	80,11%	64,98%	82,08%	18,25%	13,05%	33,01%	17,29%	63,28%	65,48%	64,63%	61,39%	52,80%	49,00%	79,92%
90°	6	58,42%						40,55%									
180°	1	33,31%	64,08%	68,33%	44,91%	44,59%	43,84%	30,66%	50,32%	44,40%	54,30%	52,91%	75,42%	69,51%	61,85%	61,52%	80,55%
180°	2	35,92%	53,84%	75,57%	59,03%	78,70%	32,69%	7,84%	41,61%	28,94%	55,66%	73,26%	64,63%	70,33%	60,65%	51,87%	54,58%
180°	3	22,75%	78,30%	81,01%	64,79%	53,37%	32,69%	11,68%	51,36%	23,95%	59,52%	51,58%	74,20%	67,75%	55,55%	55,18%	74,15%
180°	4	23,44%	58,81%	70,97%	50,85%	78,83%	29,76%	31,38%	25,53%	11,05%	67,59%	44,87%	49,74%	67,87%	58,58%	51,23%	75,20%
180°	5	21,94%	79,04%	76,92%	61,76%	79,54%	11,26%	8,58%	30,97%	11,58%	58,29%	63,87%	50,96%	53,91%	48,06%	42,57%	76,21%
180°	6	51,56%						38,48%									
270°	1	40,78%	65,44%	69,85%	45,11%	47,43%	48,62%	30,20%	52,40%	43,48%	55,98%	50,74%	77,62%	72,13%	65,40%	66,98%	83,91%
270°	2	43,45%	54,79%	77,44%	60,58%	80,46%	48,83%	17,76%	50,37%	37,42%	57,10%	75,60%	66,89%	73,44%	67,21%	57,00%	54,72%
270°	3	31,69%	79,32%	82,90%	68,01%	56,05%	37,80%	19,42%	58,53%	28,40%	61,01%	51,59%	76,87%	70,42%	66,44%	61,49%	74,76%
270°	4	30,73%	59,47%	72,69%	53,32%	80,93%	37,05%	35,00%	32,08%	18,78%	69,02%	44,69%	53,26%	71,13%	66,44%	56,59%	80,22%
270°	5	29,44%	81,74%	78,93%	67,21%	82,00%	23,34%	20,30%	32,52%	8,42%	60,19%	65,76%	53,78%	58,19%	54,46%	43,85%	79,31%
270°	6	53,41%						42,73%									

Fuente: Elaboración propia

## Disminución de consumo energético

Los niveles de disminución de consumo energético se observan en la Tabla 6-27, en esta también se detalla el valor máximo y mínimo alcanzados según al nivel de M3 con que M1 es comparado. Estos rangos serán los utilizados para la propuesta de niveles de reducción de consumo energético.

Tabla 6-27: Reducción porcentual de consumo energético sobre niveles de M3

Zona climática	Ubicación	M3 Nivel 1	M3 Nivel 2	M3 Nivel 3	M3 Nivel 4	MAX	MIN	M4
NL	Antofagasta	24,41%	20,83%	9,52%	4,72%	24,41%	4,72%	61,29%
ND	Calama	26,50%	21,23%	13,82%	7,02%	26,50%	7,02%	63,23%
NVT	Copiapó	25,54%	21,11%	11,78%	5,91%	25,54%	5,91%	63,55%
CL	Valparaíso	24,52%	20,86%	9,78%	4,85%	24,52%	4,85%	54,88%
CI	Santiago	26,91%	21,82%	13,91%	7,07%	26,91%	7,07%	59,76%
SL (1)	Concepción	24,32%	20,10%	11,38%	5,70%	24,32%	5,70%	51,88%
SI	Temuco	22,09%	17,47%	11,71%	5,87%	22,09%	5,87%	48,28%
SL (2)	Puerto Montt	23,50%	19,58%	10,76%	5,37%	23,50%	5,37%	43,85%
SE (1)	Coyhaique	32,94%	28,61%	15,01%	7,68%	32,94%	7,68%	46,00%
SE (2)	Punta Arenas	22,07%	16,60%	14,14%	7,19%	22,07%	7,19%	34,66%
An (2)	Los Libertadores	31,00%	25,41%	17,52%	9,09%	31,00%	9,09%	57,72%
Rapa Nui	Rapa Nui	27,88%	21,57%	16,63%	8,58%	27,88%	8,58%	55,00%
R. Crusoe	Robinson Crusoe	24,59%	20,73%	10,36%	5,16%	24,59%	5,16%	48,66%
Antártica	Antártica	1,66%	-9,55%	16,11%	8,29%	16,11%	-9,55%	50,77%
An (1)	San Pedro	27,53%	21,07%	16,37%	8,15%	27,53%	8,15%	67,65%
An (3)	Termas de Chillan	23,63%	16,36%	12,66%	6,39%	23,63%	6,39%	52,36%

Fuente: Elaboración propia

## Disminución de horas de discomfort

La Tabla 6-28 presenta los resultados de reducción de las horas de discomfort en diferentes ubicaciones y orientaciones, clasificadas según niveles de intervención en el diseño. La tabla cuantifica el porcentaje de reducción en función de las mejoras implementadas en las envolventes térmicas y otros factores que afectan el confort térmico pasivo.

Cada fila representa una combinación específica de ubicación y orientación, con cinco niveles de intervención que logran distintos grados de reducción porcentual de horas de discomfort. La orientación y las características climáticas de cada localidad son cruciales en los resultados, ya que determinan la cantidad de horas en las que los ocupantes estarían en condiciones de incomodidad térmica.

Este análisis es clave para proponer y validar intervenciones pasivas o activas en el diseño de edificaciones en diversas zonas climáticas, mejorando el bienestar de los ocupantes mientras se reduce la dependencia de sistemas de climatización activa.

Las localidades que no entregaron resultados debido a indeterminación de su cálculo (Los Libertadores, Punta Arenas y Antártica) fueron omitidas para este estudio, estas localidades son las con los climas fríos del país, entiendo que el confort pasivo no es posible de alcanzar en dichas localidades.

Tabla 6-28: Reducción porcentual de horas de discomfort por nivel

Ubicación	Orientación	1	2	3	4	5
Antofagasta	0°	4,27%	5,89%	54,45%	25,67%	71,28%
Antofagasta	90°	20,87%	21,38%	61,55%	37,74%	79,15%
Antofagasta	180°	14,74%	18,67%	64,45%	34,64%	75,98%
Antofagasta	270°	18,07%	18,99%	63,84%	35,65%	79,97%
Calama	0°	5,00%	22,50%	52,26%	23,59%	40,62%
Calama	90°	17,08%	48,74%	57,68%	31,96%	63,93%
Calama	180°	12,40%	22,33%	56,02%	26,23%	36,71%

Ubicación	Orientación	1	2	3	4	5
Calama	270°	11,64%	32,16%	60,88%	30,59%	54,63%
Copiapó	0°	-13,19%	33,87%	4,64%	43,22%	50,19%
Copiapó	90°	-3,59%	41,55%	17,10%	48,63%	56,25%
Copiapó	180°	-20,39%	34,27%	-3,89%	46,57%	54,43%
Copiapó	270°	-19,47%	40,65%	3,33%	49,80%	58,79%
Valparaíso	0°	52,93%	5,45%	36,47%	59,67%	56,86%
Valparaíso	90°	73,72%	27,83%	48,03%	60,28%	76,08%
Valparaíso	180°	56,76%	-5,83%	42,45%	64,94%	56,89%
Valparaíso	270°	69,18%	7,70%	48,51%	68,48%	71,78%
Santiago	0°	30,23%	27,48%	22,33%	22,36%	17,30%
Santiago	90°	36,90%	34,31%	29,83%	29,43%	36,26%
Santiago	180°	34,01%	32,63%	27,46%	23,33%	10,27%
Santiago	270°	35,85%	33,49%	28,58%	27,11%	18,84%
Concepción	0°	-0,46%	18,28%	28,70%	14,30%	47,35%
Concepción	90°	6,38%	43,39%	37,91%	28,96%	50,17%
Concepción	180°	-2,56%	14,26%	31,79%	8,26%	52,40%
Concepción	270°	2,28%	23,70%	38,88%	21,17%	54,39%
Temuco	0°	20,88%	42,29%	39,21%	60,29%	53,73%
Temuco	90°	28,97%	62,33%	46,42%	76,13%	59,92%
Temuco	180°	24,40%	42,11%	43,82%	61,96%	58,66%
Temuco	270°	28,34%	56,14%	48,40%	75,54%	62,07%
Puerto Montt	0°	23,81%	47,18%	70,56%	34,97%	18,53%
Puerto Montt	90°	49,59%	50,00%	69,50%	39,54%	28,08%
Puerto Montt	180°	24,48%	52,93%	73,29%	41,25%	23,07%
Puerto Montt	270°	39,86%	53,88%	74,74%	43,50%	28,50%
Coyhaique	0°	3,55%	50,09%	41,88%	58,18%	52,92%
Coyhaique	90°	28,01%	61,94%	48,33%	62,22%	52,14%
Coyhaique	180°	-1,01%	49,28%	44,35%	58,01%	53,79%
Coyhaique	270°	9,14%	56,03%	46,89%	61,76%	55,57%
Rapa Nui	0°	-18,24%	12,44%	13,09%	24,59%	44,50%
Rapa Nui	90°	-4,84%	34,84%	27,48%	32,72%	58,39%
Rapa Nui	180°	-19,54%	12,78%	12,64%	23,32%	44,62%
Rapa Nui	270°	-15,62%	16,62%	17,85%	27,94%	48,46%
Robinson Crusoe	0°	16,00%	50,21%	12,88%	4,40%	46,74%
Robinson Crusoe	90°	41,58%	56,49%	36,04%	14,14%	50,06%
Robinson Crusoe	180°	15,93%	57,22%	-3,49%	-2,20%	50,49%
Robinson Crusoe	270°	19,50%	57,62%	10,92%	7,69%	52,11%
San Pedro	0°	15,75%	6,93%	9,66%	-6,84%	3,61%
San Pedro	90°	24,16%	15,00%	26,65%	-0,96%	9,60%
San Pedro	180°	18,36%	12,20%	8,28%	-9,77%	4,11%
San Pedro	270°	19,42%	10,98%	16,36%	-7,79%	6,31%
Termas de Chillan	0°	17,77%	32,52%	58,13%	38,04%	3,98%
Termas de Chillan	90°	41,20%	40,95%	73,96%	47,01%	13,71%
Termas de Chillan	180°	21,08%	38,35%	63,22%	42,43%	3,26%
Termas de Chillan	270°	38,22%	41,76%	74,79%	47,95%	9,26%

Fuente: Elaboración propia

## 6.2.5 Propuesta de niveles de reducción de demanda y consumo energético

### 6.2.5.1 PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE DEMANDA ENERGÉTICA CASO GRAN ESCALA

#### 6.2.5.1.1 METODOLOGÍA UTILIZADA

Para clasificar los resultados se emplea la técnica de clusterización, específicamente el algoritmo K-means, para agrupar diferentes ubicaciones en función de los porcentajes de reducción de demanda energética obtenidos en las simulaciones realizadas. Clusterización es una técnica utilizada en el análisis de datos para agrupar elementos similares entre sí, formando subconjuntos o "clúster" en función de sus características.

La elección de esta metodología responde a la necesidad de identificar patrones y relaciones entre las ubicaciones que presentan características similares en términos de reducción de demanda energética, permitiendo así proponer rangos de reducción para las distintas zonas. La clusterización se llevó a cabo utilizando tanto la media del porcentaje de reducción de demanda energética como el rango intercuartílico para cada ubicación, considerando todos los niveles evaluados. Para fundamentar la implementación de esta clusterización, se tomó en cuenta la desviación estándar de los resultados obtenidos, la cual fue de 16,23%, lo que indica que los datos se encuentran lo suficientemente separados para suponer que existen grupos dentro de ellos.

Una vez identificados los clústeres, se calcula el rango intercuartílico del porcentaje de reducción de demanda energética para cada clúster y nivel. El rango intercuartílico se utiliza debido a que se plantean cuatro rangos de reducción: suficiente, aceptable, bueno y muy bueno. Posteriormente, se calculó el promedio de cada cuartil, lo que representará el porcentaje preliminar de reducción de demanda energética a alcanzar. Este porcentaje se comparará con los valores establecidos actualmente en la certificación CES en su versión 1.1 y se sensibilizará según esos datos para asegurar coherencia y aplicabilidad de las metas propuestas.

#### 6.2.5.1.2 DESARROLLO

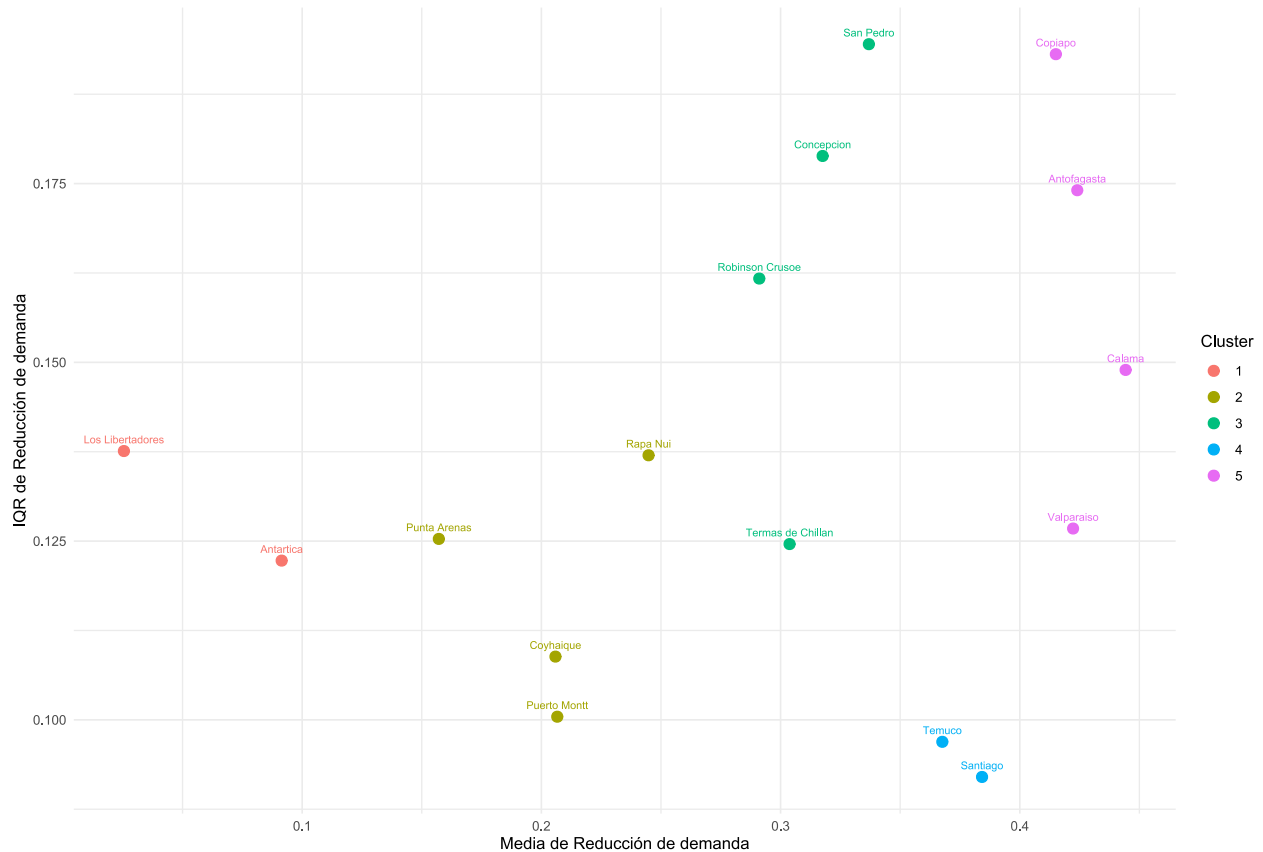
Se realizaron distintas clusterizaciones replicables para encontrar el número óptimo de clúster, se realizaron pruebas de 2 a 10 clúster, en donde los mejores resultados de coherencia, distanciamiento y pertenencia se obtuvieron con 5 clúster. En la Tabla 6-29 se pueden observar los índices de validación obtenidos con 5 clúster, mientras que el gráfico de clusterización se observa en la Figura 6-9.

Tabla 6-29: Índices de calidad de clusterización

Silhouette	Calinski_Harabasz	Davies_Bouldin	Dunn
0,56	47,00	0,50	0,58

Fuente: Elaboración propia

Figura 6-9: Resultado clusterización de porcentaje de reducción de demanda



Fuente: Elaboración propia

En los resultados anteriores se observa que dentro del clúster 1 se encuentran Los Libertadores y Antártica; en el clúster 2 se encuentran Punta Arenas, Coyhaique, Puerto Montt y Rapa Nui; el clúster 3 se compone por Robinson Crusoe, Termas de Chillán, Concepción y San Pedro; el clúster 4 por Santiago y Temuco; y por último el clúster 5 por Copiapó, Antofagasta, Calama y Valparaíso. Que ubicaciones con distintos tipos de clima se encuentren dentro del mismo grupo significa que el comportamiento de reducción de demanda frente a los casos evaluados es similar, no que posean condiciones climáticas parecidas.

Para cada uno de estos clústeres, se calculó el promedio de cada cuartil con el fin de definir el límite inferior de reducción necesario para alcanzar cada categoría. Por ejemplo, en la zona CI, representada por Santiago, se lograría una categoría "Suficiente" con una reducción de demanda del 28%, y una categoría "Muy Bueno" con una reducción del 41%, ambas comparadas con el nivel 1 del M2. Los resultados para los niveles 1, 2, 3 y 4 se pueden observar en la Tabla 6-31, Tabla 6-32, Tabla 6-33 y Tabla 6-34 respectivamente.

Tabla 6-30: Asignación de clúster para cada ubicación

Zona	Ubicación	Clúster
An (2)	Los Libertadores	1
Antártica	Antártica	1
SL (2)	Puerto Montt	2
SE (1)	Coyhaique	2
SE (2)	Punta Arenas	2
Rapa Nui	Rapa Nui	2
SL (1)	Concepción	3
R. Crusoe	Robinson Crusoe	3

Zona	Ubicación	Clúster
An (1)	San Pedro	3
An (3)	Termas de Chillan	3
CI	Santiago	4
SI	Temuco	4
NL	Antofagasta	5
ND	Calama	5
NVT	Copiapó	5
CL	Valparaíso	5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-31: Resultados de rangos de reducción de demanda energética para nivel 1 de M2

Zona	Ubicación	Clúster	Suficiente	Aceptable	Bueno	Muy Bueno
SL (2)	Puerto Montt	2	14%	19%	24%	31%
SE (1)	Coyhaique	2	14%	19%	24%	31%
SE (2)	Punta Arenas	2	14%	19%	24%	31%
Rapa Nui	Rapa Nui	2	14%	19%	24%	31%
CI	Santiago	4	28%	33%	37%	41%
SI	Temuco	4	28%	33%	37%	41%
An (2)	Los Libertadores	1	11%	13%	22%	31%
Antártica	Antártica	1	11%	13%	22%	31%
SL (1)	Concepción	3	20%	28%	32%	41%
R. Crusoe	Robinson Crusoe	3	20%	28%	32%	41%
An (1)	San Pedro	3	20%	28%	32%	41%
An (3)	Termas de Chillan	3	20%	28%	32%	41%
NL	Antofagasta	5	22%	35%	41%	48%
ND	Calama	5	22%	35%	41%	48%
NVT	Copiapó	5	22%	35%	41%	48%
CL	Valparaíso	5	22%	35%	41%	48%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-32: Resultados de rangos de reducción de demanda energética para nivel 2 de M2

Zona	Ubicación	Clúster	Suficiente	Aceptable	Bueno	Muy Bueno
SL (2)	Puerto Montt	2	12%	17%	22%	28%
SE (1)	Coyhaique	2	12%	17%	22%	28%
SE (2)	Punta Arenas	2	12%	17%	22%	28%
Rapa Nui	Rapa Nui	2	12%	17%	22%	28%
CI	Santiago	4	24%	29%	34%	38%
SI	Temuco	4	24%	29%	34%	38%
An (2)	Los Libertadores	1	11%	14%	21%	29%
Antártica	Antártica	1	11%	14%	21%	29%
SL (1)	Concepción	3	16%	23%	28%	37%
R. Crusoe	Robinson Crusoe	3	16%	23%	28%	37%
An (1)	San Pedro	3	16%	23%	28%	37%
An (3)	Termas de Chillan	3	16%	23%	28%	37%
NL	Antofagasta	5	21%	32%	39%	46%
ND	Calama	5	21%	32%	39%	46%
NVT	Copiapó	5	21%	32%	39%	46%
CL	Valparaíso	5	21%	32%	39%	46%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-33: Resultados de rangos de reducción de demanda energética para nivel 3 de M2

Zona	Ubicación	Clúster	Suficiente	Aceptable	Bueno	Muy Bueno
SL (2)	Puerto Montt	2	2	13%	19%	25%
SE (1)	Coyhaique	2	2	13%	19%	25%
SE (2)	Punta Arenas	2	2	13%	19%	25%
Rapa Nui	Rapa Nui	2	2	13%	19%	25%
CI	Santiago	4	4	33%	37%	41%
SI	Temuco	4	4	33%	37%	41%
An (2)	Los Libertadores	1	1	11%	15%	23%
Antártica	Antártica	1	1	11%	15%	23%
SL (1)	Concepción	3	3	20%	32%	37%
R. Crusoe	Robinson Crusoe	3	3	20%	32%	37%
An (1)	San Pedro	3	3	20%	32%	37%
An (3)	Termas de Chillan	3	3	20%	32%	37%
NL	Antofagasta	5	5	32%	43%	49%
ND	Calama	5	5	32%	43%	49%
NVT	Copiapó	5	5	32%	43%	49%
CL	Valparaíso	5	5	32%	43%	49%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-34: Resultados de rangos de reducción de demanda energética para nivel 4 de M2

Zona	Ubicación	Clúster	Suficiente	Aceptable	Bueno	Muy Bueno
SL (2)	Puerto Montt	2	2	16%	22%	29%
SE (1)	Coyhaique	2	2	16%	22%	29%
SE (2)	Punta Arenas	2	2	16%	22%	29%
Rapa Nui	Rapa Nui	2	2	16%	22%	29%
CI	Santiago	4	4	37%	41%	45%
SI	Temuco	4	4	37%	41%	45%
An (2)	Los Libertadores	1	1	11%	18%	26%
Antártica	Antártica	1	1	11%	18%	26%
SL (1)	Concepción	3	3	25%	37%	42%
R. Crusoe	Robinson Crusoe	3	3	25%	37%	42%
An (1)	San Pedro	3	3	25%	37%	42%
An (3)	Termas de Chillan	3	3	25%	37%	42%
NL	Antofagasta	5	5	39%	49%	54%
ND	Calama	5	5	39%	49%	54%
NVT	Copiapó	5	5	39%	49%	54%
CL	Valparaíso	5	5	39%	49%	54%

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar los resultados varían respecto al nivel de modelo 2 con el que son comparados, debido a esto para cada ubicación el límite se determinará mediante la moda de todos los niveles, luego estos valores serán suavizados con los rangos actuales que existen en la certificación CES v1.1 y serán simplificados a múltiplos de 5% para facilitar su lectura.

Tabla 6-35: Resultados de rango de reducción de demanda por moda o promedio

Rango	NL - ND - NVT - CL	An (1) - R.Crusoe	Rapa Nui	CI - SI	SL (1) - An (3)	SL (2) - SE (1) - SE (2)	An (2) - Antártica
Muy Bueno	55%	45%	30%	40%	45%	30%	30%
Bueno	40%	30%	25%	35%	30%	25%	20%
Aceptable	40%	30%	20%	35%	30%	20%	15%
Suficiente	20%	20%	15%	35%	20%	15%	10%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-36: Resultados de rango de reducción de demanda según CES v1.1

Rango	NL - ND - NVT - CL	An (1) - R.Crusoe	Rapa Nui	CI - SI	SL (1) - An (3)	SL (2)- SE (1) - SE (2)	An (2) - Antártica
Muy Bueno	50%	45%	35%	35%	45%	40%	40%
Bueno	40%	35%	30%	30%	35%	30%	30%
Aceptable	30%	25%	20%	25%	30%	20%	20%
Suficiente	20%	20%	15%	20%	20%	15%	10%

Fuente: Elaboración propia en base CES v1.1

### 6.2.5.1.3 PROPUESTA DE RANGOS DE REDUCCIÓN DE DEMANDA ENERGÉTICA

Considerando los resultados de la Tabla 6-35 junto a los rangos que posee actualmente la CES v1.1 se proponen los rangos que se observan en la Tabla 6-37.

Tabla 6-37: Propuesta de rangos de reducción de demanda energética

Rango	NL - ND - NVT - CL	An (1) - R.Crusoe	Rapa Nui	CI - SI	SL (1) - An (3)	SL (2)- SE (1) - SE (2)	An (2) - Antártica
Muy Bueno	50%	45%	35%	35%	45%	40%	40%
Bueno	40%	35%	30%	30%	35%	30%	30%
Aceptable	30%	25%	20%	25%	30%	20%	20%
Suficiente	20%	20%	15%	20%	20%	15%	10%

Fuente: Elaboración propia

Además, se propone una alternativa para definir los rangos, asociándolos a los puntajes otorgados y entregando puntaje según la reducción alcanzada, reconociendo límites intermedios para cada rango. Esta propuesta utiliza los puntajes relacionados con la variable de reducción de demanda energética según la certificación CES v1.1, usándolos como límites de cada rango y asociándolos a las reducciones establecidas en la Tabla 6-37. La Tabla 6-38 presenta la propuesta de puntajes según la reducción alcanzada, con el objetivo de reconocer de manera más justa el nivel de reducción de demanda lograda.

Tabla 6-38: Propuesta de puntajes de reducción de demanda energética

Rango	Puntaje	NL - ND - NVT - CL	An (1) - R.Crusoe	Rapa Nui	CI - SI	SL (1) - An (3)	SL (2)- SE (1) - SE (2)	An (2) - Antártica
Suficiente	4	20,0%	20,0%	15,0%	20,0%	20,0%	15,0%	10,0%
	5	22,5%	21,5%	17,5%	21,5%	21,5%	17,5%	13,5%
	6	25,0%	22,5%	20,0%	22,5%	22,5%	20,0%	17,5%
	7	27,5%	24,0%	22,5%	24,0%	24,0%	22,5%	21,0%
Aceptable	8	30,0%	25,0%	25,0%	25,0%	25,0%	25,0%	25,0%
	9	32,5%	27,5%	26,5%	26,5%	27,5%	26,5%	26,5%
	10	35,0%	30,0%	27,5%	27,5%	30,0%	27,5%	27,5%
	11	37,5%	32,5%	28,5%	28,5%	32,5%	28,5%	28,5%
Bueno	12	40,0%	35,0%	30,0%	30,0%	35,0%	30,0%	30,0%
	13	41,5%	36,5%	31,0%	31,0%	36,5%	31,5%	31,5%
	14	43,0%	38,0%	32,0%	32,0%	38,0%	33,0%	33,0%
	15	44,5%	39,5%	33,0%	33,0%	39,5%	34,5%	34,5%
	16	46,0%	41,0%	34,0%	34,0%	41,0%	36,0%	36,0%
Muy Bueno	17	47,5%	42,5%	35,0%	35,0%	42,5%	37,5%	37,5%
	18	50,0%	45,0%	35,0%	35,0%	45,0%	40,0%	40,0%

Fuente: Elaboración propia

## 6.2.5.2 PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE CONSUMO ENERGÉTICO CASO GRAN ESCALA

### 6.2.5.2.1 METODOLOGÍA UTILIZADA

Para los resultados de reducción de consumo se consideró utilizar la misma técnica aplicada para los rangos de reducción de demanda. Sin embargo, la desviación estándar de los resultados de la simulación de consumo energético fue baja, aproximadamente un 5%, lo que indicaba que los datos no presentaban agrupaciones claras. Aunque se implementó un algoritmo de clusterización, los índices de coherencia y validez obtenidos no fueron satisfactorios.

Por lo tanto, se concluye que, en lo que respecta a la reducción de consumo energético, todas las ubicaciones pertenecen al mismo grupo, lo cual es lógico dado que el consumo depende de los sistemas activos instalados. En consecuencia, se procedió a calcular el rango intercuartílico del porcentaje de reducción de consumo energético para todas las ubicaciones en conjunto. El rango intercuartílico se empleó porque se definieron cuatro categorías de reducción: suficiente, aceptable, bueno y muy bueno. Posteriormente, se calculó el promedio de cada cuartil, que representará el porcentaje preliminar de reducción de consumo energético a alcanzar. Este porcentaje se comparará con los valores establecidos en la certificación CES v1.1, y se ajustará según esos datos para asegurar la coherencia y aplicabilidad de las metas propuestas.

### 6.2.5.2.2 DESARROLLO

Para cada uno de los niveles se calculó el promedio de cada cuartil con el fin de definir el límite inferior de reducción necesario para alcanzar cada categoría. Por ejemplo, para el nivel 1, se lograría una categoría "Suficiente" con una reducción de consumo del 58%, y una categoría "Muy Bueno" con una reducción del 61%.

Tabla 6-39: Resultados de rangos de reducción de consumo energético por nivel de M3

Nivel	Suficiente	Aceptable	Bueno	Muy Bueno
1	58%	60%	61%	61%
2	55%	58%	59%	60%
3	48%	50%	51%	52%
4	45%	47%	48%	49%

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar los resultados varían respecto al nivel de modelo 3 con el que son comparados, debido a esto el límite se determinara mediante el promedio de todos los niveles, luego estos valores serán suavizados con los rangos actuales que existen en la certificación CES v1.1 y serán simplificados a múltiplos de 5% para facilitar su lectura.

Tabla 6-40: Resultados de rango de reducción de demanda por moda o promedio

Fuente	Suficiente	Aceptable	Bueno	Muy Bueno
Promedio niveles	51%	54%	55%	56%
CES	10%	20%	30%	40%

Fuente: Elaboración propia, CES v1.1

### 6.2.5.2.3 PROPUESTA DE RANGOS DE REDUCCIÓN DE CONSUMO ENERGÉTICO

Considerando los resultados de la Tabla 6-39 junto a los rangos que posee actualmente la CES v1. Se proponen los rangos que se observan en la Tabla 6-41.

Tabla 6-41: Propuesta de rangos de reducción de consumo energético

Suficiente	Aceptable	Bueno	Muy Bueno
25%	35%	40%	45%

Fuente: Elaboración propia

Además, se propone una alternativa para definir los rangos, asociándolos a los puntajes otorgados y entregando puntaje según la reducción alcanzada, reconociendo límites intermedios para cada rango. Esta propuesta utiliza los puntajes

relacionados con la variable de reducción de consumo energética según la certificación CES v1.1, usándolos como límites de cada rango y asociándolos a las reducciones establecidas en la Tabla 6-41. La Tabla 6-42 presenta la propuesta de puntajes según la reducción alcanzada, con el objetivo de reconocer de manera más justa el nivel de reducción de consumo lograda.

Tabla 6-42: Propuesta de puntajes de reducción de consumo energético

Rango	Puntaje	NL - ND - NVT - CL
Suficiente	4	25,0%
	5	27,5%
	6	30,0%
	7	32,5%
Aceptable	8	35,0%
	9	37,5%
	10	40,0%
	11	42,5%
Bueno	12	40,0%
	13	41,0%
	14	42,0%
	15	43,0%
Muy Bueno	16	45,0%

Fuente: Elaboración propia

### 6.2.5.3 PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE HORAS DE DISCONFORT CASO GRAN ESCALA

#### 6.2.5.3.1 METODOLOGÍA UTILIZADA

Para clasificar los resultados se empleará la técnica de clusterización, la misma utilizada para calcular los rangos de reducción de demanda. Para esta decisión, se tomó en cuenta la desviación estándar de los resultados obtenidos, la cual fue aproximadamente del 10%, lo que indica que los datos se encuentran lo suficientemente separados para suponer que existen grupos dentro de ellos.

Una vez identificados los clústeres, se calculó el rango intercuartílico del porcentaje de reducción de horas de disconfort para cada clúster. Posteriormente, se calculó el promedio de cada cuartil, lo que representará el porcentaje preliminar de reducción de horas de disconfort a alcanzar. Este porcentaje se comparará con los valores establecidos actualmente en la certificación CES en su versión 1.1 y se sensibilizará según esos datos para asegurar coherencia y aplicabilidad de las metas propuestas. Dentro de este análisis se omitieron los datos obtenidos de Punta Arenas, Los Libertadores y Antártica ya que no se obtuvieron resultados de reducción de horas de disconfort debido a la zona climática.

#### 6.2.5.3.2 DESARROLLO

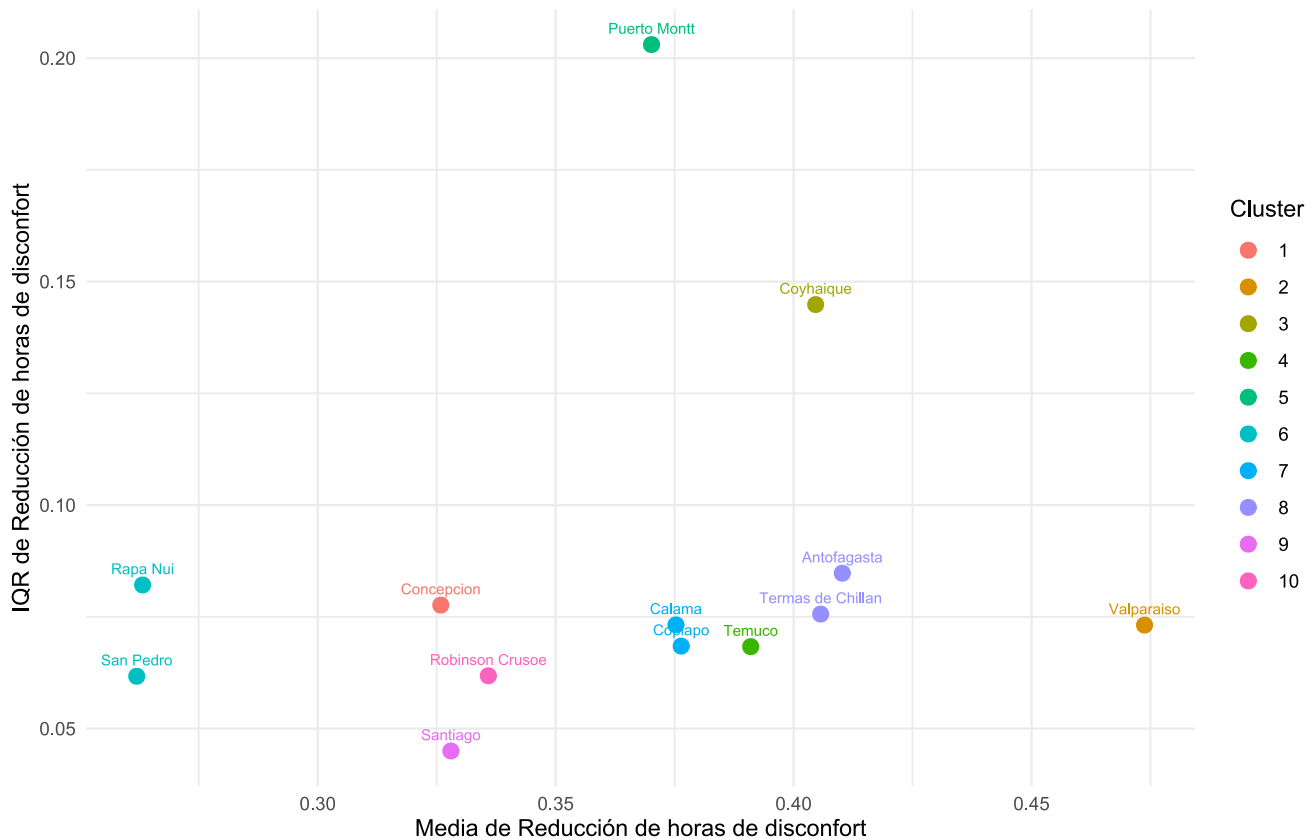
Se realizaron distintas clusterizaciones replicables para encontrar el número óptimo de clúster, se realizaron pruebas de 2 a 10 clúster, en donde los mejores resultados de coherencia, distanciamiento y pertenencia se obtuvieron con 10 clúster. En la Tabla 6-43 se pueden observar los índices de validación obtenidos con 10 clúster, mientras que el gráfico de clusterización se observa en la Figura 6-10.

Tabla 6-43: Índices de calidad de clusterización

Silhouette	Calinski_Harabasz	Davies_Bouldin	Dunn
0,82	77,61	0,15	0,71

Fuente: Elaboración propia

Figura 6-10: Resultado clusterización de porcentaje de reducción de horas de discomfort



Fuente: Elaboración propia

La asociación de cada ubicación a cada clúster se puede observar en la tabla a continuación.

Tabla 6-44: Asignación de clúster para cada ubicación

Zona	Ubicación	Clúster
SL (1)	Concepción	1
CL	Valparaíso	2
SE (1)	Coyhaique	3
SI	Temuco	4
SL (2)	Puerto Montt	5
Rapa Nui	Rapa Nui	6
An (1)	San Pedro	6
ND	Calama	7
NVT	Copiapó	7
An (3)	Termas de Chillan	8
NL	Antofagasta	8
CI	Santiago	9
R. Crusoe	Robinson Crusoe	10

Fuente: Elaboración propia

Para cada uno de estos clústeres, se calculó el promedio de cada cuartil con el fin de definir el límite inferior de reducción necesario para alcanzar cada categoría. Por ejemplo, en la zona CI, representada por Santiago, se lograría una categoría "Suficiente" con una reducción de horas de discomfort del 25%, y una categoría "Muy Bueno" con una reducción del 40%, ambas comparadas con el M2 pasivo. Los resultados para cada clúster se observan en la Tabla 6-45, mientras que en la Tabla

6-46 se observan los rangos en múltiplos de 5% para cada ubicación. Por último, en la Tabla 6-47 se pueden observar los rangos de reducción que existen en la versión 1.1 de la certificación CES, con los cuáles los resultados serán suavizados.

Tabla 6-45: Resultados de rangos de reducción de horas de discomfort

Clúster	Suficiente	Aceptable	Bueno	Muy Bueno
1	21,1%	31,4%	36,3%	41,6%
2	41,7%	44,5%	48,5%	54,8%
3	24,9%	37,1%	46,1%	53,8%
4	33,3%	36,4%	39,4%	47,3%
5	24,0%	30,2%	40,6%	53,3%
6	18,3%	24,5%	27,9%	34,3%
7	29,3%	35,7%	39,5%	45,9%
8	30,1%	39,3%	42,9%	50,9%
9	25,1%	32,8%	35,0%	38,3%
10	25,2%	32,5%	35,8%	40,8%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-46: Resultados de rangos de reducción de horas de discomfort por ubicación

Zona	Ubicación	Clúster	Suficiente	Aceptable	Bueno	Muy Bueno
SL (2)	Puerto Montt	5	25%	30%	40%	55%
SE (1)	Coyhaique	3	25%	35%	45%	55%
Rapa Nui	Rapa Nui	6	20%	25%	30%	35%
CI	Santiago	9	25%	35%	35%	40%
SI	Temuco	4	35%	35%	40%	45%
SL (1)	Concepción	1	20%	30%	35%	40%
R. Crusoe	Robinson Crusoe	10	25%	35%	35%	40%
An (1)	San Pedro	6	20%	25%	30%	35%
An (3)	Termas de Chillan	8	30%	40%	45%	50%
NL	Antofagasta	8	30%	40%	45%	50%
ND	Calama	7	30%	35%	40%	45%
NVT	Copiapó	7	30%	35%	40%	45%
CL	Valparaíso	2	40%	45%	50%	55%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-47: Rangos de reducción de horas de discomfort según CES v1.1

Zona	Ubicación	Aceptable	Bueno	Muy Bueno
SL (2)	Puerto Montt	10%	15%	20%
SE (1)	Coyhaique	-	5%	10%
Rapa Nui	Rapa Nui	5%	10%	15%
CI	Santiago	10%	20%	30%
SI	Temuco	10%	15%	20%
SL (1)	Concepción	10%	20%	30%
R. Crusoe	Robinson Crusoe	10%	20%	30%
An (1)	San Pedro	10%	20%	30%
An (3)	Termas de Chillan	10%	15%	20%
NL	Antofagasta	5%	10%	15%
ND	Calama	5%	10%	15%
NVT	Copiapó	5%	10%	15%
CL	Valparaíso	10%	20%	30%

Fuente: Elaboración propia en base a CES v1.1

Como se puede observar los resultados varían en gran cantidad a los expresados por CES v1.1, por lo que estos valores serán suavizados con estos rangos actuales que existen en la certificación CES v1.1 y serán simplificados a múltiplos de 5% para facilitar su lectura.

6.2.5.3.3 PROPUESTA DE RANGOS DE REDUCCIÓN DE HORAS DE DISCONFORT

Considerando los resultados de la Tabla 6-46 junto a los rangos que posee actualmente la CES v1.1 se proponen los rangos que se observan en la Tabla 6-48.

Tabla 6-48: Propuesta de rangos de reducción de horas de disconfort

Rango	NL - ND - NVT - CL	An (1) - R.Crusoe	Rapa Nui	CI - SI	SL (1) - An (3)	SL (2)- SE (1)
Suficiente	15%	10%	10%	15%	15%	15%
Aceptable	25%	20%	15%	25%	25%	20%
Bueno	30%	25%	20%	30%	30%	25%
Muy Bueno	35%	30%	25%	35%	35%	35%

Fuente: Elaboración propia

Además, se propone una alternativa para definir los rangos, asociándolos a los puntajes otorgados y entregando puntaje según la reducción alcanzada, reconociendo límites intermedios para cada rango. Esta propuesta utiliza los puntajes relacionados con la variable de reducción de horas de disconfort según la certificación CES v1.1, usándolos como límites de cada rango y asociándolos a las reducciones establecidas en la Tabla 6-48. La Tabla 6-49 presenta la propuesta de puntajes según la reducción alcanzada, con el objetivo de reconocer de manera más justa el nivel de reducción de horas de disconfort lograda.

Tabla 6-49: Propuesta de puntajes de reducción de horas de disconfort

Rango	Puntaje	NL - ND - NVT - CL	An (1) - R.Crusoe	Rapa Nui	CI - SI	SL (1) - An (3)	SL (2)- SE (1) -
Suficiente	15,0%	10,0%	10,0%	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%
	18,0%	13,0%	13,0%	18,0%	18,0%	18,0%	18,0%
	21,0%	16,0%	16,0%	21,0%	21,0%	21,0%	21,0%
	25,0%	20,0%	15,0%	25,0%	25,0%	20,0%	25,0%
Aceptable	26,5%	21,5%	16,5%	26,5%	26,5%	21,5%	26,5%
	28,0%	23,0%	18,0%	28,0%	28,0%	23,0%	28,0%
	30,0%	25,0%	20,0%	30,0%	30,0%	25,0%	30,0%
	31,0%	26,0%	21,0%	31,0%	31,0%	27,5%	31,0%
Bueno	32,0%	27,0%	22,0%	32,0%	32,0%	30,0%	32,0%
	33,0%	28,0%	23,0%	33,0%	33,0%	32,5%	33,0%
Muy Bueno	35,0%	30,0%	25,0%	35,0%	35,0%	35,0%	35,0%

Fuente: Elaboración propia

6.2.5.4 PROPUESTA DE RANGOS DE REDUCCIÓN DE CONSUMO INFORMATIVA SOBRE MODELO 4 CASO GRAN ESCALA

Los resultados de reducción de consumo informativo (sobre modelo 4) indican que el promedio de reducción de consumo sobre el modelo 4 para todas las ubicaciones es de 52,9% con una desviación estándar de 1,6% y un rango 5,8% lo que indica que los resultados se encuentran muy cerca uno de otro sin importar la ubicación.

Por lo tanto, se concluye que, en lo que respecta a la reducción de consumo energético informativo, todas las ubicaciones pertenecen al mismo grupo. Para este caso el rango es tan pequeño que las diferencias entre los rangos intercuartílicos cómo máximo son de 2,9% por lo que generar diferencias por rango no es significativo.

6.2.5.4.1 DESARROLLO

Para el nivel máximo se calculó el promedio de los resultados que es igual a 52,9%, considerando que el valor máximo es de 56,4% y el mínimo de 50,6% se define 55% como el límite inferior del rango Muy Bueno, y 50% como el límite inferior del rango Bueno. Para los niveles aceptable y suficiente se reduce en 10% el límite inferior respecto al próximo rango con el fin de mantener la armonía que existe con los otros requerimientos.

6.2.5.4.2 PROPUESTA DE RANGOS DE REDUCCIÓN DE CONSUMO ENERGÉTICO INFORMATIVO

Considerando lo anterior junto a los rangos que posee actualmente la CES v1. Se proponen los rangos que se observan en la Tabla 6-50.

Tabla 6-50: Propuesta de rangos de reducción de consumo energético informativo

Suficiente	Aceptable	Bueno	Muy Bueno
30%	40%	50%	55%

Fuente: Elaboración propia

6.2.5.5 PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE DEMANDA ENERGÉTICA CASO PEQUEÑA ESCALA

6.2.5.5.1 DESARROLLO

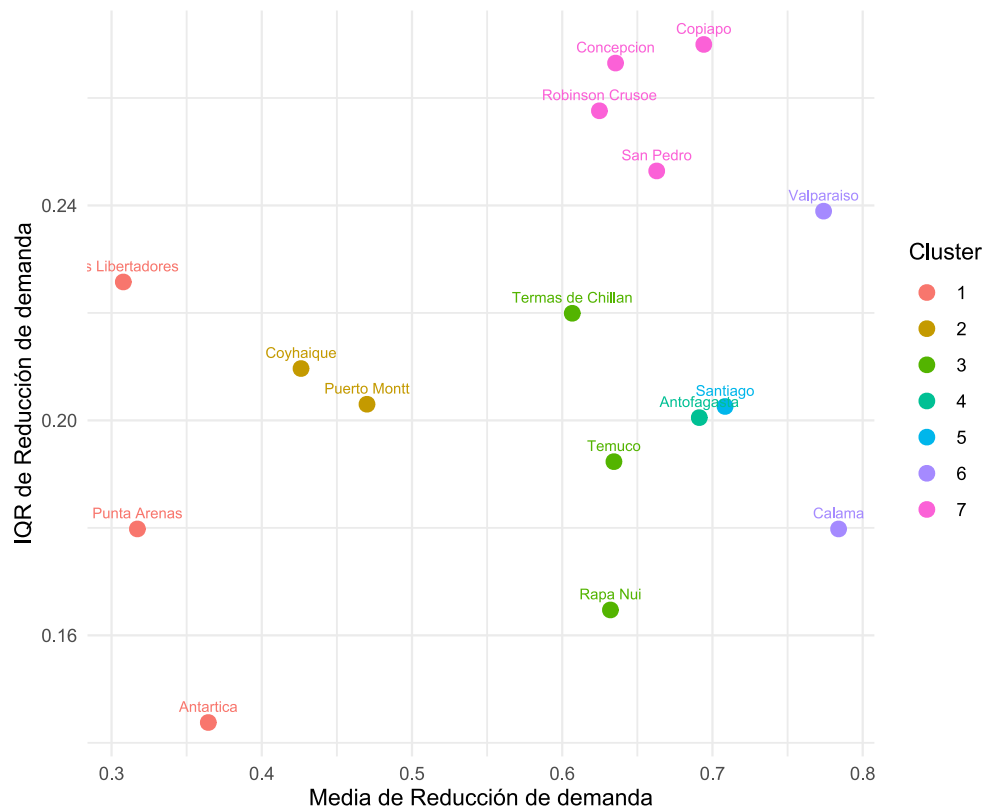
Para el caso de pequeña escala, se utiliza la misma metodología para el caso de gran escala. En primer lugar, se realizaron distintas clusterizaciones replicables para encontrar el número óptimo de clústers, se realizaron pruebas de 2 a 10 clústers, en donde los mejores resultados de coherencia, distanciamiento y pertenencia se obtuvieron con 7 clústers. En la Tabla 6-51 se pueden observar los índices de validación obtenidos con 7 clústers, mientras que el gráfico de clusterización se observa en la Figura 6-11.

Tabla 6-51: Índices de calidad de clusterización

Silhouette	Calinski_Harabasz	Davies_Bouldin	Dunn
0,467	48,379	0,492	0,420

Fuente: Elaboración propia

Figura 6-11: Resultado clusterización de porcentaje de reducción de demanda caso pequeña escala



Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-52: Asignación de clúster para cada ubicación

Zona	Ubicación	Clúster
An (2)	Los Libertadores	1
Antártica	Antártica	1
SE (2)	Punta Arenas	1
SE (1)	Coyhaique	2
SL (2)	Puerto Montt	2
An (3)	Termas de Chillan	3
Rapa Nui	Rapa Nui	3
SI	Temuco	3
NL	Antofagasta	4
CI	Santiago	5
CL	Valparaíso	6
ND	Calama	6
An (1)	San Pedro	7
NVT	Copiapó	7
R. Crusoe	Robinson Crusoe	7
SL (1)	Concepción	7

Fuente: Elaboración propia

Para cada uno de estos clústers, se calculó el promedio de cada cuartil con el fin de definir el límite inferior de reducción necesario para alcanzar cada categoría. Por ejemplo, en la zona CI, representada por Santiago, se lograría una categoría "Suficiente" con una reducción de demanda del 27%, y una categoría "Muy Bueno" con una reducción del 48%, ambas comparadas con el nivel 1 del M2. Los resultados para los niveles 1, 2, 3 y 4 se pueden observar en Tabla 6-53, Tabla 6-54, Tabla 6-55, y Tabla 6-56 respectivamente.

Tabla 6-53: Resultados de rangos de reducción de demanda energética para nivel 1 de M2

Zona	Ubicación	Clúster	Suficiente	Aceptable	Bueno	Muy Bueno
SL (2)	Puerto Montt	2	15%	20%	25%	32%
SE (1)	Coyhaique	2	15%	20%	25%	32%
SE (2)	Punta Arenas	1	11%	14%	22%	32%
Rapa Nui	Rapa Nui	3	18%	30%	41%	48%
CI	Santiago	5	27%	37%	41%	48%
SI	Temuco	3	18%	30%	41%	48%
An (2)	Los Libertadores	1	11%	14%	22%	32%
Antártica	Antártica	1	11%	14%	22%	32%
SL (1)	Concepción	7	18%	27%	32%	41%
R. Crusoe	Robinson Crusoe	7	18%	27%	32%	41%
An (1)	San Pedro	7	18%	27%	32%	41%
An (3)	Termas de Chillan	3	18%	30%	41%	48%
NL	Antofagasta	4	27%	33%	36%	41%
ND	Calama	6	19%	29%	35%	44%
NVT	Copiapó	7	18%	27%	32%	41%
CL	Valparaíso	6	19%	29%	35%	44%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-54: Resultados de rangos de reducción de demanda energética para nivel 2 de M2

Zona	Ubicación	Clúster	Suficiente	Aceptable	Bueno	Muy Bueno
SL (2)	Puerto Montt	2	11%	16%	20%	27%
SE (1)	Coyhaique	2	11%	16%	20%	27%
SE (2)	Punta Arenas	1	11%	15%	21%	30%
Rapa Nui	Rapa Nui	3	16%	28%	40%	47%
CI	Santiago	5	22%	32%	37%	44%
SI	Temuco	3	16%	28%	40%	47%
An (2)	Los Libertadores	1	11%	15%	21%	30%
Antártica	Antártica	1	11%	15%	21%	30%
SL (1)	Concepción	7	16%	24%	27%	36%
R. Crusoe	Robinson Crusoe	7	16%	24%	27%	36%
An (1)	San Pedro	7	16%	24%	27%	36%
An (3)	Termas de Chillan	3	16%	28%	40%	47%
NL	Antofagasta	4	25%	31%	34%	39%
ND	Calama	6	17%	25%	32%	42%
NVT	Copiapó	7	16%	24%	27%	36%
CL	Valparaíso	6	17%	25%	32%	42%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-55: Resultados de rangos de reducción de demanda energética para nivel 3 de M2

Zona	Ubicación	Clúster	Suficiente	Aceptable	Bueno	Muy Bueno
SL (2)	Puerto Montt	2	13%	19%	24%	31%
SE (1)	Coyhaique	2	13%	19%	24%	31%
SE (2)	Punta Arenas	1	11%	15%	22%	30%
Rapa Nui	Rapa Nui	3	30%	40%	50%	56%
CI	Santiago	5	36%	44%	48%	54%
SI	Temuco	3	30%	40%	50%	56%
An (2)	Los Libertadores	1	11%	15%	22%	30%
Antártica	Antártica	1	11%	15%	22%	30%
SL (1)	Concepción	7	20%	31%	35%	43%
R. Crusoe	Robinson Crusoe	7	20%	31%	35%	43%
An (1)	San Pedro	7	20%	31%	35%	43%
An (3)	Termas de Chillan	3	30%	40%	50%	56%
NL	Antofagasta	4	34%	39%	42%	46%
ND	Calama	6	20%	34%	41%	50%
NVT	Copiapó	7	20%	31%	35%	43%
CL	Valparaíso	6	20%	34%	41%	50%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-56: Resultados de rangos de reducción de demanda energética para nivel 4 de M2

Zona	Ubicación	Clúster	Suficiente	Aceptable	Bueno	Muy Bueno
SL (2)	Puerto Montt	2	17%	22%	27%	34%
SE (1)	Coyhaique	2	17%	22%	27%	34%
SE (2)	Punta Arenas	1	11%	17%	23%	31%
Rapa Nui	Rapa Nui	3	37%	46%	54%	60%
CI	Santiago	5	43%	50%	54%	59%
SI	Temuco	3	37%	46%	54%	60%
An (2)	Los Libertadores	1	11%	17%	23%	31%
Antártica	Antártica	1	11%	17%	23%	31%
SL (1)	Concepción	7	25%	35%	39%	47%
R. Crusoe	Robinson Crusoe	7	25%	35%	39%	47%
An (1)	San Pedro	7	25%	35%	39%	47%
An (3)	Termas de Chillan	3	37%	46%	54%	60%
NL	Antofagasta	4	38%	43%	46%	49%
ND	Calama	6	27%	39%	46%	55%
NVT	Copiapó	7	25%	35%	39%	47%
CL	Valparaíso	6	27%	39%	46%	55%

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar los resultados varían respecto al nivel de modelo 2 con el que son comparados, debido a esto para cada ubicación el límite se determinará mediante el promedio y moda de todos los niveles, luego estos valores serán suavizados con los rangos actuales que existen en la certificación CES v1.1 y serán simplificados a múltiplos de 5% para facilitar su lectura.

Tabla 6-57: Resultados de rango de reducción de demanda por moda o promedio

Rango	NL	ND-CL	NVT-An(1)-R.Crusoe-SL(1)	Rapa Nui - An(3) - SI	CI	SL (2)	An (2) - SE(2) - Antártica
Muy Bueno	40%	50%	45%	55%	55%	30%	30%
Bueno	35%	40%	35%	40%	45%	25%	20%
Aceptable	30%	35%	25%	30%	40%	20%	15%
Suficiente	25%	20%	20%	25%	30%	15%	10%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-58: Resultados de rango de reducción de demanda según CES v1.1

Rango	NL - NVT	ND - CL - CI	SL (1)	SL (2)	SL - SI	SE - An
Muy Bueno	≥35%	≥35%	≥45%	≥35%	≥35%	≥45%
Bueno	≥30%	≥30%	≥35%	≥30%	≥30%	≥35%
Aceptable	≥20%	≥20%	≥25%	≥20%	≥20%	≥25%
Suficiente	≥10%	≥10%	≥15%	≥10%	≥10%	≥15%

Fuente: Elaboración propia en base CES v1.1

#### 6.2.5.5.2 PROPUESTA DE RANGOS DE REDUCCIÓN DE DEMANDA ENERGÉTICA

Considerando los resultados de la Tabla 6-57 junto a los rangos que posee actualmente la CES v1.1 se proponen los rangos que se observan en la Tabla 6-59.

Tabla 6-59: Propuesta de rangos de reducción de demanda energética

Rango	NL-NVT-An(1)-R.Crusoe	ND-Rapa Nui-CL	CI-An(3)-SI	SL(1)	SL (2) - SE (1)	An (2) - SE(2) - Antártica
Muy Bueno	40%	45%	45%	40%	35%	35%
Bueno	35%	35%	35%	30%	30%	30%
Aceptable	25%	25%	25%	25%	25%	25%
Suficiente	15%	15%	15%	15%	15%	15%

Fuente: Elaboración propia

Además, se propone una alternativa para definir los rangos, asociándolos a los puntajes otorgados y entregando puntaje según la reducción alcanzada, reconociendo límites intermedios para cada rango. Esta propuesta utiliza los puntajes relacionados con la variable de reducción de demanda energética según la certificación CES v1.1, usándolos como límites de cada rango y asociándolos a las reducciones establecidas en la Tabla 6-59. La Tabla 6-60 presenta la propuesta de puntajes según la reducción alcanzada, con el objetivo de reconocer de manera más justa el nivel de reducción de demanda lograda.

Tabla 6-60: Propuesta de puntajes de reducción de demanda energética

Rango	Puntaje	NL-NVT-An(1)-R.Crusoe	ND-Rapa Nui-CL	CI-An(3)-SI	SL(1)	SL (2) - SE (1)	An (2) - SE(2) - Antártica
Muy bueno	18	40,0%	45,0%	45,0%	40,0%	35,0%	35,0%
Bueno	17	39,0%	43,5%	43,5%	38,5%	34,5%	34,5%
	16	38,5%	41,5%	41,5%	36,5%	34,0%	34,0%
	15	37,5%	40,0%	40,0%	35,0%	33,0%	33,0%
	14	36,5%	38,5%	38,5%	33,0%	32,0%	32,0%
	13	36,0%	36,5%	36,5%	31,5%	31,0%	31,0%
Aceptable	12	35,0%	35,0%	35,0%	30,0%	30,0%	30,0%
	11	32,5%	32,5%	32,5%	28,5%	28,5%	28,5%
	10	30,0%	30,0%	30,0%	27,5%	27,5%	27,5%
	9	27,5%	27,5%	27,5%	26,5%	26,5%	26,5%
	8	25,0%	25,0%	25,0%	25,0%	25,0%	25,0%
Suficiente	7	22,5%	22,5%	22,5%	22,5%	22,5%	22,5%
	6	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%
	5	17,5%	17,5%	17,5%	17,5%	17,5%	17,5%
	4	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%

Fuente: Elaboración propia

#### 6.2.5.6 PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE CONSUMO ENERGÉTICO CASO PEQUEÑA ESCALA

##### 6.2.5.6.1 DESARROLLO

Para el caso de pequeña escala, se utiliza la misma metodología que para la demanda de pequeña escala, ya que los datos según su desviación estándar (9%) tienden a presentar grupos. En primer lugar, se realizaron distintas clusterizaciones replicables para encontrar el número óptimo de clústers, se realizaron pruebas de 2 a 10 clústers, en donde los mejores resultados de coherencia, distanciamiento y pertenencia se obtuvieron con 7 clústers. En la Tabla 6-61 se pueden observar los índices de validación obtenidos con 7 clústers, mientras que el gráfico de clusterización se observa en la Figura 6-12.

Tabla 6-61: Índices de calidad de clusterización

Silhouette	Calinski_Harabasz	Davies_Bouldin	Dunn
0,601	43,062	0,385	0,393

Fuente: Elaboración propia

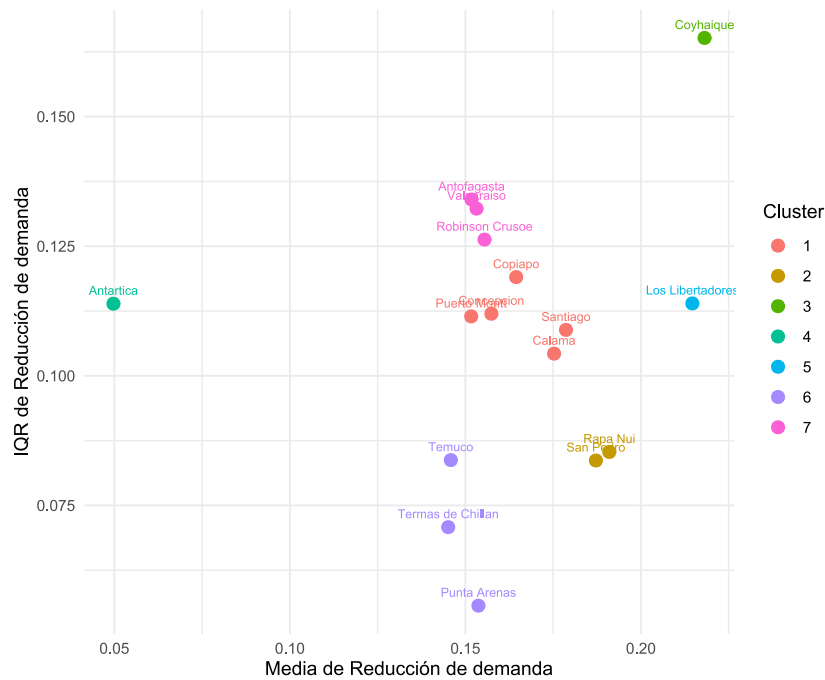
Tabla 6-62: Asignación de clúster para cada ubicación

Zona	Ubicación	Clúster
An (2)	Los Libertadores	1
Antártica	Antártica	1
SE (2)	Punta Arenas	1
SE (1)	Coyhaique	2
SL (2)	Puerto Montt	2
An (3)	Termas de Chillan	3
Rapa Nui	Rapa Nui	3
SI	Temuco	3

Zona	Ubicación	Clúster
NL	Antofagasta	4
CI	Santiago	5
CL	Valparaíso	6
ND	Calama	6
An (1)	San Pedro	7
NVT	Copiapó	7
R. Crusoe	Robinson Crusoe	7
SL (1)	Concepción	7

Fuente: Elaboración propia

Figura 6-12: Resultado clusterización de porcentaje de reducción de consumo caso pequeña escala



Fuente: Elaboración propia

Para cada uno de los clústers se calculó el promedio de cada cuartil con el fin de definir el límite inferior de reducción necesario para alcanzar cada categoría, después de eliminar los valores menores a 5%. Por ejemplo, para el clúster 1, se lograría una categoría "Suficiente" con una reducción de consumo del 9,8%, y una categoría "Muy Bueno" con una reducción del 26,9%.

Tabla 6-63: Resultados de rangos de reducción de consumo energético por nivel de M3

Clúster	Suficiente	Aceptable	Bueno	Muy Bueno
1	9,8%	16,7%	22,2%	26,9%
2	14,4%	18,8%	23,1%	27,9%
3	13,2%	21,8%	29,7%	32,9%
4	10,2%	12,2%	14,2%	16,1%
5	15,4%	21,5%	26,8%	31,0%
6	10,6%	15,2%	18,6%	23,6%
7	9,9%	20,8%	23,5%	24,6%

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar los resultados varían respecto a los niveles de reducción del caso de gran escala, esto ocurre porque al ser un edificio más pequeño todos los tipos de consumos se encuentran más equilibrados. Al igual que en el caso de gran

escala estos valores serán suavizados con los rangos actuales que existen en la certificación CES v1.1 y serán simplificados a múltiplos de 5% para facilitar su lectura.

6.2.5.6.2 PROPUESTA DE RANGOS DE REDUCCIÓN DE CONSUMO ENERGÉTICO

Considerando los resultados de la Tabla 6-63 junto a los rangos que posee actualmente la CES v1.1 Se proponen los rangos que se observan en la Tabla 6-64.

Tabla 6-64: Propuesta de rangos de reducción de consumo energético

Rango	NL-ND-NVT	An(1)	Rapa Nui	R.Crusoe-CL-CI	An(2)	An(3)-SI	SL(1) - SL(2)	SE(1)	SE(2) - Antártica
Muy Bueno	30,0%	35,0%	35,0%	30,0%	35,0%	25,0%	30,0%	35,0%	25,0%
Bueno	25,0%	25,0%	25,0%	25,0%	25,0%	20,0%	25,0%	30,0%	20,0%
Aceptable	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%	15,0%	20,0%	20,0%	15,0%
Suficiente	10,0%	15,0%	15,0%	10,0%	15,0%	10,0%	10,0%	15,0%	10,0%

Fuente: Elaboración propia

Además, se propone una alternativa para definir los rangos, asociándolos a los puntajes otorgados y entregando puntaje según la reducción alcanzada, reconociendo límites intermedios para cada rango. Esta propuesta utiliza los puntajes relacionados con la variable de reducción de consumo energética según la certificación CES v1.1, usándolos como límites de cada rango y asociándolos a las reducciones establecidas en la Tabla 6-64. La Tabla 6-65 presenta la propuesta de puntajes según la reducción alcanzada, con el objetivo de reconocer de manera más justa el nivel de reducción de consumo lograda.

Tabla 6-65: Propuesta de puntajes de reducción de consumo energético

Rango	Puntaje	NL-ND-NVT	An(1)	Rapa Nui	R.Crusoe-CL-CI	An(2)	An(3)-SI	SL(1) - SL(2)	SE(1)	SE(2) - Antártica
Muy Bueno	16	30,0%	35,0%	35,0%	30,0%	35,0%	25,0%	30,0%	35,0%	25,0%
Bueno	15	28,5%	32,5%	32,5%	28,5%	32,5%	24,0%	28,5%	34,0%	24,0%
	14	27,5%	30,0%	30,0%	27,5%	30,0%	22,5%	27,5%	32,5%	22,5%
	13	26,5%	27,5%	27,5%	26,5%	27,5%	21,5%	26,5%	31,5%	21,5%
	12	25,0%	25,0%	25,0%	25,0%	25,0%	20,0%	25,0%	30,0%	20,0%
Aceptable	11	23,5%	23,5%	23,5%	23,5%	23,5%	18,5%	23,5%	27,5%	18,5%
	10	22,5%	22,5%	22,5%	22,5%	22,5%	17,5%	22,5%	25,0%	17,5%
	9	21,5%	21,5%	21,5%	21,5%	21,5%	16,5%	21,5%	22,5%	16,5%
	8	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%	15,0%	20,0%	20,0%	15,0%
Suficiente	7	17,5%	18,5%	18,5%	17,5%	18,5%	13,5%	17,5%	18,5%	13,5%
	6	15,0%	17,5%	17,5%	15,0%	17,5%	12,5%	15,0%	17,5%	12,5%
	5	12,5%	16,5%	16,5%	12,5%	16,5%	11,5%	12,5%	16,5%	11,5%
	4	10,0%	15,0%	15,0%	10,0%	15,0%	10,0%	10,0%	15,0%	10,0%

Fuente: Elaboración propia

6.2.5.7 PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE HORAS DE DISCONFORT CASO PEQUEÑA ESCALA

6.2.5.7.1 DESARROLLO

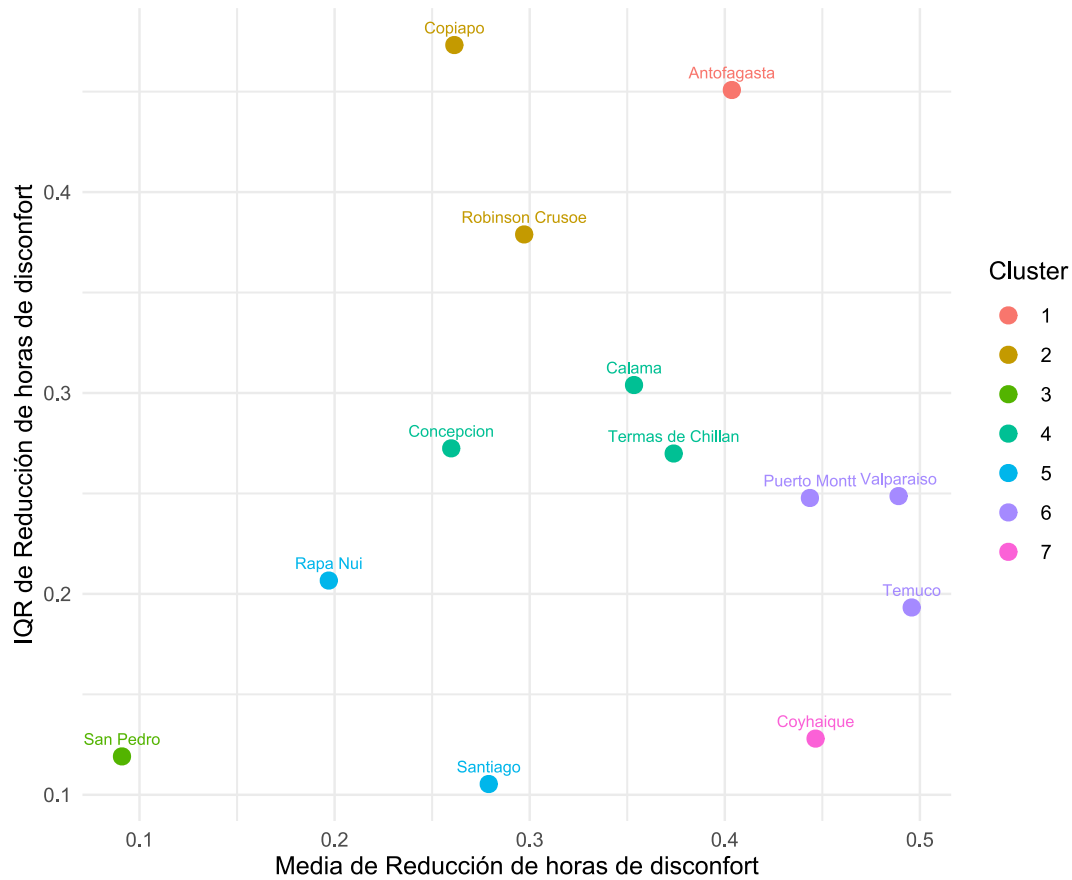
Se realizaron distintas clusterizaciones replicables para encontrar el número óptimo de clústers, se realizaron pruebas de 2 a 10 clústers, en donde los mejores resultados de coherencia, distanciamiento y pertenencia se obtuvieron con 7 clústers. En la Tabla 6-66 se pueden observar los índices de validación obtenidos con 7 clústers, mientras que el gráfico de clusterización se observa en la Figura 6-13.

Tabla 6-66: Índices de calidad de clusterización

Silhouette	Calinski_Harabasz	Davies_Bouldin	Dunn
0,46	12,48	0,56	0,56

Fuente: Elaboración propia

Figura 6-13: Resultado clusterización de porcentaje de reducción de horas de discomfort



Fuente: Elaboración propia

La asociación de cada ubicación a cada clúster se puede observar en la tabla a continuación.

Tabla 6-67: Asignación de clúster para cada ubicación

Zona	Ubicación	Clúster
NL	Antofagasta	1
NVT	Copiapó	2
R. Crusoe	Robinson Crusoe	2
An (1)	San Pedro	3
ND	Calama	4
SL (1)	Concepción	4
An (3)	Termas de Chillan	4
Rapa Nui	Rapa Nui	5
CI	Santiago	5
SL (2)	Puerto Montt	6
SI	Temuco	6
CL	Valparaíso	6
SE (1)	Coyhaique	7

Fuente: Elaboración propia

Para cada uno de estos clústers, se calculó el promedio de cada cuartil con el fin de definir el límite inferior de reducción necesario para alcanzar cada categoría. Por ejemplo, en la zona CI, representada por Santiago que se encuentra en el clúster 5, se lograría una categoría "Suficiente" con una reducción de horas de desconfort del 10,3%, y una categoría "Muy Bueno" con una reducción del 34,3%, ambas comparadas con el M2 pasivo. Los resultados para cada clúster se observan en la Tabla 6-68, mientras que en la Tabla 6-69 se observan los rangos en múltiplos de 5% para cada ubicación.

Tabla 6-68: Resultados de rangos de reducción de horas de desconfort

Clúster	Suficiente	Aceptable	Bueno	Muy Bueno
1	5,9%	20,9%	37,7%	64,4%
2	7,7%	33,9%	46,6%	50,5%
3	6,3%	9,7%	15,0%	18,4%
4	5,0%	22,3%	38,0%	48,7%
5	10,3%	22,3%	27,9%	34,3%
6	5,5%	39,2%	50,0%	62,0%
7	9,1%	48,3%	52,9%	58,0%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-69: Resultados de rangos de reducción de horas de desconfort por ubicación

Zona	Ubicación	Clúster	Suficiente	Aceptable	Bueno	Muy Bueno
NL	Antofagasta	1	5%	20%	40%	65%
NVT	Copiapó	2	10%	30%	45%	50%
R. Crusoe	Robinson Crusoe	2	10%	30%	45%	50%
An (1)	San Pedro	3	5%	10%	15%	20%
ND	Calama	4	5%	20%	40%	50%
SL (1)	Concepción	4	5%	20%	40%	50%
An (3)	Termas de Chillan	4	5%	20%	40%	50%
Rapa Nui	Rapa Nui	5	10%	20%	30%	35%
CI	Santiago	5	10%	20%	30%	35%
SL (2)	Puerto Montt	6	5%	40%	50%	60%
SI	Temuco	6	5%	40%	50%	60%
CL	Valparaíso	6	5%	40%	50%	60%
SE (1)	Coyhaique	7	10%	50%	50%	55%

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar los resultados varían en gran cantidad a los expresados por CES v1.1, por lo que estos valores serán suavizados con estos rangos actuales que existen en la certificación CES v1.1 y serán simplificados a múltiplos de 5% para facilitar su lectura.

#### 6.2.5.7.2 PROPUESTA DE RANGOS DE REDUCCIÓN DE HORAS DE DISCONFORT

Considerando los resultados de la Tabla 6-70 junto a los rangos que posee actualmente la CES v1.1 se proponen los rangos que se observan en la Tabla 6-71.

Tabla 6-70: Propuesta de rangos de reducción de horas de desconfort

Rango	NL-ND-NVT	An (1)	Rapa Nui	R.Crusoe-CL	CI	An(3) - SI	SL(1)-SL(2)-SE(1)
Muy Bueno	40%	25%	25%	40%	35%	30%	40%
Bueno	30%	20%	20%	30%	30%	25%	30%
Aceptable	20%	15%	10%	20%	20%	15%	20%
Suficiente	5%	5%	5%	10%	10%	5%	10%

Fuente: Elaboración propia

Además, se propone una alternativa para definir los rangos, asociándolos a los puntajes otorgados y entregando puntaje según la reducción alcanzada, reconociendo límites intermedios para cada rango. Esta propuesta utiliza los puntajes relacionados con la variable de reducción de horas de desconfort según la certificación CES v1.1, usándolos como límites de cada rango y asociándolos a las reducciones establecidas en la Tabla 6-70. La Tabla 6-71 y la Tabla 6-49 presenta la propuesta de puntajes según la reducción alcanzada, con el objetivo de reconocer de manera más justa el nivel de reducción de horas de desconfort lograda.

Tabla 6-71: Propuesta de puntajes de reducción de horas de desconfort

Rango	Puntaje	NL-ND-NVT	An (1)	Rapa Nui	R.Crusoe-CL	CI	An(3) - SI	SL(1)-SL(2)-SE(1)
Muy Bueno	14	40,0%	25,0%	25,0%	40,0%	35,0%	30,0%	40,0%
Bueno	13	37,5%	24,0%	24,0%	37,5%	33,5%	28,5%	37,5%
	12	35,0%	22,5%	22,5%	35,0%	32,5%	27,5%	35,0%
	11	32,5%	21,5%	21,5%	32,5%	31,3%	26,5%	32,5%
	10	30,0%	20,0%	20,0%	30,0%	30,0%	25,0%	30,0%
Aceptable	9	27,0%	18,0%	18,0%	27,0%	27,0%	21,5%	27,0%
	8	23,5%	16,5%	16,5%	23,5%	23,5%	18,5%	23,5%
	7	20,0%	15,0%	10,0%	20,0%	20,0%	15,0%	20,0%
Suficiente	6	15,0%	11,5%	8,0%	15%	15%	11,5%	15%
	5	10,0%	8,5%	6,5%	10%	10%	8,5%	10%
	4	5,0%	5,0%	5,0%	10,0%	10,0%	5,0%	10,0%

Fuente: Elaboración propia

#### 6.2.5.8 PROPUESTA DE RANGOS DE REDUCCIÓN DE CONSUMO INFORMATIVA SOBRE MODELO 4 CASO GRAN ESCALA

##### 6.2.5.8.1 DESARROLLO

Para el nivel máximo se calculó el promedio de los resultados que es igual a 53,7%, considerando que el valor máximo es de 67,6% y el mínimo de 34,7% se define 60% como el límite inferior del rango Muy Bueno, y 55% como el límite inferior del rango Bueno, según el promedio de los datos que se encuentran entre el cuartil 3 y 4; y entre el cuartil 2 y 3 respectivamente. Para los niveles aceptable y suficiente se reduce en 40% el límite inferior respecto al próximo rango con el fin de mantener la armonía que existe con los otros requerimientos.

##### 6.2.5.8.2 PROPUESTA DE RANGOS DE REDUCCIÓN DE CONSUMO ENERGÉTICO INFORMATIVO

Considerando lo anterior junto a los rangos que posee actualmente la CES v1.1. Se proponen los rangos que se observan en la Tabla 6-72.

Tabla 6-72: Propuesta de rangos de reducción de consumo energético informativo

Suficiente	Aceptable	Bueno	Muy Bueno
40%	50%	55%	60%

Fuente: Elaboración propia

#### 6.2.6 Propuesta reducción de demanda según nivel 1-2 y orientación

La propuesta de reducción de demanda anterior se desarrolló bajo supuestos que consideraban la posibilidad de que el terminal aeroportuario pudiera orientarse en cualquier dirección, situación poco común en la práctica, ya que generalmente es la pista de aterrizaje la que define la orientación del terminal. Por ello, una de las siguientes propuestas se basa en la posibilidad de girar el edificio únicamente 180°.

Además, en las propuestas previas se asumió que el edificio de referencia podía tener un factor vano-muro superior al 40% en sus fachadas. Por lo tanto, a la restricción de orientación de 180° se añaden dos opciones referenciales adicionales: que el edificio mantenga el mismo factor vano-muro en todas sus fachadas, o que este factor sea del 40% en todas las fachadas. Estas propuestas se plantean exclusivamente para la demanda energética y se aplican en ambos tipos de edificio.

6.2.6.1 PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE DEMANDA ENERGÉTICA CASO GRAN ESCALA NIVEL 1 Y 2 REFERENCIAL

Los resultados a comparar para este caso es la demanda de cada caso y orientación contra el nivel 1 y 2 de referencia girado en cuatro orientaciones (0°, 90°, 180° y 270°). Para clasificar los resultados se empleará la misma técnica utilizada para el gran caso que incluía todos los niveles, en donde se realizaron distintas clusterizaciones replicables para encontrar el número óptimo de clústers, se realizaron pruebas de 2 a 10 clústers, en donde los mejores resultados de coherencia, distanciamiento y pertenencia se obtuvieron con 5 clústers. En la Tabla 6-73 se pueden observar los índices de validación obtenidos con 5 clústers, mientras que el gráfico de clusterización se observa en la Figura 6-14.

Tabla 6-73: Índices de calidad de clusterización

Silhouette	Calinski_Harabasz	Davies_Bouldin	Dunn
0,56	53,88	0,53	0,59

Fuente: Elaboración propia

Figura 6-14: Resultado clusterización de porcentaje de reducción de demanda ajustada a nivel 1 y 2 referencial



Fuente: Elaboración propia

En los resultados anteriores se observa que dentro del clúster 1 se encuentran Santiago, Temuco y Valparaíso; en el clúster 2 se encuentran Los Libertadores y Antártica; el clúster 3 se compone por Antofagasta, Calama y Copiapó; el clúster 4 por Concepción, Robinson Crusoe, San Pedro y Termas de Chillán; y por último el clúster 5 por Puerto Montt, Coyhaique, Punta Arenas y Rapa Nui. Que ubicaciones con distintos tipos de clima se encuentren dentro del mismo grupo significa que el comportamiento de reducción de demanda frente a los casos evaluados es similar, no que posean condiciones climáticas parecidas.

Para cada uno de estos clústeres, se calculó el promedio de cada cuartil con el objetivo de definir el límite inferior de reducción necesario para alcanzar cada categoría de eficiencia energética. Como se puede observar los resultados no varían significativamente respecto al nivel de con el que son comparados, debido a esto para cada ubicación el límite se determinará mediante el promedio de todos los niveles, luego estos valores serán suavizados con los rangos actuales que existen en la certificación CES v1.1 y serán simplificados a múltiplos de 5% para facilitar su lectura.

Tabla 6-74: Resultados de rango de reducción de demanda por promedio

Rango	NL - NVT - ND	An (1) - R.Crusoe	Rapa Nui	CL - CI - SI	SL (1) - An (3)	SL (2) - SE (1) - SE (2)	An (2) - Antártica
Muy Bueno	40%	40%	30%	40%	40%	35%	40%
Bueno	35%	35%	25%	35%	35%	30%	30%
Aceptable	25%	25%	20%	25%	25%	20%	20%
Suficiente	15%	15%	10%	20%	15%	15%	15%

Fuente: Elaboración propia

#### 6.2.6.1.1 PROPUESTA DE RANGOS DE REDUCCIÓN DE DEMANDA ENERGÉTICA

Considerando los resultados de la Tabla 6-74 junto a los rangos que posee actualmente la CES v1.1 se proponen los rangos que se observan en la Tabla 6-75.

Tabla 6-75: Propuesta de rangos de reducción de demanda energética

Rango	NL - NVT - ND	An (1) - R.Crusoe	Rapa Nui	CL - CI - SI	SL (1) - An (3)	SL (2) - SE (1) - SE (2)	An (2) - Antártica
Muy Bueno	40%	40%	30%	40%	40%	35%	40%
Bueno	35%	35%	25%	35%	35%	30%	30%
Aceptable	25%	25%	20%	25%	25%	20%	20%
Suficiente	15%	15%	10%	20%	15%	15%	15%

Fuente: Elaboración propia

Además, se propone una alternativa para definir los rangos, asociándolos a los puntajes otorgados y entregando puntaje según la reducción alcanzada, reconociendo límites intermedios para cada rango. Esta propuesta utiliza los puntajes relacionados con la variable de reducción de demanda energética según la certificación CES v1.1, usándolos como límites de cada rango y asociándolos a las reducciones establecidas en la tabla anterior. La Tabla 6-76 presenta la propuesta de puntajes según la reducción alcanzada, con el objetivo de reconocer de manera más justa el nivel de reducción de demanda lograda.

Tabla 6-76: Propuesta de puntajes de reducción de demanda energética

Rango	Puntaje	NL - NVT - ND	An (1) - R.Crusoe	Rapa Nui	CL - CI - SI	SL (1) - An (3)	SL (2) - SE (1) - SE (2)	An (2) - Antártica
Muy bueno	18	40,0%	30,0%	40,0%	40,0%	35,0%	40,0%	40,0%
Bueno	17	39,5%	29,5%	39,5%	39,5%	34,5%	39,5%	39,5%
	16	39,0%	29,0%	39,0%	39,0%	34,0%	39,0%	39,0%
	15	38,0%	28,0%	38,0%	38,0%	33,0%	38,0%	38,0%
	14	37,0%	27,0%	37,0%	37,0%	32,0%	37,0%	37,0%
	13	36,0%	26,0%	36,0%	36,0%	31,0%	36,0%	36,0%
	12	35,0%	25,0%	35,0%	35,0%	30,0%	30,0%	35,0%
Aceptable	11	32,5%	25,0%	32,5%	32,5%	28,8%	28,8%	32,5%

Rango	Puntaje	NL - NVT - ND	An (1) - R.Crusoe	Rapa Nui	CL - CI - SI	SL (1) - An (3)	SL (2) - SE (1) - SE (2)	An (2) - Antártica
Suficiente	10	30,0%	25,0%	30,0%	30,0%	27,5%	27,5%	30,0%
	9	27,5%	25,0%	27,5%	27,5%	26,3%	26,3%	27,5%
	8	25,0%	25,0%	25,0%	25,0%	25,0%	25,0%	25,0%
	7	22,5%	21,3%	23,8%	22,5%	22,5%	22,5%	22,5%
	6	20,0%	17,5%	22,5%	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%
	5	17,5%	13,8%	21,3%	17,5%	17,5%	17,5%	17,5%
	4	15,0%	10,0%	20,0%	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%

Fuente: Elaboración propia

## 6.2.6.2 PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE DEMANDA ENERGÉTICA CASO GRAN ESCALA NIVEL 1 Y 2 REFERENCIAL Y ORIENTACIÓN LIMITADA

### 6.2.6.2.1 METODOLOGÍA UTILIZADA

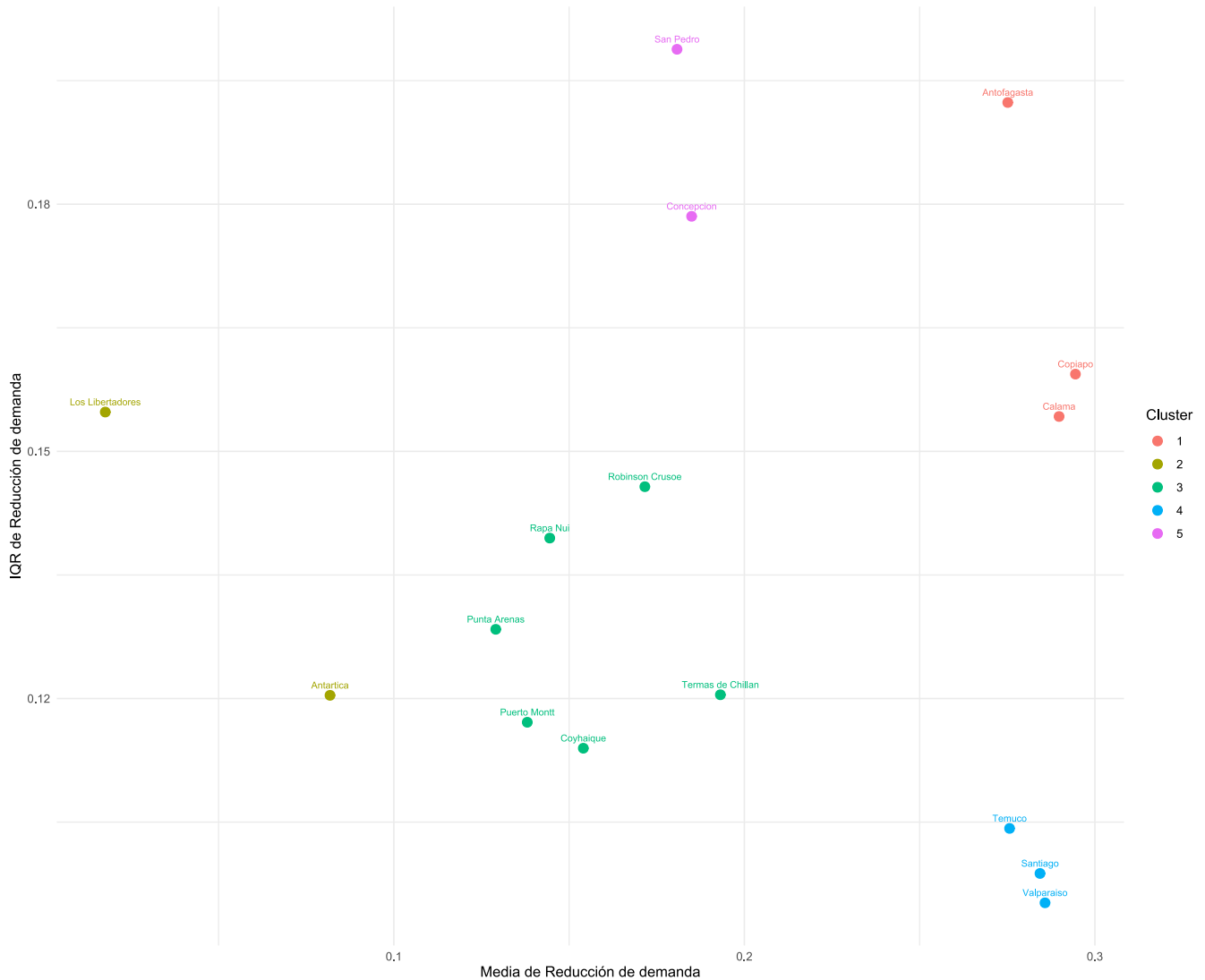
Los resultados a comparar para este caso es la demanda de cada caso y orientación contra el nivel 1 y 2 de referencia girado en dos orientaciones (0° y 180°, y 90 y 270° según corresponda). Para clasificar los resultados se empleará la misma técnica utilizada para el caso de gran escala que incluía todos los niveles (ítem 6.2.5.1), en donde se realizaron distintas clusterizaciones replicables para encontrar el número óptimo de clústers, se realizaron pruebas de 2 a 10 clústers, en donde los mejores resultados de coherencia, distanciamiento y pertenencia se obtuvieron con 5 clústers. En la Tabla 6-77 se pueden observar los índices de validación obtenidos con 5 clústers, mientras que el gráfico de clusterización se observa en la Figura 6-15.

Tabla 6-77: Índices de calidad de clusterización

Silhouette	Calinski_Harabasz	Davies_Bouldin	Dunn
0,65	40,64	0,48	0,49

Fuente: Elaboración propia

Figura 6-15: Resultado clusterización de porcentaje de reducción de demanda ajustada a nivel 1 y 2 referencial y orientación limitada



Fuente: Elaboración propia

En los resultados anteriores se observa que dentro del clúster 1 se encuentran Antofagasta, Calama y Copiapó; en el clúster 2 se encuentran Los Libertadores y Antártica; el clúster 3 se compone por Puerto Montt, Coyhaique, Punta Arenas, Robinson Crusoe y Rapa Nui; el clúster 4 por Santiago, Temuco y Valparaíso; y por último el clúster 5 por Concepción y San Pedro. Que ubicaciones con distintos tipos de clima se encuentren dentro del mismo grupo significa que el comportamiento de reducción de demanda frente a los casos evaluados es similar, no que posean condiciones climáticas parecidas.

Para cada uno de estos clústeres, se calculó el promedio de cada cuartil con el objetivo de definir el límite inferior de reducción necesario para alcanzar cada categoría de eficiencia energética. Como se puede observar los resultados no varían significativamente respecto al nivel de con el que son comparados, debido a esto para cada ubicación el límite se determinará mediante el promedio de los dos niveles, luego estos valores serán suavizados con los rangos actuales que existen en la certificación CES v1.1 y serán simplificados a múltiplos de 5% para facilitar su lectura.

Tabla 6-78: Resultados de rango de reducción de demanda por promedio

Rango	NL - NVT - ND	An (1) - R. Crusoe	Rapa Nui	CL - CI - SI	SL (1) - An (3)	SL (2) - SE (1) - SE (2)	An (2) - Antártica
Muy Bueno	40%	40%	30%	35%	40%	35%	35%
Bueno	30%	30%	25%	30%	30%	30%	30%
Aceptable	25%	25%	20%	25%	25%	20%	20%
Suficiente	15%	15%	10%	15%	15%	15%	15%

Fuente: Elaboración propia

6.2.6.2.2 PROPUESTA DE RANGOS DE REDUCCIÓN DE DEMANDA ENERGÉTICA

Considerando los resultados de la Tabla 6-74 junto a los rangos que posee actualmente la CES v1.1 se proponen los rangos que se observan en la Tabla 6-75.

Tabla 6-79: Propuesta de rangos de reducción de demanda energética

Rango	NL - NVT - ND - An (1)	Rapa Nui - R. Crusoe	CL - CI - SI	SL (1) - SL (2) - SE (1) - SE (2) - An (3)	An (2) - Antártica
Muy Bueno	40%	30%	35%	35%	35%
Bueno	30%	25%	30%	30%	30%
Aceptable	25%	20%	25%	20%	20%
Suficiente	15%	10%	15%	15%	15%

Fuente: Elaboración propia

Además, se propone una alternativa para definir los rangos, asociándolos a los puntajes otorgados y entregando puntaje según la reducción alcanzada, reconociendo límites intermedios para cada rango. Esta propuesta utiliza los puntajes relacionados con la variable de reducción de demanda energética según la certificación CES v1.1, usándolos como límites de cada rango y asociándolos a las reducciones establecidas en la tabla anterior. La Tabla 6-80 presenta la propuesta de puntajes según la reducción alcanzada, con el objetivo de reconocer de manera más justa el nivel de reducción de demanda lograda.

Tabla 6-80: Propuesta de puntajes de reducción de demanda energética

Rango	Puntaje	NL - NVT - ND - An (1)	Rapa Nui - R. Crusoe	CL - CI - SI	SL (1) - SL (2) - SE (1) - SE (2) - An (3)	An (2) - Antártica
Muy bueno	18	40,0%	30,0%	35,0%	35,0%	35,0%
Bueno	17	38,0%	29,5%	34,5%	34,5%	34,5%
	16	36,5%	29,0%	34,0%	34,0%	34,0%
	15	35,0%	28,0%	33,0%	33,0%	33,0%
	14	33,0%	27,0%	32,0%	32,0%	32,0%
	13	31,5%	26,0%	31,0%	31,0%	31,0%
Aceptable	12	30,0%	25,0%	30,0%	30,0%	30,0%
	11	28,8%	25,0%	28,8%	28,8%	28,8%
	10	27,5%	25,0%	27,5%	27,5%	27,5%
	9	26,3%	25,0%	26,3%	26,3%	26,3%
Suficiente	8	25,0%	25,0%	25,0%	25,0%	25,0%
	7	22,5%	21,3%	22,5%	22,5%	22,5%
	6	20,0%	17,5%	20,0%	20,0%	20,0%
	5	17,5%	13,8%	17,5%	17,5%	17,5%
	4	15,0%	10,0%	15,0%	15,0%	15,0%

Fuente: Elaboración propia

6.2.6.3 PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE DEMANDA ENERGÉTICA CASO PEQUEÑA ESCALA NIVEL 1 Y 2 REFERENCIAL

6.2.6.3.1 METODOLOGÍA UTILIZADA

Los resultados a comparar para este caso es la demanda de cada caso y orientación contra el nivel 1 y 2 de referencia girado en cuatro orientaciones (0°, 90°, 180° y 270°). Para clasificar los resultados se empleará la misma técnica utilizada para el gran caso que incluía todos los niveles, en donde se realizaron distintas clusterizaciones replicables para encontrar el número óptimo de clústers, se realizaron pruebas de 2 a 10 clústers, en donde los mejores resultados de coherencia, distanciamiento y pertenencia se obtuvieron con 5 clústers. En la Tabla 6-81 se pueden observar los índices de validación obtenidos con 5 clústers, mientras que el gráfico de clusterización se observa en la Figura 6-16.

Tabla 6-81: Índices de calidad de clusterización

Silhouette	Calinski_Harabasz	Davies_Bouldin	Dunn
0,49	29,35	0,55	0,47

Fuente: Elaboración propia

Figura 6-16: Resultado clusterización de porcentaje de reducción de demanda ajustada a nivel 1 y 2 referencial



Fuente: Elaboración propia

En los resultados anteriores se observa que dentro del clúster 1 se encuentra sólo Los Libertadores; en el clúster 2 se encuentran Antofagasta, Calama, Copiapó y Valparaíso; el clúster 3 se compone por Concepción, Robinson Crusoe y San Pedro; el clúster 4 por Rapa Nui, Santiago, Temuco y Termas de Chillán; y por último el clúster 5 por Puerto Montt, Coyhaique, Punta Arenas y Antártica. El hecho de que ciertas ubicaciones con distintos tipos de clima se encuentren dentro del mismo grupo significa que el comportamiento de reducción de demanda frente a los casos evaluados es similar, no que posean condiciones climáticas parecidas.

Para cada uno de estos clústeres, se calculó el promedio de cada cuartil con el objetivo de definir el límite inferior de reducción necesario para alcanzar cada categoría de eficiencia energética. Como se puede observar los resultados varían significativamente respecto al nivel de con el que son comparados, especialmente en aquellos que pertenecen a los clústeres 2, y 4 ya que para estas ubicaciones que un edificio pequeño posea mayor porcentaje vano muro significa que las ganancias solares extra que obtiene debido a una mayor superficie de ventana poseen un mayor impacto. Para cada ubicación el límite se determinará mediante el promedio de todos los niveles, luego estos valores serán suavizados con los rangos actuales que existen en la certificación CES v1.1 y serán simplificados a múltiplos de 5% para facilitar su lectura.

Tabla 6-82: Resultados de rango de reducción de demanda por promedio

Rango	NL - NVT - ND - CL	R. Crusoe - An (1)	Rapa Nui - CI - An (3) - SI	An (2)	SL (1)	SL (2) - SE (1) - SE (2) - Antártica
Muy Bueno	55%	55%	50%	50%	55%	45%
Bueno	50%	45%	40%	30%	45%	35%
Aceptable	40%	35%	35%	20%	35%	25%
Suficiente	25%	25%	25%	15%	25%	20%

Fuente: Elaboración propia

#### 6.2.6.3.2 PROPUESTA DE RANGOS DE REDUCCIÓN DE DEMANDA ENERGÉTICA

Considerando los resultados de la Tabla 6-82 junto a los rangos que posee actualmente la CES v1.1 se proponen los rangos que se observan en la Tabla 6-83.

Tabla 6-83: Propuesta de rangos de reducción de demanda energética

Rango	NL - NVT - ND - CL	R. Crusoe - An (1)	Rapa Nui - CI - An (3) - SI	An (2)	SL (1)	SL (2) - SE (1) - SE (2) - Antártica
Muy Bueno	50%	50%	50%	40%	50%	45%
Bueno	40%	40%	40%	30%	40%	35%
Aceptable	30%	30%	30%	20%	30%	25%
Suficiente	20%	20%	20%	15%	20%	15%

Fuente: Elaboración propia

Además, se propone una alternativa para definir los rangos, asociándolos a los puntajes otorgados y entregando puntaje según la reducción alcanzada, reconociendo límites intermedios para cada rango. Esta propuesta utiliza los puntajes relacionados con la variable de reducción de demanda energética según la certificación CES v1.1, usándolos como límites de cada rango y asociándolos a las reducciones establecidas en la tabla anterior. La Tabla 6-84 presenta la propuesta de puntajes según la reducción alcanzada, con el objetivo de reconocer de manera más justa el nivel de reducción de demanda lograda.

Tabla 6-84: Propuesta de puntajes de reducción de demanda energética

Rango	Puntaje	NL - NVT - ND - CL	R. Crusoe - An (1)	Rapa Nui - CI - An (3) - SI	An (2)	SL (1)	SL (2) - SE (1) - SE (2) - Antártica
Muy bueno	18	50,0%	50,0%	50,0%	40,0%	50,0%	45,0%
Bueno	17	48,0%	48,0%	48,0%	38,0%	48,0%	43,0%
	16	46,5%	46,5%	46,5%	36,0%	46,5%	41,0%

Rango	Puntaje	NL - NVT - ND - CL	R. Crusoe - An (1)	Rapa Nui - CI - An (3) - SI	An (2)	SL (1)	SL (2) - SE (1) - SE (2) - Antártica
	15	45,0%	45,0%	45,0%	34,5%	45,0%	40,5%
	14	43,0%	43,0%	43,0%	33,0%	43,0%	38,0%
	13	41,5%	41,5%	41,5%	31,5%	41,5%	36,5%
	12	40,0%	40,0%	40,0%	30,0%	40,0%	35,0%
Aceptable	11	37,5%	36,3%	36,3%	28,8%	36,3%	32,5%
	10	35,0%	32,5%	32,5%	27,5%	32,5%	30,0%
	9	32,5%	28,8%	28,8%	26,3%	28,8%	27,5%
	8	30,0%	25,0%	25,0%	25,0%	25,0%	25,0%
Suficiente	7	27,5%	23,8%	23,8%	22,5%	23,8%	22,5%
	6	25,0%	22,5%	22,5%	20,0%	22,5%	20,0%
	5	22,5%	21,3%	21,3%	17,5%	21,3%	17,5%
	4	20,0%	20,0%	20,0%	15,0%	20,0%	15,0%

Fuente: Elaboración propia

#### 6.2.6.4 PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE DEMANDA ENERGÉTICA CASO PEQUEÑA ESCALA NIVEL 1 Y 2 REFERENCIAL Y ORIENTACIÓN LIMITADA

##### 6.2.6.4.1 METODOLOGÍA UTILIZADA

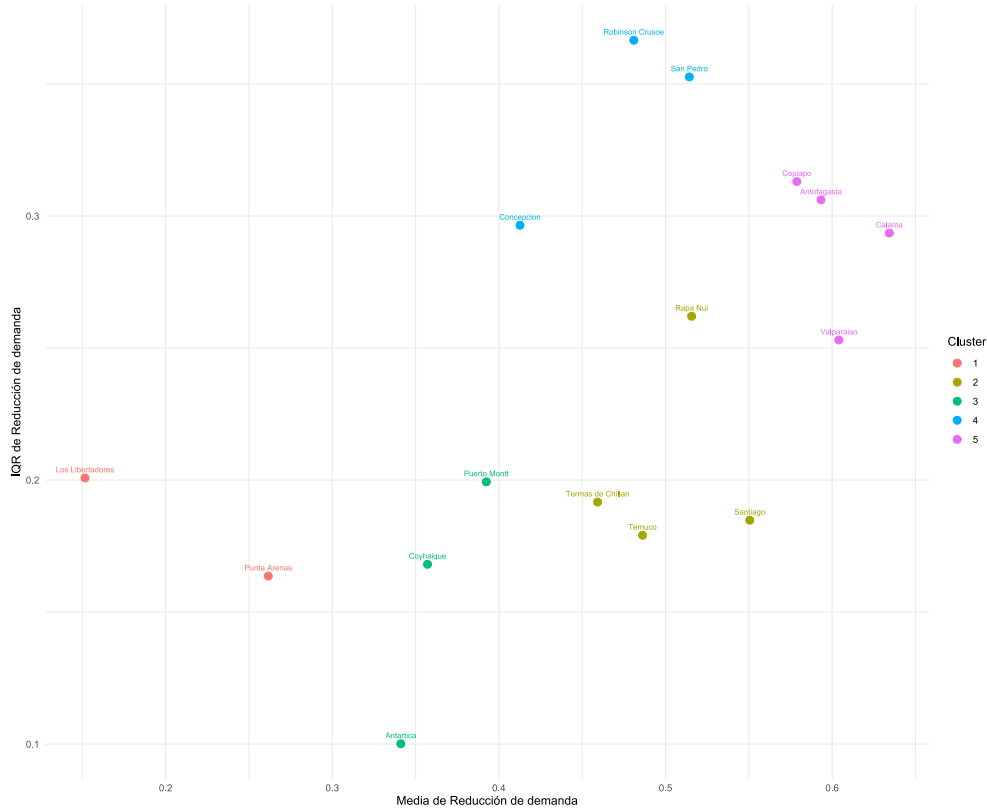
Los resultados a comparar para este caso es la demanda de cada caso y orientación contra el nivel 1 y 2 de referencia girado en dos orientaciones (0° y 180°, y 90 y 270° según corresponda). Para clasificar los resultados se empleará la misma técnica utilizada para el gran caso que incluía todos los niveles, en donde se realizaron distintas clusterizaciones replicables para encontrar el número óptimo de clústers, se realizaron pruebas de 2 a 10 clústers, en donde los mejores resultados de coherencia, distanciamiento y pertenencia se obtuvieron con 5 clústers. En la Tabla 6-85 se pueden observar los índices de validación obtenidos con 5 clústers, mientras que el gráfico de clusterización se observa en la Figura 6-17.

Tabla 6-85: Índices de calidad de clusterización

Silhouette	Calinski_Harabasz	Davies_Bouldin	Dunn
0,42	25,47	0,67	0,58

Fuente: Elaboración propia

Figura 6-17: Resultado clusterización de porcentaje de reducción de demanda ajustada a nivel 1 y 2 referencial y orientación limitada



Fuente: Elaboración propia

En los resultados anteriores se observa que dentro del clúster 1 se encuentran Punta Arenas y Los Libertadores; en el clúster 2 se encuentran Rapa Nui, Santiago, Temuco y Termas de Chillán; el clúster 3 se compone por Puerto Montt, Coyhaique, y Antártica; el clúster 4 por Concepción, Robinson Crusoe y San Pedro; y por último el clúster 5 por Antofagasta, Calama, Copiapó y Valparaíso. Que ubicaciones con distintos tipos de clima se encuentren dentro del mismo grupo significa que el comportamiento de reducción de demanda frente a los casos evaluados es similar, no que posean condiciones climáticas parecidas.

Para cada uno de estos clústeres, se calculó el promedio de cada cuartil con el objetivo de definir el límite inferior de reducción necesario para alcanzar cada categoría de eficiencia energética. Como se puede observar los resultados varían significativamente respecto al nivel de con el que son comparados, especialmente en aquellos que pertenecen a los clústeres 2, 4 y 5 ya que para estas ubicaciones que un edificio pequeño posea mayor porcentaje vano muro significa que las ganancias solares extra que obtiene debido a una mayor superficie de ventana poseen un mayor impacto. Para cada ubicación el límite se determinará mediante el promedio de todos los niveles, luego estos valores serán suavizados con los rangos actuales que existen en la certificación CES v1.1 y serán simplificados a múltiplos de 5% para facilitar su lectura.

Tabla 6-86: Resultados de rango de reducción de demanda por promedio

Rango	NL - NVT - ND - CL	R. Crusoe - An (1)	Rapa Nui - Cl - An (3) - SI	An (2)	SL (1)	SE (2) - An (2)	SI (2) - SE (1) - An (2)
Muy Bueno	55%	55%	55%	45%	55%	45%	40%
Bueno	45%	45%	45%	35%	45%	35%	35%
Aceptable	35%	35%	35%	25%	35%	25%	25%
Suficiente	25%	25%	25%	15%	25%	15%	15%

Fuente: Elaboración propia

6.2.6.4.2 PROPUESTA DE RANGOS DE REDUCCIÓN DE DEMANDA ENERGÉTICA

Como se puede observar los resultados varían significativamente respecto al nivel de con el que son comparados, especialmente en aquellos que pertenecen a los clústeres 2, 4 y 5 ya que para estas ubicaciones que un edificio pequeño posea mayor porcentaje vano muro significa que las ganancias solares extra que obtiene debido a una mayor superficie de ventana poseen un mayor impacto. Para cada ubicación el límite se determinará mediante el promedio de todos los niveles, luego estos valores serán suavizados con los rangos actuales que existen en la certificación CES v1.1 y serán simplificados a múltiplos de 5% para facilitar su lectura Tabla 6-87.

Considerando los resultados de la Tabla 6-86 junto a los rangos que posee actualmente la CES v1.1 se proponen los rangos que se observan en la Tabla 6-87.

Tabla 6-87: Propuesta de rangos de reducción de demanda energética

Rango	NL - NVT - ND - Rapa Nui	R. Crusoe - An (1)	CI - CL	SI - SL (1) - An (3)	SL (2) - SE (1) - SE (2) - An (2) - Antártica
Muy Bueno	55%	50%	55%	55%	45%
Bueno	45%	45%	45%	45%	35%
Aceptable	35%	40%	35%	35%	25%
Suficiente	25%	25%	25%	25%	15%

Fuente: Elaboración propia

Además, se propone una alternativa para definir los rangos, asociándolos a los puntajes otorgados y entregando puntaje según la reducción alcanzada, reconociendo límites intermedios para cada rango. Esta propuesta utiliza los puntajes relacionados con la variable de reducción de demanda energética según la certificación CES v1.1, usándolos como límites de cada rango y asociándolos a las reducciones establecidas en la tabla anterior. La Tabla 6-88 presenta la propuesta de puntajes según la reducción alcanzada, con el objetivo de reconocer de manera más justa el nivel de reducción de demanda lograda.

Tabla 6-88: Propuesta de puntajes de reducción de demanda energética

Rango	Puntaje	NL - NVT - ND - Rapa Nui	R. Crusoe - An (1)	CI - CL	SI - SL (1) - An (3)	SL (2) - SE (1) - SE (2) - An (2) - Antártica
Muy bueno	18	55,0%	50,0%	55,0%	55,0%	45,0%
	17	48,0%	48,0%	48,0%	48,0%	43,0%
Bueno	16	46,5%	46,5%	46,5%	46,5%	41,0%
	15	45,0%	45,0%	45,0%	45,0%	35,0%
	14	45,0%	45,0%	45,0%	45,0%	40,5%
	13	43,0%	43,0%	43,0%	43,0%	38,0%
	12	42,5%	40,0%	40,0%	40,0%	32,5%
Aceptable	11	41,5%	41,5%	41,5%	41,5%	36,5%
	10	40,0%	35,0%	35,0%	35,0%	30,0%
	9	37,5%	30,0%	30,0%	30,0%	27,5%
Suficiente	8	35,0%	25,0%	25,0%	25,0%	25,0%
	7	32,5%	25,0%	25,0%	25,0%	22,5%
	6	30,0%	25,0%	25,0%	25,0%	20,0%
	5	27,5%	25,0%	25,0%	25,0%	17,5%
	4	25,0%	25,0%	25,0%	25,0%	15,0%

Fuente: Elaboración propia

6.2.7 Directorio de propuestas realizadas

Para facilitar la visualización de las propuestas realizadas, en la Tabla 6-89 se presenta un directorio de los niveles y bandas planteados en el área energética para la certificación sustentable de aeropuertos.

Tabla 6-89: Directorio de propuestas realizadas

Tabla	Descripción
Tabla 6-37	Propuesta de niveles de reducción de demanda energética para los casos de Gran Escala por bandas de nivel
Tabla 6-38	Propuesta de niveles y puntajes de reducción de demanda energética para los casos de Gran Escala en forma escalonada
Tabla 6-41	Propuesta de niveles de reducción de consumo energético para los casos de Gran Escala por bandas de nivel
Tabla 6-42	Propuesta de niveles y puntajes de reducción de consumo energético para los casos de Gran Escala en forma escalonada
Tabla 6-48	Propuesta de niveles de reducción de horas de discomfort para los casos de Gran Escala por bandas de nivel
Tabla 6-49	Propuesta de niveles y puntajes de reducción de horas de discomfort para los casos de Gran Escala en forma escalonada
Tabla 6-50	Propuesta de niveles de reducción de consumo energético informativo para los casos de Gran Escala por bandas de nivel
Tabla 6-59	Propuesta de niveles de reducción de demanda energética para los casos de Pequeña Escala por bandas de nivel
Tabla 6-60	Propuesta de niveles y puntajes de reducción de demanda energética para los casos de Pequeña Escala en forma escalonada
Tabla 6-64	Propuesta de niveles de reducción de consumo energético para los casos de Pequeña Escala por bandas de nivel
Tabla 6-65	Propuesta de niveles y puntajes de reducción de consumo energético para los casos de Pequeña Escala en forma escalonada
Tabla 6-70	Propuesta de niveles de reducción de horas de discomfort para los casos de Pequeña Escala por bandas de nivel
Tabla 6-71	Propuesta de niveles y puntajes de reducción de horas de discomfort para los casos de Pequeña Escala en forma escalonada
Tabla 6-72	Propuesta de niveles de reducción de consumo energético informativo para los casos de Pequeña Escala por bandas de nivel
Tabla 6-75	Propuesta de niveles de reducción de demanda energética para los casos de Gran Escala por bandas de nivel utilizando como referencia sólo los niveles 1 y 2
Tabla 6-76	Propuesta de niveles y puntajes de reducción de demanda energética para los casos de Gran Escala en forma escalonada utilizando como referencia sólo los niveles 1 y 2
Tabla 6-79	Propuesta de niveles de reducción de demanda energética para los casos de Gran Escala por bandas de nivel utilizando como referencia sólo los niveles 1 y 2 y la orientación original más un único giro en 180°.
Tabla 6-80	Propuesta de niveles y puntajes de reducción de demanda energética para los casos de Gran Escala en forma escalonada utilizando como referencia sólo los niveles 1 y 2 y la orientación original más un único giro en 180°.
Tabla 6-83	Propuesta de niveles de reducción de demanda energética para los casos de Pequeña Escala por bandas de nivel utilizando como referencia sólo los niveles 1 y 2
Tabla 6-84	Propuesta de niveles y puntajes de reducción de demanda energética para los casos de Pequeña Escala en forma escalonada utilizando como referencia sólo los niveles 1 y 2
Tabla 6-87	Propuesta de niveles de reducción de demanda energética para los casos de Pequeña Escala por bandas de nivel utilizando como referencia sólo los niveles 1 y 2 y la orientación original más un único giro en 180°.
Tabla 6-88	Propuesta de niveles y puntajes de reducción de demanda energética para los casos de Pequeña Escala en forma escalonada utilizando como referencia sólo los niveles 1 y 2 y la orientación original más un único giro en 180°.

Fuente: Elaboración propia

### 6.3 ETAPA 3: ESTUDIO DE AGUA

La etapa está orientada a desarrollar y aplicar estrategias de uso eficiente del agua en proyectos aeroportuarios, con el objetivo de integrarlas en la certificación CES para aeropuertos. Para su desarrollo se examinan aspectos clave relacionados con la gestión y reutilización de aguas en infraestructuras aeroportuarias, utilizando referencias nacionales e internacionales para formular recomendaciones y propuestas que mejoren la eficiencia hídrica en las terminales de pasajeros.

#### 6.3.1 Metodología aplicada para estudio del agua

El desarrollo de la etapa de estudio del agua está basado en una revisión exhaustiva de normativas y certificaciones tanto nacionales como internacionales y el análisis de casos prácticos en aeropuertos internacionales que sirven de apoyo y referencia para que consultores expertos elaboren requerimientos que puedan ser aplicados a aeropuertos nacionales mediante la certificación CES para aeropuertos.

A nivel internacional, el estudio explora sistemas de certificación como LEED v4 BD+C, BREEAM y ENVISION, los cuales se destacan por establecer directrices y requisitos que fomentan el uso eficiente y sostenible del agua en edificaciones. LEED v4 BD+C, por ejemplo, evalúa el rendimiento en cuanto a la reducción del consumo de agua potable, la utilización de tecnologías de reutilización y el monitoreo de sistemas de gestión hídrica en edificios. BREEAM, por su parte, incorpora criterios similares, pero añade un enfoque más detallado en la prevención de fugas y la monitorización del consumo. Envision, además de la reducción del consumo de agua, integra la resiliencia hídrica en la operación y construcción de proyectos, enfatizando la conservación de recursos acuáticos.

El análisis realizado también profundiza en la legislación de varios países que han sido pioneros en la gestión del agua. En España, por ejemplo, el Real Decreto Legislativo 1/2001 regula la gestión de los recursos hídricos, mientras que el Real Decreto 1620/2007 establece directrices sobre la reutilización de aguas residuales. En Alemania, la Ley de Recursos Hídricos (Wasserhaushaltsgesetz) y la regulación específica para el tratamiento de aguas residuales (Abwasserbehandlungsverordnung) proveen un marco robusto para la protección ambiental y el uso eficiente del agua. Similarmente, en Estados Unidos, la Clean Water Act y las regulaciones de la Agencia de Protección Ambiental de California ofrecen herramientas normativas clave para la gestión hídrica en infraestructuras, mientras que, en Australia y Japón, legislaciones como la Water Act 2007 y la Ley Básica sobre el Ciclo del Agua respectivamente, aseguran la protección y uso racional de los recursos hídricos.

A nivel nacional el marco regulatorio cuenta con leyes como la Ley 19.525 de Aguas Lluvias y la Ley 21.075, que regula la recolección y reutilización de aguas grises. Estas normativas, aunque más recientes que sus contrapartes internacionales, representan un avance significativo hacia la sostenibilidad hídrica en infraestructuras públicas y privadas. El Código de Aguas chileno también se incluye dentro de la revisión, destacando la relevancia del uso de aguas lluvias en proyectos de infraestructura y la necesidad de actualizaciones para alinear las normativas locales con las mejores prácticas internacionales.

El estudio incluye un análisis de diez aeropuertos internacionales, destacados por su gestión eficiente del agua, que incluye a los aeropuertos de Singapur (SIN), Berlín-Brandeburgo (BER), Múnich (MUC), Frankfurt (FRA), Sídney (SYD), Melbourne (MEL) y Los Ángeles (LAX), que han logrado reducciones significativas en el consumo de agua potable mediante la adopción de estrategias innovadoras.

Estos casos, además de mostrar la viabilidad técnica y económica de las estrategias implementadas, también proporcionan una hoja de ruta práctica para la implementación de soluciones similares en Chile. Cada aeropuerto ha adaptado las tecnologías a sus condiciones locales, lo que refuerza la idea de que las soluciones no son universales, sino que requieren de un análisis detallado de cada contexto.

Finalmente, con base en los resultados de la revisión normativa, análisis de casos aeroportuarios internacionales y la experiencia de consultores, se proponen una serie de requerimientos técnicos que adaptan las soluciones internacionales a las particularidades de Chile y que deben cumplir los aeropuertos para mejorar su gestión del agua y alcanzar los estándares

de la certificación CES para aeropuertos. Dichos requerimientos evalúan la reducción del consumo de agua, además de su reutilización y captación, ofreciendo una base sólida para la integración de tecnologías y medidas en la gestión del agua.

La metodología de esta etapa se basó en gran parte en la revisión de certificaciones internacionales como LEED v4 BD+C, BREEAM y ENVISION en sus ítems de gestión hídrica. LEED v4 BD+C destaca por su enfoque en la eficiencia en el consumo de agua potable, lo que puede ser una prioridad para aeropuertos chilenos situados en regiones con creciente estrés hídrico, además de promover tecnologías de reutilización. La revisión de BREEAM, aportó valor debido a su énfasis en la detección y prevención de fugas y en sistemas de monitoreo continuo, lo que resulta crítico para aeropuertos que manejan sistemas hídricos complejos y de alto volumen. La revisión de ENVISION permitió integrar criterios de resiliencia hídrica, asegurando que las infraestructuras puedan responder de manera sostenible al cambio climático y la variabilidad en la disponibilidad de agua. El estudio y adaptación de estas certificaciones no solo ofrecen soluciones comprobadas, sino que también proporcionaron el marco que fue adaptado a las características del contexto aeroportuario chileno, como lo fue la identificación de nuevos grupos de usuarios.

### 6.3.2 Casos internacionales de reutilización de agua en aeropuertos y terminales

A continuación, se presentan las estrategias de gestión y conservación del agua implementadas por diferentes aeropuertos a nivel mundial, como parte de sus iniciativas y esfuerzos por mejorar la sostenibilidad ambiental. Estas prácticas han demostrado reducir significativamente la dependencia del agua potable y minimizar el impacto ambiental de las operaciones aeroportuarias. Entre las estrategias más destacadas se encuentran la reutilización de aguas grises y residuales tratadas, la adopción de sistemas de tratamiento in situ para reducir la descarga de contaminantes, y el uso de tecnologías avanzadas de tratamiento que permiten reciclar agua para usos no potables. En la Tabla 6-90 se ofrece un resumen detallado de los casos estudiados.

Tabla 6-90: Resumen de casos internacionales consultados - Agua

Aeropuerto	Estrategias de gestión de agua	Rendimientos
Singapur (SIN)	Implementación de un sistema de recolección y tratamiento integral de aguas grises para riego, inodoros y torres de enfriamiento, utilizando procesos de filtración física y química, membranas y desinfección UV o cloro.	Alta eficiencia en la reutilización de aguas grises, reduciendo hasta en un 19,5% la demanda de agua.
Hamad, Doha (DOH)	Uso de planta de tratamiento de aguas residuales dedicada que permite la reutilización completa del agua tratada para irrigación, logrando una gestión de agua sin descargas residuales al mar.	100% de tratamiento y reutilización de aguas residuales, eliminando descarga al mar desde 2014.
Berlín-Brandeburgo (BER)	Gestión de aguas residuales y pluviales, con sistemas de tratamiento y reutilización de agua pluvial, y medidas de protección contra la contaminación del suelo y aguas subterráneas.	Mejoras significativas en la protección ambiental local y reducción de impactos nocivos en suelos y aguas subterráneas.
Múnich (MUC)	Minimizar los impactos al equilibrio hídrico natural mediante el uso de agua de proceso para diversas necesidades operativas y el ahorro de agua potable mediante la utilización de agua subterránea.	Conservación significativa de agua potable con un ahorro total de 2.618.000 m <sup>3</sup> desde 2010; 218.000 m <sup>3</sup> ahorrados solo en 2022.

Aeropuerto	Estrategias de gestión de agua	Rendimientos
Frankfurt (FRA)	Poseen operación de redes de drenaje separadas para aguas residuales y pluviales, y tratamiento de aguas residuales in situ para su reutilización en el aeropuerto.	Incremento continuo en el uso de agua de servicio, con una gestión efectiva de las aguas tratadas.
Sydney (SYD)	Implementación de estrategias para reducir el uso de agua potable a través de fuentes alternativas y recicladas, incluyendo el tratamiento in-situ de aguas residuales y grises.	Reducción del consumo de agua potable por pasajero en un 25% entre 2008 y 2017.
Melbourne (MEL)	Reutilización de aguas mediante una planta de tratamiento de aguas grises y sistemas de recolección de agua de lluvia para usos no potables-	Tratamiento diario de 4.5 millones de litros de agua, con proyectos de expansión para aumentar capacidad y eficiencia.
Kansai (KIX)	Uso de un sistema de gestión triple de agua incluyendo agua dulce, de mar y residuales tratadas, con tratamientos avanzados y descarga de excedentes tratados al mar.	En el año 2015, los volúmenes promedio procesados fueron 2.151 m <sup>3</sup> /día de aguas residuales generales y 225 m <sup>3</sup> /día de aguas residuales especiales
Madrid-Barajas (MAD)	Sistemas separados para el tratamiento de aguas pluviales y residuales, con una planta avanzada para el tratamiento de aguas grises procedentes de lavabos, duchas y cocinas.	Capacidad de tratar 1.500 m <sup>3</sup> diarios de aguas grises, reutilizadas para riego y otros usos no potables.
Los Ángeles (LAX)	Uso de agua reciclada para riego, inodoros, enfriamiento y construcción, complementado con proyectos para la reutilización de aguas grises y recolección de agua de lluvia.	Más del 80% de las necesidades de agua no potable satisfechas con agua reciclada.

Fuente: Elaboración propia

### 6.3.3 Requerimientos asociados a variable de agua en certificaciones

Se ha realizado un estudio de los diferentes requerimientos vinculados a la variable de agua en certificaciones internacionales y nacional, siendo éstas: LEED v4 BD+C, BREEAM, Envision v3 y CES v1.1.

En los requisitos y créditos en términos de eficiencia y gestión del agua para las certificaciones revisadas, se observa un enfoque común en la reducción del consumo, la monitorización y la implementación de prácticas sostenibles. Por lo que estos aspectos deben ser relevantes para los terminales de pasajeros aeroportuarios, donde se manejan grandes volúmenes de personas y operaciones que demandan una gran cantidad de agua.

Los requisitos relacionados con la reducción del consumo de agua tanto en el interior como en el exterior del edificio se encuentran presentes en todas las certificaciones y son fundamentales para los terminales aeroportuarios, ya que implican la optimización de recursos en áreas como jardines, paisajismo y sistemas de agua potable y riego. La instalación de sistemas de medición para monitorear el consumo a lo largo del tiempo, aunque no se encuentre en todas las certificaciones, es importante para identificar oportunidades de ahorro y la mejora continua.

Otro aspecto presente en la mayoría de las certificaciones es el reconocimiento a la reutilización y recolección de aguas. La recolección de aguas pluviales de distinta fuente puede ser una estrategia efectiva para capturar y utilizar el agua en actividades no potables, como el riego de jardines, lavado de superficies exteriores o para sistemas de enfriamiento. Esta

práctica no solo reduce la demanda de agua potable, sino que también ayuda a mitigar el impacto ambiental al reducir la escorrentía y la carga en los sistemas de drenaje urbano.

Además, la reutilización de aguas grises, provenientes de fuentes como lavamanos, duchas y sistemas de aire acondicionado, puede ser implementada en terminales aeroportuarios para aplicaciones no potables, como el riego de paisajismo o el lavado de superficies. A modo de resumen en la Tabla 6-91 se encuentra todos los requerimientos revisados.

Tabla 6-91: Resumen de requisitos asociados a agua en certificaciones

Certificación	Requerimiento	Niveles	Descripción
LEED v4 BD+C	Prerrequisito Eficiencia Agua (EA) - Reducción del consumo de agua en el Exterior	Obligatorio	Este prerrequisito se centra en la reducción del consumo de agua en el exterior del edificio, como jardines y paisajismo. Se debe cumplir para obtener la certificación LEED v4.
LEED v4 BD+C	Prerrequisito Eficiencia Agua (EA) - Reducción del consumo de agua en el Interior	Obligatorio	Este prerrequisito se enfoca en la reducción del consumo de agua en el interior del edificio, especialmente en aparatos y accesorios como grifos, inodoros y duchas.
LEED v4 BD+C	Prerrequisito Eficiencia Agua (EA) - Medición de agua a nivel de todo el edificio	Obligatorio	Este prerrequisito se centra en la instalación de contadores permanentes de agua que midan el consumo total de agua potable en el edificio y los terrenos asociados, con un compromiso de compartir los datos de consumo con el USGBC durante cinco años. Se requiere para obtener la certificación LEED v4.
LEED v4 BD+C	Crédito Eficiencia Agua (EA) - Reducción del consumo de agua en el Exterior	1 a 2	Este crédito se otorga por reducir el consumo de agua en el exterior del edificio, principalmente a través de la reducción del riego de jardines y áreas verdes.
LEED v4 BD+C	Crédito Eficiencia Agua (EA) - Reducción del consumo de agua en el Interior	1 a 7	Este crédito se otorga por reducir el consumo de agua en el interior del edificio, incluyendo aparatos y accesorios. Los niveles varían según el porcentaje de reducción alcanzado.
LEED v4 BD+C	Crédito Eficiencia Agua (EA) - Consumo de agua de las torres de refrigeración	1 a 2	Este crédito se otorga por conservar el agua utilizada como agua suplementaria en las torres de refrigeración, al tiempo que se controlan microorganismos, corrosión y escamas.
LEED v4 BD+C	Crédito Eficiencia Agua (EA) - Medición del agua	1	Este crédito se otorga por instalar contadores de agua permanentes para múltiples subsistemas de agua en el edificio, lo que permite un seguimiento detallado del consumo de agua y la identificación de oportunidades de ahorro adicionales.
LEED v4 BD+C	Crédito PS: Gestión del Agua de Lluvia	1 a 3	Este crédito se otorga por reducir el volumen de escorrentía y mejorar la calidad del agua replicando la hidrología natural y el equilibrio hídrico de la parcela. Hay tres vías distintas para cumplir con este crédito, cada una con diferentes requisitos y puntos asociados.
BREEAM	AG 1 Consumo de Agua	1 a 5	Este criterio se centra en reducir la demanda de agua potable instalando aparatos sanitarios eficientes y compensando la demanda final de agua no potable con sistemas de aguas grises o pluviales. Se otorgan puntos según el nivel de eficiencia alcanzado y el porcentaje de mejora en el consumo de agua.

Certificación	Requerimiento	Niveles	Descripción
BREEAM	AG 2 Monitorización de los Consumos de Agua	1	Este criterio garantiza la monitorización y gestión del consumo de agua para fomentar su reducción. Se requiere la instalación de contadores inteligentes conectados a un Sistema de Gestión del Edificio (SGE) para cumplir con este requisito.
BREEAM	AG 3 Detección y Prevención de Fugas de Agua	1 a 2	Este criterio se centra en la detección y prevención de fugas de agua en el edificio. Se otorgan puntos por disponer de un sistema de detección de fugas y, en el caso de salas de aseo, por instalar dispositivos de control de fugas y afiches informativos.
BREEAM	AG 4 Equipos Eficientes en Cuanto al Consumo de Agua	1	Este criterio se centra en reducir el consumo de agua especificando sistemas o equipos eficientes. Se otorga un punto por cumplir con requisitos como el uso de sistemas de riego eficientes, la instalación de sistemas de lavado de vehículos con unidades de recuperación y el uso de contadores de agua para hacer un seguimiento del consumo.
Envision v3	RA3.1 Preservar los Recursos Hídricos	1 a 12	Este crédito evalúa y reduce el impacto neto negativo sobre la disponibilidad, cantidad y calidad del agua dulce a nivel de cuenca hidrográfica. Se otorgan puntos en función de seis criterios que incluyen la evaluación de la cuenca hidrográfica, el consumo de agua y generación de aguas residuales, la reducción de impactos negativos del uso de agua, la validación del impacto nulo del proyecto en la calidad del agua, la participación en planes regionales o de cuencas hidrográficas, y el impacto positivo del proyecto en la cuenca hidrográfica.
Envision v3	RA3.2 Reducir el Consumo Operacional de Agua	1 a 22	Este crédito tiene como objetivo reducir el consumo general de agua y fomentar el uso de aguas grises, recicladas y pluviales. Se otorgan puntos basados en cuatro criterios que incluyen el diseño y planificación de estrategias de reducción de agua potable, la medición de la reducción del uso de agua potable, la medición de la reducción del uso de agua potable general, y el impacto positivo neto en el uso de agua.

Certificación	Requerimiento	Niveles	Descripción
Envision v3	A3.3 Reducir el Consumo de Agua durante la Construcción	1 a 8	Este crédito busca reducir el consumo de agua potable durante la construcción. Se otorgan puntos en función de dos criterios que incluyen la planificación para reducir el consumo de agua y la implementación de estrategias de conservación del agua durante la construcción. Entre las estrategias se incluyen el uso de accesorios de alta eficiencia, la supervisión y gestión del agua, la reducción del agua incorporada en materiales, el uso de alternativas para la supresión de polvo, el curado del hormigón, estaciones de lavado de neumáticos de camiones, la selección de materiales, el almacenamiento de aguas pluviales, la reutilización de aguas grises o efluentes de aguas residuales, y la reutilización del agua extraída durante el proceso de desagüe.
Envision v3	A3.4 Supervisar los Sistemas de Agua	1 a 12	Este crédito tiene como objetivo mejorar el desempeño operativo mediante la inclusión de funciones de supervisión en los sistemas de agua. Se otorgan puntos en función de dos criterios que incluyen la incorporación de sistemas avanzados de supervisión y la supervisión del agua en tiempo real. Entre los requisitos se encuentra la instalación de equipos y/o software para permitir la supervisión detallada del rendimiento del agua, así como la capacidad de proporcionar datos en tiempo real sobre el uso del agua y un plan para utilizar estos datos para mejorar la eficiencia y conservación del agua.
CES v1.1	ARQ. AGUA 7R. Paisajismo: Reducir un 20% la Evapotranspiración	Obligatorio	Este requerimiento obligatorio tiene como objetivo reducir el uso de agua para riego al disminuir la evapotranspiración de las especies vegetales en proyectos de paisajismo. Se debe reducir al menos un 20% la evapotranspiración en comparación con el caso de referencia. Se excluyen del cálculo elementos sin vegetación.
CES v1.1	INST. AGUA 20R Sistemas de Agua Potable: Reducir en un 20% el Consumo de Agua Potable	Obligatorio	Este requerimiento obligatorio busca reducir el consumo de agua potable en edificios mediante la incorporación de artefactos eficientes y sistemas de control. Se debe lograr una reducción del 20% en el consumo de agua potable.
CES v1.1	INST. AGUA 21R Riego: Reducir en un 20% el Consumo de Agua para Riego	Obligatorio	Este requerimiento obligatorio tiene como objetivo reducir el uso de agua para riego al mejorar la eficiencia del sistema de riego. Se debe reducir al menos un 20% el consumo de agua para riego en comparación con el caso de referencia, utilizando fuentes de agua superficial y sub-superficial.

Certificación	Requerimiento	Niveles	Descripción
CES v1.1	ARQ. AGUA 7 Paisajismo: Disminución de la Evapotranspiración	1 a 2	Este requerimiento voluntario tiene como objetivo reducir el uso de agua para riego al disminuir la evapotranspiración de las especies vegetales en proyectos de paisajismo. Se aplica únicamente en edificios donde la superficie de paisajismo es igual o superior al 20% de la superficie del terreno. Se excluyen del cálculo elementos como paseos peatonales sin vegetación. Se calcula la evapotranspiración del paisajismo y se determina la disminución porcentual respecto al caso de referencia.
CES v1.1	INST. AGUA 20.1 Sistema de Agua Potable: Sistemas Eficientes	2 a 6	Este requerimiento voluntario busca reducir el consumo de agua potable mediante la incorporación de artefactos eficientes y sistemas de control. Se debe demostrar una reducción del consumo de agua potable de acuerdo con los porcentajes por zona climática. Se excluyen de la evaluación artefactos y griferías distintos a llaves de lavamanos, llaves de lavaplatos, llaves de ducha, inodoros y urinarios.
CES v1.1	INST. AGUA 20.2 Sistema de Agua Potable: Dureza del Agua	1	Este requerimiento voluntario tiene como objetivo reducir la dureza del agua potable en los edificios mediante la instalación de sistemas de tratamiento. Se deben instalar sistemas que aseguren niveles máximos de 300 mg/L de CaCO <sub>3</sub> (carbonato de calcio) o impedir la calcificación. Se excluyen del cálculo artefactos y griferías distintos a llaves de lavamanos, llaves de lavaplatos, llaves de ducha, inodoros y urinarios.
CES v1.1	INST. AGUA 21 Riego: Sistemas Eficientes	1	Este requerimiento voluntario busca reducir el uso de agua para riego mediante la implementación de sistemas eficientes. Se aplica a proyectos de paisajismo donde la superficie de paisajismo sea igual o superior al 20% de la superficie del terreno del edificio. Se debe demostrar una reducción del consumo de agua para irrigación según los porcentajes por zona climática.

Fuente: Elaboración propia

### 6.3.4 Propuestas de requerimientos de agua para aeropuertos

#### 6.3.4.1 PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: SISTEMAS DE AGUA POTABLE - REDUCIR EL CONSUMO DE AGUA POTABLE

Al igual que para la certificación CES en su versión 1.1 el objetivo de este requerimiento obligatorio será el disminuir el consumo de agua potable mediante la incorporación de artefactos eficientes y sistemas de control y aplicará a todos los sistemas que contemplen elementos para disminuir el consumo de agua, tales como, inodoros, lavamanos y grifería eficientes, sistemas de control. Se excluirán el sistema o llave de riego y la red contra incendios.

Para calcular la reducción de consumo de agua potable en primer lugar, al igual que en la certificación CES v1.1 se deberá identificar como usuarios de jornada completa a todos aquellos de los que se espere una ocupación del edificio de 30 horas semanales o más, de media jornada a aquellos de los que se espere una jornada de entre 10 y 30 horas semanales en el edificio, mientras que los usuarios de estadía temporal serán aquellos que utilicen el edificio menos de 10 horas semanales. Para esta propuesta que está diseñada específicamente para aeropuertos se ha definido una nueva jornada de ocupación la

que corresponde a pasajeros que son personas que pueden tener un tiempo de estancia similar a la de los usuarios transitorios pero un comportamiento similar a los de media jornada.

#### 6.3.4.1.1 PROPUESTA DE FRECUENCIA DE UTILIZACIÓN

La frecuencia de utilización de los artefactos sanitarios para los distintos tipos de usuario según tipología de edificio se realiza en base a la experiencia en proyectos, a las frecuencias actuales de la certificación CES v1.1 y a los siguientes documentos consultados desde la Biblioteca “National Medicine Library del National Institutes of Health” de Estados Unidos:

- Voiding frequency in a sample of asymptomatic American men (2004).
- Defecation frequency and timing, and stool form in the general population: a prospective study (1992).
- Dysuria, Frequency, and Urgency (1990).
- Urinary frequency in community-dwelling women: What is normal? (2009).
- Assessment of normal bowel habits in the general adult population: the Popcol study (2010).

En base a las anteriores fuentes se desarrollan las frecuencias de utilización de artefactos sanitarios para terminales aeroportuarios y refugios las cuales se pueden observar en la Tabla 6-92 y Tabla 6-93 respectivamente. El tipo y tiempo de ocupación del terminal no es relevante para este cálculo ya que es reemplazado por la variable jornadas (como se observa más adelante en la Ecuación 6-1) la cual indica el número de jornadas de 8 horas que poseen ese tipo de usuarios de manera anual.

Tabla 6-92: Propuesta utilización de artefactos sanitarios para tipología terminal

	Inodoro	Urinario	Lavamanos	Ducha	Lavaplatos
Jornada completa	1	2,1	3	0,1	1
Media jornada	0,5	1,05	1,5	0,1	2,3
Pasajeros embarques	0,5	1,05	1,5	0	0,6
Pasajeros arribos	1	1,05	1,5	0	0
Estadía temporal	0,25	0,21	0,3	0	0,1

Fuente: Elaboración propia en base a CES v1.1, DAP y bibliografía consultada

Tabla 6-93: Propuesta utilización de artefactos sanitarios para tipología refugio

	Inodoro	Urinario	Lavamanos	Ducha	Lavaplatos
Jornada completa	1	2,1	3	0,1	1
Media jornada	0,5	1,05	1,5	0	2,3
Pasajeros embarques	0,25	0,5	0,8	0,0	0,3
Pasajeros arribos	0,5	1	0,8	0,0	0
Estadía temporal	0,063	0,1	0,2	0,0	0,1

Fuente: Elaboración propia en base a CES v1.1, DAP y bibliografía consultada

#### 6.3.4.1.2 PROPUESTA DE CONSUMOS REFERENCIALES

Los consumos referenciales fueron establecidos según la bibliografía revisada y el potencial de ahorro al respecto que pueden obtener los artefactos comercializados en el país. En la Tabla 6-94 se puede observar la propuesta de consumo referencial para cada artefacto sanitario.

Tabla 6-94: Propuesta de consumo referencial de artefactos sanitarios

Artefacto	Consumo referencial	Unidad
Inodoro	7	Litros por descarga
Urinario	3,8	Litros por descarga
Lavamanos	12	Litros por minuto
Tiempo lavamanos automático	15	segundos
Ducha	12	Litros por minuto
Lavaplatos	12	Litros por minuto

Fuente: Elaboración propia

### 6.3.4.1.3 CÁLCULO DE DEMANDA ANUAL DE AGUA REFERENCIAL Y PROYECTADO

Para calcular la demanda de agua se deben sumar las demandas anuales de cada grifería y artefacto especificado, y multiplicar por el número total de jornadas en que se utilizará el edificio por cada grupo de usuarios de acuerdo con la Ecuación 6-1.

La reutilización de aguas grises y aguas lluvias se descontarán de la demanda total de proyecto, como se indica en la ecuación. Debido a que la bibliografía revisada demuestra la factibilidad de la reutilización de aguas grises y aguas lluvias en proyectos aeroportuarios, la reutilización de estos tipos de agua podrá aplicarse cumpliendo siempre con las condiciones y restricciones normativas existentes.

Ecuación 6-1: Cálculo de consumo de agua anual

$$\text{Consumo referencial grupo } i = \text{Jornadas}_i \cdot \sum_{j=1}^8 \sum_{k=1}^5 \text{Usuarios}_{ij} \cdot \text{Consumo}_{ok} \cdot \text{Frecuencia}_{jk}$$

$$\text{Consumo referencial total} = \sum_{i=1} \text{Consumo referencial grupo}_i$$

$$\text{Consumo grupo } i = \text{Jornadas}_i \cdot \sum_{j=1}^8 \sum_{k=1}^5 \text{Usuarios}_{ij} \cdot \text{Consumo}_{ik} \cdot \text{Frecuencia}_{jk}$$

$$\text{Consumo total} = \sum_{i=1} \text{Consumo grupo}_i - AR$$

Fuente: Elaboración propia

Donde:

- $i$ : es el grupo que se está evaluando (de 0 a 10), donde 0 es la referencia y de 1 a 10 los grupos evaluados.
- $j$ : es el tipo de usuario (1: Mujeres 1 jornada; 2: Hombres 1 jornada, 3: Mujeres 1/2 jornada, 4: Hombres 1/2 jornada. 5: Mujeres estadía temporal, 6: Hombres estadía temporal, 7: Mujeres pasajeras, 8: Hombres pasajeros).
- $k$ : tipo de artefacto sanitario (1: Inodoro, 2: Urinario, 3: Lava manos, 4: Ducha, 5: Lava platos).
- $\text{Usuarios}_{ij}$ : Es el usuario  $j$  del grupo  $i$ . Por ejemplo,  $\text{Usuario}_{13}$  corresponde a mujeres ½ jornada del grupo 1.

- Consumo<sub>ik</sub>: Es el consumo establecido para el artefacto *k* del grupo *i*. Por ejemplo, Consumo<sub>02</sub> corresponde al consumo referencial para urinarios.
- Frecuencia<sub>jk</sub>: Es la frecuencia de utilización del artefacto *k* realizada por los usuarios *j*. Por ejemplo, Frecuencia<sub>11</sub> corresponde a la cantidad de veces que el inodoro es utilizado por las Mujeres de 1 jornada.
- Consumo grupo *i*: Corresponde al consumo del grupo *i* (0 a 10), donde el grupo 0 corresponde al consumo referencial.
- Consumo total: Corresponde al consumo total del proyecto o referencial según se indique.
- AR: Corresponde a los litros de aguas recicladas y/o recolectadas para su utilización en sistemas sanitarios.

#### 6.3.4.1.4 PROPUESTA DE ZONAS DE PRECIPITACIÓN Y NIVELES DE REDUCCIÓN

En la Tabla 6-95 se observan las precipitaciones anuales para las ciudades representativas de este estudio. De esta tabla se puede determinar que las precipitaciones varían bastantes no solo independiente de la zona climática sino de la zona geográfica. Se debe destacar que la ciudad representativa del clima no debe ser representativa de las precipitaciones de otras localidades de la misma zona climática. Por ejemplo, es el caso de Chillán que pertenece a la zona CI, pero posee una precipitación normal de 936 mm al año (más del triple de su ciudad representativa, Santiago).

Tabla 6-95: Precipitaciones anuales ciudades representativas por zona climática

Zona climática	Ciudad representativa	Estación meteorológica	Precipitaciones anuales (mm/año)
NL — Norte Litoral	Antofagasta	230001	4,4
ND — Norte Desértica	Calama	220002	6,8
NVT — Norte Valles Transversales	Copiapó	270008	11,9
CL — Central Litoral	Valparaíso	330007	523,9
CI — Central Interior	Santiago	330020	286,3
SL (1) — Sur Litoral	Concepción	360019	984,3
SL (2) — Sur Litoral	Puerto Montt	410005	1.565,6
SI — Sur Interior	Temuco	380029	1.026,3
SE (1) — Sur Extremo	Coyhaique	450004	1.023,1
SE (2) — Sur Extremo	Punta Arenas	520006	390,2
An (1) — Andina	San Pedro de Atacama	220024	66,5
An (2) — Andina	Los libertadores	320051	31,5
An (3) — Andina	Termas de Chillán	360042	993,7
Juan Fernández	Juan Fernández	330031	971,3
Rapa Nui	Rapa Nui	270001	1.129,8
Antártica	Antártica	950002	631,4

Fuente: *Elaboración propia en base a dirección meteorológica de Chile*

Debido a esta falta de relación entre las zonas climáticas y las zonas de precipitaciones se decide generar un nuevo concepto de zonas de precipitación (siguiendo como ejemplo la certificación BREEAM), estas zonas de precipitación se distribuyen según la cantidad de agua caída normal durante un año según los datos de las estaciones de la Dirección Meteorológica de

Chile. Se proponen cuatro zonas de precipitación según la cantidad de agua caída, estas zonas se pueden observar en la Tabla 6-96.

En la misma tabla se puede observar una propuesta para los niveles de reducción de agua solicitados para este requerimiento, en donde se establecen tres niveles de cumplimiento voluntario y un nivel de cumplimiento obligatorio. El nivel de cumplimiento obligatorio coincide con el primer nivel voluntario como ocurre en la mayoría de las certificaciones revisadas. En los niveles propuestos se dispone que las zonas con menores precipitaciones tengan un mayor porcentaje de ahorro de agua que las zonas con mayores precipitaciones. Estos niveles de ahorro y precipitaciones fueron inspirados por la documentación revisada, especialmente por la certificación BREEAM y la guía de ahorro de agua de los Términos de Referencia Estandarizados con parámetros de eficiencia energética y control ambiental del MOP (TDRé).

Tabla 6-96: Propuesta de zonas de precipitación y reducción de consumo

Zona precipitación	Precipitaciones anuales (X)	Niveles			
		Obligatorio	Aceptable	Bueno	Muy Bueno
I	$1.500 < X$	20%	20%	30%	40%
II	$1.000 < X \leq 1.500$	25%	25%	30%	40%
III	$500 < X \leq 1.000$	25%	25%	35%	40%
IV	$100 < X \leq 500$	30%	30%	35%	45%
V	$X \leq 100$	35%	35%	40%	45%

Fuente: *Elaboración propia*

En la Tabla 6-97 se puede observar la zona de precipitación a la que pertenece cada una de las ciudades representativas de la zona climática. Para la Antártica se aplica un caso especial debido a que posee pocas precipitaciones líquidas.

Tabla 6-97: Zonas de precipitación para ciudades representativas

Zona climática	Ciudad representativa	Precipitaciones anuales (mm/año)	Zona de precipitación
NL — Norte Litoral	Antofagasta	1,7	V
ND — Norte Desértica	Calama	6,4	V
NVT — Norte Valles Transversales	Copiapó	12	V
CL — Central Litoral	Valparaíso	372,5	IV
CI — Central Interior	Santiago	312,5	IV
SL (1) — Sur Litoral	Concepción	1.110,1	II
SL (2) — Sur Litoral	Puerto Montt	1.802,7	I
SI — Sur Interior	Temuco	1.157,4	II
SE (1) — Sur Extremo	Coyhaique	2.647,2	I
SE (2) — Sur Extremo	Punta Arenas	375,7	IV
An (1) — Andina	San Pedro de Atacama	39,3	V
An (2) — Andina	Los Libertadores	25,6	V
An (3) — Andina	Termas de Chillán	1.388,2	II
Juan Fernández	Juan Fernández	971,3	III
Rapa Nui	Rapa Nui	1.147,2	II
Antártica	Antártica	797,2	III

Fuente: *Elaboración propia en base a NCh1079-2019, INIA y DMC*

#### 6.3.4.1.5 HERRAMIENTA PARA CÁLCULO DE REDUCCIÓN DE AGUA POTABLE

Para el desarrollo de la Etapa 3, del estudio del agua, se hizo entrega de una herramienta para calcular la reducción de consumo de agua potable en los proyectos aeroportuarios. Para el desarrollo de esta herramienta se consideraron los siguientes requerimientos funcionales y no funcionales.

##### Requerimientos funcionales:

- Ingreso de datos: La herramienta debe permitir a los usuarios ingresar datos como la zona climática, las precipitaciones de la zona, las jornadas de cada grupo de usuarios, la cantidad de personas de cada grupo de usuarios y los consumos de los artefactos sanitarios del proyecto.
- Cálculos automáticos: La herramienta debe realizar cálculos automáticos utilizando fórmulas predefinidas para estimar el consumo de agua potable basándose en la información proporcionada.
- Clasificación por zonas de precipitación: Debe tener la capacidad de asignar automáticamente la zona climática seleccionada a una zona de precipitación, esta zona de precipitación puede ser actualizada según la cantidad de precipitaciones ingresadas.
- Resultados detallados: Mostrar resultados detallados que incluyan el consumo estimado de agua potable y comparaciones con valores de referencia.

##### Requerimientos no funcionales:

- Usabilidad: La interfaz de usuario debe ser intuitiva y fácil de usar, incluso para usuarios no técnicos.
- Eficiencia: La herramienta debe ejecutar cálculos rápidos y eficientes, proporcionando resultados en tiempo real.
- Seguridad: Implementar medidas de seguridad para proteger el motor de cálculo de la herramienta.
- Compatibilidad: Asegurar que la herramienta sea compatible con diferentes plataformas y dispositivos, como computadoras de escritorio, tabletas y dispositivos móviles.
- Mantenibilidad: Facilitar la actualización y mantenimiento de la herramienta, incluyendo la capacidad de incorporar nuevas fórmulas o ajustes en los algoritmos de cálculo.
- Accesibilidad: Garantizar que la herramienta sea accesible para personas con discapacidades, cumpliendo con estándares de accesibilidad web.

Teniendo estos en consideración los anteriores requerimientos se decide realizar la herramienta en un libro de Microsoft Excel, sin el uso de macros para facilitar su mantención y actualización y protegiendo la mayoría de las celdas del libro para evitar modificar celdas que son esenciales para que la herramienta funcione.

La herramienta utiliza el color blanco para las celdas de información, en donde las únicas celdas que se pueden editar son aquellas que poseen el color Hex #FFFE1.

Se han validado las casillas de zona climática, destino, la consulta de si el proyecto posee algún sistema de reutilización de agua. A su vez el ingreso de todos los valores numéricos se ha validado para que sean mayores o iguales a 0 y para que respeten la naturaleza de cada variable, enteras en caso de las jornadas y número de personas y decimales; y decimales en el caso de valores de consumo de artefactos, precipitaciones y litros reciclados/reutilizados.

También se ha validado el consumo de los usuarios masculinos sea considerado idéntico al femenino en caso de que no se ingresen consumos de urinarios para cada grupo ingresado.

Figura 6-18: Herramienta de cálculo de ahorro de agua

**1. Identificación del proyecto**

Nombre del proyecto \_\_\_\_\_  
 Código \_\_\_\_\_  
 Superficie construida (m<sup>2</sup>) \_\_\_\_\_  
 Destino \_\_\_\_\_  
 Zona climática \_\_\_\_\_  
 Precipitaciones anuales localidad (mm\* año) \_\_\_\_\_  
 Zona de precipitación \_\_\_\_\_

**2. Resultados**

Consumo de referencia (l) \_\_\_\_\_  
 Consumo del proyecto (l) \_\_\_\_\_  
 Reciclaje o recolección de agua para uso no potable \_\_\_\_\_  
 Reducción estimada del consumo (%) \_\_\_\_\_  
 Consumo / superficie (l/m<sup>2</sup>) \_\_\_\_\_  
 Cumplimiento de Requerimiento Obligatorio **No Cumple**  
 Cumplimiento de Requerimiento Voluntario **No cumple**

**3. Cálculos**

3.1. Estimación de usuarios

Usuarios	Grupo 1 ↓		Grupo 2 ↓		Grupo 3 ↓		Grupo 4 ↓		Grupo 5 ↓		Grupo 6 ↓		Grupo 7 ↓		Grupo 8 ↓		Grupo 9 ↓		Grupo 10 ↓		
	Referencia	Proyecto	Referencia	Proyecto	Referencia	Proyecto	Referencia	Proyecto	Referencia	Proyecto	Referencia	Proyecto	Referencia	Proyecto	Referencia	Proyecto	Referencia	Proyecto	Referencia	Proyecto	
Jornadas al año	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Jornada completa	Mujeres	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Hombres	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Media jornada	Mujeres	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Hombres	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pasajeros embarques	Mujeres	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Hombres	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pasajeros arribos	Mujeres	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Hombres	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Estadia temporal	Mujeres	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Hombres	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

3.2. Caracterización del consumo unitario de artefactos sanitarios

Fuente: Elaboración propia en base a CES v1.1

6.3.4.2 PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: SISTEMAS DE AGUA SANITARIOS: REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PARA USO SANITARIO SIN CONSUMO HUMANO

Se propone un requerimiento voluntario para el apoyo de consumo de agua sanitaria sin consumo humano mediante la reutilización de aguas grises. Tomando como base la bibliografía revisada y el alcance que posee la certificación CES en su versión 1.1 se propone un requerimiento voluntario de características similares al requerimiento INST. Energía 18 Energía renovable no convencional, en el cual se entrega un puntaje extra por el uso de energía renovable, que para en este caso sería análogo, pero por el uso de aguas recicladas para uso sanitario sin consumo humano.

La manera de respaldar el cumplimiento sería una memoria de cálculo de parte del proyectista sanitario en donde se indiquen las especificaciones del sistema de reciclaje de aguas grises según la normativa vigente. Dentro de las especificaciones se debe indicar la cantidad de agua que se espera obtener para apoyar al sistema sanitario.

En la Ecuación 6-2 se puede observar el cálculo para este requerimiento en donde sólo se considera el consumo de inodoros y urinarios debido a la mayor dificultad de usar aguas recicladas para el uso que tenga que implicancias con contacto directo con los seres humanos. La propuesta de niveles se puede observar en la Tabla 6-98 y se encuentra relacionada a las zonas de precipitación, indicando que aquellas zonas con menores precipitaciones tendrán una mayor exigencia debido a la escasez del recurso hídrico.

Ecuación 6-2: Cálculo de aporte de consumo sanitario por recolección y/o reciclaje de aguas

$$\text{Aporte \%} = \frac{\text{Aguas grises recicladas utilizadas en sistemas sanitarios no potables}}{\text{Consumo total de inodoros} + \text{Consumo total de urinarios}}$$

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-98: Propuesta de niveles según aporte de aguas grises recicladas sobre consumo sanitario sin consumo humano

Zona precipitación	Precipitaciones anuales (X)	Bueno	Muy Bueno
I	$1.500 < X$	20%	30%
II	$1.000 < X \leq 1.500$	20%	30%
III	$500 < X \leq 1.000$	20%	35%
IV	$100 < X \leq 500$	25%	35%
V	$X \leq 100$	30%	40%

Fuente: Elaboración propia

### 6.3.4.3 PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: SISTEMAS DE AGUA SANITARIOS: TECNOLOGÍA DE REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES

Se propone un requerimiento voluntario que se enfoca en la implementación de sistemas avanzados para la reutilización y tratamiento de aguas grises, destinadas a usos sanitarios sin consumo humano, como la descarga de inodoros y urinarios. La propuesta establece que, a un mayor filtraje en la tecnología de reutilización implementada, superior será el nivel de sostenibilidad y calidad del agua alcanzado por el proyecto.

Las tecnologías de reutilización de aguas grises implican procesos de recolección de aguas de duchas, lavabos y lavaderos, excluyendo las aguas de cocinas y aguas negras debido a su alta carga contaminante. Posteriormente, como se ha expuesto en los casos internacionales, estas aguas son procesadas a través de sistemas de filtración y desinfección. El diseño de estos sistemas debe garantizar que el agua tratada cumpla con los estándares de calidad apropiados para su uso seguro en aplicaciones sanitarias sin consumo humano. En la Tabla 6-99 se observan los distintos niveles que puede alcanzar un proyecto según la tecnología utilizada.

Tabla 6-99: Propuesta de niveles según tecnología utilizada para reutilización de aguas grises

Nivel	Tipo de sistema	Descripción
Aceptable	Filtros de arena o multimedia	El sistema cuenta con capas de arena, carbón activado, y/o gravilla eliminan las partículas más finas y algunos químicos.
Suficiente	Filtros de membrana (Ultrafiltración)	El sistema posee membranas semipermeables que remueven partículas muy pequeñas, incluyendo algunos tipos de virus y bacterias.
Bueno	Biorreactores de membrana (MBR)	El sistema utiliza una combinación de procesos biológicos y filtración por membrana, los que en conjunto son efectivos en la eliminación de contaminantes orgánicos y patógenos.
Muy bueno	Tratamientos combinados con desinfección	El sistema cuenta con métodos como ozonización, irradiación UV y procesos avanzados de oxidación.

Fuente: Elaboración propia

#### 6.3.4.4 PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: SISTEMAS DE AGUA SANITARIOS: REUTILIZACIÓN DE AGUAS DE PRECIPITACIONES PARA USO SANITARIO SIN CONSUMO HUMANO

Se propone un requerimiento voluntario para el apoyo de consumo de agua sanitaria mediante la recolección de aguas desde precipitaciones.

La manera de respaldar el cumplimiento sería una memoria de cálculo de parte del proyectista sanitario en donde se indiquen las especificaciones del sistema de recolección de aguas de precipitaciones según la normativa vigente. Dentro de las especificaciones se debe indicar la cantidad de agua que se espera obtener para apoyar al sistema sanitario.

En la Ecuación 6-3 se puede observar el cálculo para este requerimiento en donde sólo se considera el consumo de inodoros y urinarios debido a la mayor dificultad de usar aguas recicladas para el uso que tenga que implicancias con contacto directo con los seres humanos. La propuesta de niveles se puede observar en la Tabla 6-100 y se encuentra relacionada a las zonas de precipitación, indicando que aquellas zonas con mayores precipitaciones tendrán una mayor exigencia debido a la mayor disposición de este tipo de aguas.

Ecuación 6-3: Cálculo de aporte de consumo sanitario sin consumo humano por recolección de aguas

$$\text{Aporte \%} = \frac{\text{Aguas grises recoleccionadas utilizadas en sistemas sanitarios no potables}}{\text{Consumo total de inodoros} + \text{Consumo total de urinarios}}$$

*Fuente: Elaboración propia*

Tabla 6-100: Propuesta de niveles según aporte de aguas recolectadas sobre consumo sanitario sin consumo humano

Zona precipitación	Precipitaciones anuales (X)	Bueno	Muy Bueno
I	1.500 < X	30%	40%
II	1.000 < X ≤ 1.500	25%	35%
III	500 < X ≤ 1.000	20%	35%
IV	100 < X ≤ 500	20%	30%
V	X ≤ 100	15%	25%

*Fuente: Elaboración propia*

#### 6.3.4.5 PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: SISTEMAS DE AGUA SANITARIOS: TECNOLOGÍA DE RECOLECCIÓN DE AGUAS PLUVIALES

Se propone un requerimiento voluntario que reconozca la captura y/o cosecha de agua adaptados a la diversidad meteorológica de Chile. En el norte de Chile, caracterizado por fenómenos como el invierno altioplánico y la camanchaca, se recomienda la instalación de atrapanieblas y sistemas de condensación atmosférica. Estas tecnologías permiten capturar la humedad directamente del aire y la condensan para su almacenamiento y uso posterior.

Para zonas más afectadas por los fenómenos ENSO ("El Niño" y "La Niña"), se propone que los sistemas de recolección de aguas preferidos sean sistemas modulares de recolección de aguas pluviales que pueden ser ajustados según la intensidad y frecuencia de las precipitaciones esperadas. Estos sistemas incluyen superficies de captación, canales de conducción y tanques de almacenamiento subterráneo o elevado, que permiten aprovechar al máximo los periodos de abundante lluvia y usarlas en épocas de sequía.

En el sur y la zona patagónica, donde la precipitación en forma de lluvia y nieve es más frecuente, se propone que los sistemas preferidos sean estructuras de almacenamiento de nieve y lluvia que permiten su acumulación durante los meses de invierno y su posterior uso sanitario sin consumo humano durante los meses más cálidos.

En la Tabla 6-101 se presentan los sistemas recomendados para cada zona climática. Para este requisito, se propone un único nivel de clasificación, denominado 'Muy Bueno'. Este nivel se alcanza cuando el proyecto incorpora al menos uno de los sistemas adaptados a las condiciones climáticas del lugar donde se emplaza.

Tabla 6-101: Propuesta de niveles según aporte de aguas recolectadas y/o cosechadas sobre consumo sanitario sin consumo humano

Zona climática	Sistemas según clima
NL	Atrapanieblas, sistemas de condensación atmosférica, sistemas de almacenamiento de aguas lluvias.
ND	Atrapanieblas, sistemas de condensación atmosférica, sistemas de almacenamiento de aguas lluvias.
NVT	Atrapanieblas, sistemas de condensación atmosférica, sistemas de almacenamiento de aguas lluvias.
CL	Atrapanieblas, sistemas de condensación atmosférica, sistemas de almacenamiento de aguas lluvias.
CI	Sistemas de almacenamiento de aguas lluvias.
SL (1)	Atrapanieblas, sistemas de condensación atmosférica, sistemas de almacenamiento de aguas lluvias.
SL (2)	Atrapanieblas, sistemas de condensación atmosférica, sistemas de almacenamiento de aguas lluvias.
SI	Sistemas de almacenamiento de aguas lluvias.
SE (1)	Sistemas de almacenamiento de aguas lluvias, sistemas de recolección y deshielo de nieve.
SE (2)	Sistemas de condensación atmosférica, sistemas de almacenamiento de aguas lluvias, sistemas de recolección y deshielo de nieve.
An (1)	Atrapanieblas, sistemas de condensación atmosférica, sistemas de almacenamiento de aguas lluvias.
An (2)	Sistemas de condensación atmosférica, sistemas de almacenamiento de aguas lluvias, sistemas de recolección y deshielo de nieve.
An (3)	Sistemas de condensación atmosférica, sistemas de almacenamiento de aguas lluvias, sistemas de recolección y deshielo de nieve.
Insular	Sistemas de condensación atmosférica, sistemas de almacenamiento de aguas lluvias.
Antártica	Sistemas de recolección y deshielo de nieve.

Fuente: *Elaboración propia*

#### 6.3.4.6 PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: SISTEMAS DE AGUA SANITARIOS: PLANTAS DE TRATAMIENTO IN SITU

Se propone un requerimiento voluntario que visualice los esfuerzos realizados por un proyecto aeroportuario respecto a la instalación de plantas de tratamiento de aguas. Esta propuesta tiene como objetivo permitir la reutilización de aguas grises y negras para fines no potables como riego, descargas de sanitarios, y sistemas de enfriamiento, contribuyendo así a una reducción en el consumo de agua potable de los terminales de pasajeros.

Para acceder a la puntuación entregado por este requerimiento, el proyecto debe declarar que el sistema trate y reutilice al menos el 25% total de aguas residuales generadas. Se contemplan dos niveles de cumplimiento, el nivel "Bueno" con un tratamiento del 25% de las aguas residuales y el nivel "Muy Bueno" con un 40% de tratamiento de las aguas residuales, además, para este nivel se deben implementar tecnologías como membranas de bio-reactor (MBR), ozonización, o tecnologías de filtración avanzada y sistemas de monitoreo en tiempo real para asegurar la calidad del agua tratada.

Este requerimiento no hace diferencia entre zonas climáticas y o de precipitaciones ya que se considera que posee las mismas dificultades para todas las zonas del país.

6.3.4.7 PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: SISTEMAS DE AGUA EFICIENTE: USO DE AGUA RECOLECTADA Y/O RECICLADA EN OPERACIONES AEROPORTUARIAS

Se realiza una propuesta de requerimiento voluntario que fomente el uso del agua reciclada y/o recolectada en operaciones aeroportuarias (OAs). Esta propuesta no realiza diferencia entre zonas climáticas y/o recicladas ya que la cantidad de agua reciclada o cosechada para las distintas zonas del país en su totalidad se mantiene constante.

El objetivo que persigue este requerimiento es la implementación de sistemas de agua eficientes para reducir la dependencia de los aeropuertos en fuentes de agua potable. Para evaluar el cumplimiento de estos objetivos, se proponen tres niveles de implementación: Aceptable, Bueno y Muy Bueno. Los niveles vienen dados según el porcentaje de agua reutilizada y/o reciclada que se utilice en las operaciones aeroportuarias como lo pueden ser el lavado de pistas, lavado de vehículos y aeronaves, almacenamiento en tanques de bomberos, ejercicios de entrenamiento y simulacro de bomberos entre otros, la forma de cálculo y los niveles alcanzados se observan en la Ecuación 6-4 y la Tabla 6-102 respectivamente.

Ecuación 6-4: Cálculo de aporte de aguas recicladas y/o cosechadas para operaciones aeroportuarias

$$\text{Aporte \%} = \frac{\text{Aguas recicladas utilizadas en OAs} + \text{Aguas recoleccionadas utilizadas en OAs}}{\text{Aguas de OAs}}$$

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-102: Propuesta de niveles según aporte de aguas recolectadas sobre consumo de OAs

Nivel	Aporte %
Aceptable	20%
Bueno	30%
Muy Bueno	40%

Fuente: Elaboración propia

6.3.4.8 PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: SISTEMAS DE AGUA EFICIENTE: SISTEMA DE CONTROL Y MEDICIÓN

Se propone establecer un criterio para la implementación de sistemas de control y medición de agua en proyectos de infraestructura aeroportuaria. Estos sistemas son importantes para la gestión eficaz del recurso hídrico, permitiendo una operación más sostenible y viable a largo plazo.

Para cumplir con este criterio los proyectos deben incluir sistemas de control y/o medición que permitan una supervisión efectiva del consumo de agua y una rápida intervención en caso de desperfectos como fugas. El requerimiento se propone en dos niveles: Bueno y Muy Bueno.

En la Tabla 6-103 se pueden observar los niveles propuestos, estos niveles tampoco hacen diferencia entre zonas climáticas o de precipitaciones ya que la dificultad de instalación de este tipo de sistemas no se ve afectada en mayoría por las condiciones climatológicas.

Tabla 6-103: Propuesta de niveles según sistemas de control y medición instalados

Nivel	Aporte %
Bueno	Implementación de sistemas de monitoreo para el control de fugas <u>o</u> instalación de medidores individualizados para todas las operaciones aeroportuarias relevantes (servicios higiénicos, cocinas y comedores, OAs, etc.).
Muy Bueno	Implementación de sistemas de monitoreo para el control de fugas <u>e</u> instalación de medidores individualizados para todas las operaciones aeroportuarias relevantes (servicios higiénicos, cocinas y comedores, OAs, etc.).

Fuente: Elaboración propia

6.3.4.9 PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: SISTEMAS DE AGUA EFICIENTE: CONCIENCIACIÓN DEL USO DEL AGUA

Se propone un criterio que tenga como objetivo el fomentar una cultura de concienciación sobre el uso eficiente del agua dentro de las instalaciones aeroportuarias tanto para pasajeros, personas de estadía temporal y operarios de los terminales.

Para cumplir con este requerimiento se deben establecer programas permanentes de concienciación que sean visibles en todas las áreas del aeropuerto donde el agua es accesible o recintos de alta densidad de ocupación y estadía. Esto incluye servicios higiénicos, zonas de acceso a agua potable, salas de embarque, sala de retiro de equipajes, salas de espera y otros espacios comunes como el hall principal. Se distinguen dos niveles de este criterio Bueno y Muy Bueno, estos niveles se detallan en la Tabla 6-104 y algunos ejemplos de estos programas de concienciación se pueden observar en la Figura 6-19 y Figura 6-20.

Tabla 6-104: Propuesta de niveles según concienciación del uso del agua

Nivel	Aporte %
Bueno	Programas de concienciación implementados de forma permanente en todas las áreas de servicios higiénicos y zonas de acceso a agua potable <u>o</u> en todos los recintos de estancia común como salas de embarque, de retiro de equipajes, esperas, hall principal, etc.
Muy Bueno	Programas de concienciación implementados de forma permanente en todas las áreas de servicios higiénicos y zonas de acceso a agua potable <u>y</u> en todos los recintos de estancia común como salas de embarque, de retiro de equipajes, esperas, hall principal, etc.

Fuente: *Elaboración propia*

Figura 6-19: Afiche de concienciación sobre el uso de agua en baños masculinos del aeropuerto internacional de Chennai



Fuente: *ksriranga*

Figura 6-20: Afiche de concienciación sobre el uso de agua en zonas comunes del aeropuerto de Ciudad del Cabo



Fuente: A Rocha

6.3.4.10 PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: SISTEMAS DE AGUA EFICIENTE: CONSUMO DE AGUA DE LAS TORRES DE REFRIGERACIÓN

En base al crédito LEED eficiencia agua (EA): consumo de agua de las torres de refrigeración se propone un requerimiento voluntario que tenga como objetivo optimizar el uso del agua en sistemas de refrigeración, incluyendo torres de refrigeración y condensadores evaporativos. Este criterio además busca controlar los niveles de microorganismos, corrosión y formación de escamas en el sistema de agua del condensador.

Para cumplir con este requerimiento en primer lugar se debe realizar un análisis de la calidad del agua utilizada en las torres de refrigeración, evaluando seis parámetros como se indica en la Tabla 6-105.

Tabla 6-105: Estándares para electrodomésticos y procesos

Parámetro	Nivel máximo
pH	7 – 9
Sulfatos	250 ppm
Clorhídricos	350 ppm
Dureza	1.000 ppm
Silicatos	150 ppm
Conductividad	2.400 mmHos/cm

Fuente: Elaboración propia en base a GSA

Para obtener la reducción de consumo se debe calcular el número de ciclos de las torres de refrigeración dividiendo el nivel máximo permitido de concentración de cada parámetro por el nivel de concentración real de cada parámetro encontrado en el agua potable suplementaria. Limitar los ciclos de las torres de refrigeración para evitar exceder los valores máximos de cualquiera de estos parámetros. Este requerimiento no hace distinción por zonas climáticas y para obtener reconocimiento por utilizar agua reutilizada o cosechada, esta debe alcanzar al menos un 20% del agua utilizada.

Tabla 6-106: Niveles para requerimiento de consumo de agua de las torres de refrigeración

Nivel	Ciclos de las torres de refrigeración
Bueno	Alcanzar un mínimo de 10 ciclos incrementando el nivel de tratamiento en el condensador o el agua suplementaria <u>o</u> utilizar un mínimo del 20% de agua reciclada o cosechada para la operación de los sistemas de refrigeración.
Muy Bueno	Alcanzar un mínimo de 10 ciclos incrementando el nivel de tratamiento en el condensador o el agua suplementaria <u>y</u> utilizar un mínimo del 20% de agua reciclada o cosechada para la operación de los sistemas de refrigeración.

Fuente: Elaboración propia

#### 6.3.4.11 PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: SISTEMAS DE AGUA EFICIENTE: USO DE AGUA DESALINIZADA

Considerando la gran costa que Chile posee se propone un requerimiento se centra en la incorporación de plantas desalinizadoras o que tengan suministro de aguas desde este tipo de plantas y así del uso de agua desalinizada en las operaciones aeroportuarias situadas en zonas litorales del país.

El requerimiento se estructura en dos niveles: Bueno y Muy Bueno, dependiendo del porcentaje de agua desalinizada utilizada. La forma de calcular el porcentaje de agua desalinizada utilizada se puede observar en la ecuación X, mientras que los niveles propuestos en la Tabla 6-107.

Para certificar el cumplimiento con estos niveles, el proyecto debe presentar documentación detallada que incluya: informes sobre la capacidad y operación de la planta desalinizadora, un análisis de la composición del agua antes y después del proceso de desalinización y un registro del volumen de agua desalinizada utilizada en comparación con el consumo total de agua.

Ecuación 6-5: Cálculo de aporte de aguas recicladas y/o cosechadas para operaciones aeroportuarias

$$\text{Aporte \%} = \frac{\text{Aguas desalinizadas}}{\text{Consumo de agua potable} + \text{Consumo de agua para OAs} + \text{Consumo de agua de riego}}$$

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-107: Propuesta de niveles según concienciación del uso del agua

Nivel	Aporte %
Bueno	20% de agua desalinizada
Muy Bueno	40% de agua desalinizada

Fuente: Elaboración propia

#### 6.3.4.12 PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: SISTEMAS DE AGUA EFICIENTE: DUREZA DEL AGUA

Con el objetivo de reducir la dureza del agua potable en los edificios ubicados en comunas con agua potable con alta concentración de dureza se mantiene el requerimiento de dureza del agua que presenta la certificación CES en su versión 1.1. No obstante, y considerando los niveles de inversión y tamaño que poseen los proyectos aeroportuarios se considera que este criterio debiese ser obligatorio para todos los edificios.

Las condiciones para cumplir con este requerimiento son las mismas que para la CES v1.1 que son instalar un sistema de tratamiento para la remoción de la dureza del agua tales como, pero no restringidos a:

- proceso cal-carbonato
- intercambio iónico
- procesos de membranas
- evaporación-condensación
- Efecto campo magnético

Los sistemas basados en remoción deberán asegurar niveles máximos de 300 mg/L de CaCO<sub>3</sub> (carbonato de calcio), otros sistemas tales como el de campo magnético deben impedir la calcificación. El sistema de remoción de dureza debe incluir una memoria que explique su funcionamiento, el tipo de mantención que debe recibir el sistema de tratamiento y cada cuanto tiempo se debe realizar.

#### 6.3.4.13 PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: PAISAJISMO – REDUCIR EVAPOTRANSPIRACIÓN

Al igual que para la certificación CES en su versión 1.1 el objetivo de este requerimiento obligatorio será el reducir la necesidad de agua de las especies vegetales del proyecto de paisajismo. La primera diferencia con el requerimiento de la versión 1.1 de la CES es que esta propuesta no está limitada al 20% del terreno donde se emplaza el edificio esto debido a que los aeropuertos se emplazan en grandes terrenos en donde una parte importante de esa superficie debe ser utilizada para pistas de aterrizajes y otras operaciones aeroportuarias. Por estos motivos y para favorecer que los proyectos aeroportuarios cuenten con la especialidad de paisajismo la propuesta se limita al 5% de la superficie útil del edificio terminal de pasajeros, esta limitación incluye que la superficie a considerar es sólo aquella que posee vegetación viva.

##### 6.3.4.13.1 METODOLOGÍA DE CÁLCULO: PAISAJISMO – EVAPOTRANSPIRACIÓN REFERENCIAL Y DEL PROYECTO

Para validar este requerimiento, en primer lugar, se debe calcular la evapotranspiración de proyecto y de referencia, en el mes más caluroso del año, para luego determinar la disminución porcentual de la primera respecto a la segunda.

En la Tabla 6-108 se puede observar la evapotranspiración para cada ciudad representativa, para la antártica no existen datos sobre evapotranspiración en las estaciones, además, considerando la dificultad de los proyectos de paisajismo en esa zona, es la única zona que puede omitir el cumplimiento de este requerimiento.

Tabla 6-108: Evapotranspiración para ciudades representativas

Zona climática	Ciudad representativa	Evapotranspiración de referencia (ETO <sub>mm</sub> )
NL — Norte Litoral	Antofagasta	232
ND — Norte Desértica	Calama	184
NVT — Norte Valles Transversales	Copiapó	192
CL — Central Litoral	Valparaíso	150
CI — Central Interior	Santiago	210
SL (1) — Sur Litoral	Concepción	141
SL (2) — Sur Litoral	Puerto Montt	121
SI — Sur Interior	Temuco	171
SE (1) — Sur Extremo	Coyhaique	171
SE (2) — Sur Extremo	Punta Arenas	106
An (1) — Andina	San Pedro de Atacama	178
An (2) — Andina	Los Libertadores	179
An (3) — Andina	Termas de Chillán	165
Juan Fernández	Juan Fernández	126
Rapa Nui	Rapa Nui	126

Fuente: elaboración propia en base a CES v1.1, INIA y DMC

La metodología que se propone es conocida como la del Coeficiente de Paisajismo que es presentada en el documento "The Landscape Coefficient Method" (Costelo and Jones, University of California, 2000), es una técnica avanzada utilizada para estimar las necesidades de agua de los paisajes urbanos y diseñar sistemas de riego más eficientes.

Para calcular la reducción de evapotranspiración en primer lugar se debe identificar y calcular la superficie de cada sector de paisajismo en función de cuatro características: factor especie, factor densidad, factor microclima y sistema de riego. La denominación de estos coeficientes se puede observar en la Tabla 6-109 y la relación entre los mismos en la Ecuación 6-6.

Tabla 6-109: Factores de paisajismo

Nomenclatura	Factor	Definición
$K_L$	Coefficiente de paisajismo	El Coeficiente de Paisajismo es un índice que modifica la evapotranspiración de referencia para reflejar las condiciones específicas del paisaje evaluado. Se calcula como el producto de tres factores distintos: el Factor de Especie, el Factor de Microclima y el Factor de Densidad.
$K_s$	Factor de especie	Este factor refleja las necesidades hídricas de las plantas específicas en comparación con las de un césped estándar, que se utiliza como base para la evapotranspiración de referencia. Los niveles de factor especie se pueden observar en la Tabla 6-110.
$K_d$	Factor de densidad	Este factor se relaciona con la cobertura vegetal del área y cómo esta afecta la evaporación y transpiración. Los niveles de factor densidad se pueden observar en la Tabla 6-110.
$k_{mc}$	Factor de microclima	El Factor de Microclima ajusta la evapotranspiración de referencia basándose en las condiciones climáticas locales, como la exposición al sol, el viento y la reflexión de superficies cercanas. Los niveles de factor microclima se pueden observar en la Tabla 6-110.

Fuente: *Elaboración propia en base a Costello, Matheny & Clark*

Ecuación 6-6: Cálculo de coeficiente de paisajismo

$$K_L = k_s \cdot k_d \cdot k_{mc}$$

Fuente: *Costello, Matheny & Clark*

Los niveles del factor de especie se determinan según el requerimiento hídrico de cada una de las especies, dónde el factor de especie bajo corresponde a especies con bajo requerimiento de agua o especies endémicas de la zona de emplazamiento, el nivel medio para aquellas con necesidad de agua medias y el nivel alto para las especies con altas necesidades de agua.

Los niveles del factor densidad se determinan según la cobertura de las especies en el espacio que les fue asignado, dónde bajo corresponde a una cobertura menor a 70% o especies endémicas de la zona de emplazamiento, el nivel medio para una cobertura menor a 90% y el nivel alto para una cobertura total de la superficie.

Los niveles del factor microclima se determinan según las condiciones climáticas locales, donde el nivel bajo corresponde a jardines protegidos y/o entornos pocos urbanizados, o a jardines compuestos por especies endémicas de la zona de emplazamiento; el nivel medio para paisajismo a campo abierto o grandes jardines (mayor a 50m<sup>2</sup>) con poco pavimento y, por su lado, el nivel alto corresponde a aquellos jardines que tienen influencia de fuentes de calor, frío, sombra o vientos externos como lo pueden ser efectos generados por unidad exteriores de HVAC, flujo vehicular, elevado uso de pavimentos, etc.

En la Tabla 6-110 se puede observar el valor para cada factor según el nivel alcanzado, en la misma tabla se observa como las especies endémicas sólo alcanzan el nivel bajo, esto es para premiar el uso de especies autóctonas de la zona de emplazamiento de los proyectos lo que de manera natural significa un ahorro de agua para el proyecto además de mantener la identidad eco cultural de la zona. Tanto especies endémicas como especies de bajo consumo hídrico se pueden observar en los puntos 3.11 y 3.12 del Anexo 1.

Tabla 6-110: Factores por tipo de vegetación

Tipo de vegetación	Factor especie			Factor densidad			Factor microclima		
	Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto
Árboles	0,2	0,5	0,9	0,5	1	1,3	0,5	1	1,4
Arbustos, trepadoras y crasas	0,2	0,5	0,7	0,5	1	1,1	0,5	1	1,3
Gramíneas	0,8	0,6	0,3	0,5	1	1,1	0,5	1	1,3
Cactáceas	0,7	0,5	0,2	0,5	1	1,1	0,5	1	1,3
Cubre suelos, tapizantes y herbáceas	0,2	0,5	0,7	0,5	1	1,1	0,5	1	1,2
Aplicación mixta sin césped	0,2	0,5	0,9	0,5	1	1,1	0,5	1	1,4
Césped	0,6	0,7	0,8	0,6	1	1	0,8	1	1,2
Endémicas	0,2	-	-	0,5	-	-	0,5	-	-

Fuente: Elaboración propia en base a CES v1.1, MINVU y Costello, Matheny & Clark

El cálculo de la evapotranspiración de referencia ( $ETL_r$ ) y la del proyecto (ETL) se pueden observar en la Ecuación 6-7 y Ecuación 6-8 respectivamente.

Ecuación 6-7: Cálculo de evapotranspiración referencial

$$ETL_r = ETO_{mm} \cdot K_{Lr}$$

Fuente: Costello, Matheny & Clark

Ecuación 6-8: Cálculo de evapotranspiración proyecto

$$ETL = ETO_{mm} \cdot K_L$$

Fuente: Costello, Matheny & Clark

El cálculo de la evapotranspiración referencial y evapotranspiración del proyecto se debe realizar por cada zona de paisajismo identificada, este cálculo junto al porcentaje de reducción se puede observar en la Ecuación 6-9.

Ecuación 6-9: Cálculo de reducción de evapotranspiración

$$ETL_{r-proyecto} = \frac{\sum_{i=1}^{10} S_i \cdot ETO_{mm} \cdot k_{s,r-i} \cdot k_{d,r-i} \cdot k_{mc,r-i}}{\sum_{i=1}^{10} S_i}$$

$$ETL_{proyecto} = \frac{\sum_{i=1}^{10} S_i \cdot ETO_{mm} \cdot k_{s,i} \cdot k_{d,i} \cdot k_{mc,i}}{\sum_{i=1}^{10} S_i}$$

$$\text{Porcentaje de reducción} = \frac{ETL_{r-proyecto} - ETL_{proyecto}}{ETL_{r-proyecto}} \cdot 100\%$$

Fuente: Elaboración propia en base a Costello, Matheny & Clark

Donde:

- $i$ : es el grupo que se está evaluando (de 1 a 10).
- $r$ :- indica que se está evaluando un grupo referencial, por ejemplo  $k_{s,r-i}$  hace alusión al factor de especie referencial del grupo  $i$ .
- $S_i$ : Superficie de paisajismo en  $m^2$  del grupo  $i$ .

6.3.4.13.2 NIVELES DE CALIFICACIÓN: PAISAJISMO - REDUCIR EVAPOTRANSPIRACIÓN

En Tabla 6-111 se puede observar una propuesta para los niveles de reducción de evapotranspiración solicitados para este requerimiento, en donde se establecen dos niveles de cumplimiento voluntario y un nivel de cumplimiento obligatorio. El nivel de cumplimiento obligatorio no distingue entre zonas climáticas y se mantiene en un 20% como en la CES v1.1. En los niveles voluntarios propuestos se dispone que las zonas con menores precipitaciones tengan un mayor porcentaje de reducción de evapotranspiración que las zonas con mayores precipitaciones.

Tabla 6-111: Propuesta de zonas de precipitación y reducción de evapotranspiración

Zona precipitación	Precipitaciones anuales (X)	Obligatorio	Nivel Bueno	Nivel Muy Bueno
I	1.500 < X	20%	50%	60%
II	1.000 < X ≤ 1.500	20%	55%	65%
III	500 < X ≤ 1.000	20%	60%	70%
IV	100 < X ≤ 500	20%	65%	75%
V	X ≤ 100	20%	70%	80%

Fuente: Elaboración propia

6.3.4.14 PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: PAISAJISMO – SISTEMAS DE RIEGO EFICIENTES

Al igual que para la certificación CES en su versión 1.1 el objetivo de este requerimiento obligatorio será el reducir la necesidad Reducir el uso de agua para riego, sea esta agua potable o de otras fuentes de aguas superficiales o subsuperficiales. Al igual que en el requerimiento asociado a evapotranspiración la primera diferencia con el requerimiento de la versión 1.1 de la CES es que esta propuesta no está limitada al 20% del terreno donde se emplaza el edificio esto debido a que los aeropuertos se emplazan en grandes terrenos en donde una parte importante de esa superficie debe ser utilizada para pistas de aterrizajes y otras operaciones aeroportuarias. Por estos motivos y para favorecer que los proyectos aeroportuarios cuenten con la especialidad de paisajismo la propuesta se limita al 5% de la superficie útil del edificio terminal de pasajeros, esta limitación incluye que la superficie a considerar es sólo aquella que posee vegetación viva.

6.3.4.14.1 METODOLOGÍA DE CÁLCULO: PAISAJISMO - RIEGO REFERENCIAL Y DEL PROYECTO

Para validar este requerimiento, en primer lugar, se debe calcular la demanda estimada de agua para riego del proyecto y la demanda de referencia, en el mes más caluroso del año, para luego determinar la disminución porcentual de la primera respecto a la segunda.

La metodología que se propone es conocida como la presentada por la Comisión Nacional de riego que se basa en cubrir la cantidad de agua evapotranspirada en cada grupo de paisajismo. En la Ecuación 6-10 y Ecuación 6-11 se puede observar la forma de cálculo de demanda de agua para riego del caso referencial y del proyecto. Finalmente se calcula el porcentaje de reducción de ahorro de agua para riego según la Ecuación 6-12.

Ecuación 6-10: Demanda de agua para riego referencial

$$DR_r = \sum_{i=1}^{10} \frac{S_i \cdot ETL_{mm,i}}{0,5}$$

Fuente: Elaboración propia en base a Comisión Nacional de Riego y CESv1.1

Ecuación 6-11: Demanda de agua para riego del proyecto

$$DR = \sum_{i=1}^{10} \frac{S_i \cdot ETL_{mm,i} \cdot CE_i}{IE_i}$$

Fuente: Elaboración propia en base a Comisión Nacional de Riego y CESv1.1

Donde:

- $i$ : es el grupo que se está evaluando (de 1 a 10).
- $DR_r$ : Demanda de agua para riego referencial en litros.
- $DR$ : Demanda de agua para riego del proyecto en litros.
- $S_i$ : Superficie de paisajismo en  $m^2$  del grupo  $i$ . Este valor debe ser igual para referencia y proyecto.
- $ETL_{mm,i}$ : Evapotranspiración del sector  $i$  de paisajismo. Este valor debe ser igual para referencia y proyecto y es el que se obtiene de la Ecuación 6-8 para cada grupo.
- $IE_i$ : Eficiencia del sistema riego del sector  $i$ . Las eficiencias de los sistemas de riego se pueden observar en la Tabla 6-112
- $CE_i$ : Eficiencia del controlador de riego del sector  $i$ . Las eficiencias de los sistemas de riego se pueden observar en la Tabla 6-113.

Tabla 6-112: Eficiencia según tipo de riego

Tipo de riego	Eficiencia (IE)
Tendido	30%
Surcos	45%
Manguera	50%
Borde y pretilos	60%
Taza y californiano	65%
Aspersión (impacto)	75%
Aspersión (boquilla fija y rotores)	80%
Aspersión (rotores MP)	85%
Microjet y micro-aspersores	85%
Cinta	90%
Goteo	90%

Fuente: Elaboración propia en base a Comisión Nacional de Riego

Tabla 6-113: Eficiencia según tipo de controlador de riego

Tipo de controlador	Descripción	Eficiencia	Factor de eficiencia (CE)
Sin controlador	Sistema sin controlador de riego, por lo que depende del accionamiento manual de las llaves de agua.	0%	1
Mecánicos	Basados en relojes de cuerda o presión hidráulica para operar válvulas. No requieren electricidad.	70%	0,9
Eléctricos	Utilizan temporizadores y relés para controlar el flujo de agua a través de válvulas eléctricas. Son programables a intervalos fijos.	80%	0,8
Electrónicos y digitales	Incorporan tecnologías como sensores de humedad del suelo, meteorológicos, y conectividad IoT para ajustar los horarios de riego dinámicamente.	90%	0,7

Fuente: Elaboración propia en base a Jensen (2007), Michael (2008) y Fisher (2012)

Ecuación 6-12: Demanda de agua para riego del proyecto

$$\text{Porcentaje de reducción agua para riego} = \frac{DR - \text{Agua reciclada y recoleccionada utilizada para riego}}{DR_r} \cdot 100\%$$

Fuente: Elaboración propia en base a CESv1.1

#### 6.3.4.14.2 NIVELES DE CALIFICACIÓN: PAISAJISMO – REDUCIR AGUA UTILIZADA PARA RIEGO

En Tabla 6-114 se puede observar una propuesta para los niveles de reducción de agua utilizada para riego, solicitados para este requerimiento, en donde se establecen dos niveles de cumplimiento voluntario y un nivel de cumplimiento obligatorio. El nivel de cumplimiento obligatorio no distingue entre zonas climáticas y se mantiene en un 20% como en la CES v1.1. En los niveles voluntarios propuestos se dispone que las zonas con menores precipitaciones tengan un mayor porcentaje de reducción de agua utilizada para riego que las zonas con mayores precipitaciones.

Tabla 6-114: Propuesta de zonas de precipitación y reducción de consumo de agua para riego

Zona precipitación	Precipitaciones anuales (X)	Obligatorio	Nivel Bueno	Nivel Muy Bueno
I	1.500 < X	20%	45%	55%
II	1.000 < X ≤ 1.500	20%	45%	60%
III	500 < X ≤ 1.000	20%	45%	65%
IV	100 < X ≤ 500	20%	40%	65%
V	X ≤ 100	20%	40%	65%

Fuente: Elaboración propia

#### 6.3.4.14.3 PROPUESTA DE HERRAMIENTA PARA CÁLCULO DE REDUCCIÓN DE EVAPOTRANSPIRACIÓN Y AGUA UTILIZADA PARA RIEGO

Para el desarrollo de la Etapa 3 (estudio del agua), se hizo entrega de una herramienta para calcular la reducción de evapotranspiración y agua utilizada para riego en los proyectos aeroportuarios. Para el desarrollo de esta herramienta se consideraron los siguientes requerimientos funcionales y no funcionales.

##### Requerimientos funcionales:

- Ingreso de datos: La herramienta debe permitir a los usuarios ingresar datos como la zona climática, las precipitaciones de la zona, las superficies de paisajismo, el tipo de especie de paisajismo y distintos factores asociados al paisajismo.
- Cálculos automáticos: La herramienta debe realizar cálculos automáticos utilizando fórmulas predefinidas para estimar el consumo de agua potable basándose en la información proporcionada.
- Clasificación por zonas de precipitación: Debe tener la capacidad de asignar automáticamente la zona climática seleccionada a una zona de precipitación, esta zona de precipitación puede ser actualizada según la cantidad de precipitaciones ingresadas.
- Resultados detallados: Mostrar resultados detallados que incluyan el consumo estimado de agua potable y comparaciones con valores de referencia.

##### Requerimientos no funcionales:

- Usabilidad: La interfaz de usuario debe ser intuitiva y fácil de usar, incluso para usuarios no técnicos.
- Eficiencia: La herramienta debe ejecutar cálculos rápidos y eficientes, proporcionando resultados en tiempo real.

- Seguridad: Implementar medidas de seguridad para proteger el motor de cálculo de la herramienta.
- Compatibilidad: Asegurar que la herramienta sea compatible con diferentes plataformas y dispositivos, como computadoras de escritorio, tabletas y dispositivos móviles.
- Mantenibilidad: Facilitar la actualización y mantenimiento de la herramienta, incluyendo la capacidad de incorporar nuevas fórmulas o ajustes en los algoritmos de cálculo.
- Accesibilidad: Garantizar que la herramienta sea accesible para personas con discapacidades, cumpliendo con estándares de accesibilidad web.

Teniendo estos en consideración los anteriores requerimientos se decide realizar la herramienta en un libro de Microsoft Excel, sin el uso de macros para facilitar su mantención y actualización y protegiendo la mayoría de las celdas del libro para evitar modificar celdas que son esenciales para que la herramienta funcione.

La herramienta utiliza el color blanco para las celdas de información, en donde las únicas celdas que se pueden editar son aquellas que poseen el color Hex #FFFE1.

Se han validado las casillas de zona climática, la consulta de si el proyecto posee algún sistema de reutilización de agua. A su vez el ingreso de todos los valores numéricos se ha validado para que sean mayores o iguales a 0 y para que respeten la naturaleza de cada variable, enteras en caso de las jornadas y número de personas y decimales; y decimales en el caso de valores de consumo de artefactos, precipitaciones y litros reciclados/reutilizados. Por último, se ha añadido un cálculo automático para conocer si el paisajismo posee la calidad de xerófilo.

Figura 6-21: Herramienta de cálculo de agua asociada a paisajismo

**1. Identificación del proyecto**

Nombre del proyecto

Código

*Seleccionar una zona para definir la evapotranspiración local.*

Zona climática

Evapotranspiración local (mm)

Precipitaciones (mm)

*Si desea ingresar otra evapotranspiración o precipitación local (mm), la siguiente celda reemplazara el valor por defecto siempre y cuando sea más desfavorable.*

Precipitación personalizada (mm)

Evapotranspiración personalizada (mm)

Área de paisajismo (m<sup>2</sup>)

Área del terminal (m<sup>2</sup>)

Paisajismo / terreno (%)

¿Área de paisajismo suficiente para obtener puntaje?

---

**2. Resultados**

**2.1. Requerimientos de reducción de evapotranspiración**

Evapotranspiración de referencia (mm)

Evapotranspiración del proyecto (mm)

Reducción estimada del consumo (%)

Cumplimiento de Requerimiento Obligatorio

Nivel requerimiento voluntario

**2.2. Requerimientos de reducción del consumo de agua para riego**

Consumo agua riego referencia (l)

Consumo agua riego proyecto (l)

Agua reutilizada o cosechada para riego (l)

Reducción estimada del consumo (%)

Cumplimiento de Requerimiento Obligatorio

Nivel requerimiento voluntario

Fuente: Elaboración propia en base a CES v1.1

6.3.4.15 PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: PAISAJISMO - SISTEMAS DE RIEGO EFICIENTE - REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES

Al igual que para el uso de agua sanitaria sin consumo humano se propone un requerimiento voluntario para el apoyo de consumo de agua para riego mediante la reutilización de aguas grises, con la salvedad de que el agua al ser utilizada para riego es de menor calidad que la de sanitario, por lo que se sugiere que este requerimiento entregue menos puntaje que el requerimiento citado.

En la Ecuación 6-13 se puede observar el cálculo para este requerimiento, la propuesta de niveles se puede observar en la Tabla 6-115 y se encuentra relacionada a las zonas de precipitación, indicando que aquellas zonas con menores precipitaciones tendrán una mayor exigencia debido a la escasez del recurso hídrico.

Ecuación 6-13: Cálculo de aporte de consumo de agua para riego por reciclaje de aguas

$$Aporte \% = \frac{Aguas\ grises\ recicladas\ utilizadas\ para\ riego}{DR} \cdot 100\%$$

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-115: Propuesta de niveles según aporte de aguas grises recicladas sobre consumo de riego

Zona precipitación	Precipitaciones anuales (X)	Bueno	Muy Bueno
I	1.500 < X	20%	30%
II	1.000 < X ≤ 1.500	20%	30%
III	500 < X ≤ 1.000	20%	35%
IV	100 < X ≤ 500	25%	35%
V	X ≤ 100	30%	40%

Fuente: Elaboración propia

6.3.4.16 PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: PAISAJISMO – SISTEMA DE RIEGO EFICIENTE – REUTILIZACIÓN DE PRECIPITACIONES

Al igual que para el uso de agua sanitaria sin consumo humano se propone un requerimiento voluntario para el apoyo de consumo de agua para riego mediante la recolección de aguas de precipitaciones.

Este requerimiento es análogo al descrito en el punto 6.3.4.4 con la salvedad de que el agua al ser utilizada para riego es de menor calidad que la de uso no sanitario, por lo que se sugiere que este requerimiento entregue menos puntaje que el requerimiento citado.

En la Ecuación 6-14 se puede observar el cálculo para este requerimiento, la propuesta de niveles se puede observar en la Tabla 6-116 y se encuentra relacionada a las zonas de precipitación, indicando que aquellas zonas con mayores precipitaciones tendrán una mayor exigencia debido a la mayor disposición del recurso hídrico.

Ecuación 6-14: Cálculo de aporte de consumo de agua para riego por recolección de aguas

$$Aporte \% = \frac{Aguas\ de\ precipitaciones\ recoleccionadas\ y\ utilizadas\ para\ riego}{DR} \cdot 100\%$$

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-116: Propuesta de niveles según aporte de aguas recolectadas sobre consumo de riego

Zona precipitación	Precipitaciones anuales (X)	Bueno	Muy Bueno
I	$1.500 < X$	30%	40%
II	$1.000 < X \leq 1.500$	25%	35%
III	$500 < X \leq 1.000$	20%	35%
IV	$100 < X \leq 500$	20%	30%
V	$X \leq 100$	15%	25%

Fuente: Elaboración propia

#### 6.3.4.17 PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: PAISAJISMO XERÓFILO

Según el departamento de energía de Estados Unidos, un paisajismo xerófilo es un enfoque sistemático para promover la conservación del agua en áreas de paisajismo. Aunque los paisajismos xerófilos se utilizan principalmente en regiones áridas, sus principios pueden ser utilizados en cualquier región para ayudar a conservar el agua. Debido a esta definición se propone un requerimiento voluntario que visualice cuándo los proyectos poseen un paisajismo que sea catalogada como xerófilo.

En el contexto de la realidad chilena, debido a la diversidad de zonificaciones y tipos de clima, en primera instancia se deberá realizar una caracterización específica del paisajismo. Esto se debe a que el comportamiento y la adaptabilidad de las especies pueden variar significativamente entre regiones. Por lo tanto, la implementación de paisajismos xerófilos debe considerar las características climáticas y ecológicas específicas de la zona de emplazamiento, asegurando la compatibilidad de las especies seleccionadas con el entorno local.

En la Tabla 6-117 se pueden observar los criterios mínimos para alcanzar cada nivel propuesto, también se sugiere que este criterio posea alguna relación con otros criterios de reducción de evapotranspiración o consumo de agua para riego en donde si se alcanza el nivel “Muy Bueno” los otros criterios se cumplan de manera automática.

Tabla 6-117: Niveles para paisajismo xerófilo

Nivel	Criterios de paisajismo xerófilo mínimos
Bueno	Proyecto de paisajismo debe ser compuesto en superficie por al menos un 50% de especies endémicas o adaptadas a clima seco <b>y</b> lograr una reducción de agua para riego del 60%.
Muy Bueno	Proyecto de paisajismo debe ser compuesto en superficie por al menos un 75% de especies endémicas o adaptadas a clima seco <b>y</b> lograr una reducción de agua para riego del 70%.

Fuente: Elaboración propia en base a Colorado WaterWise

#### 6.3.4.18 RESUMEN PROPUESTAS DE REQUERIMIENTOS

En la Tabla 6-118 se presenta un resumen de las propuestas de requerimientos relacionados con la eficiencia en el uso del agua y el paisajismo en proyectos aeroportuarios. Desde la reducción del consumo de agua potable hasta la implementación de sistemas avanzados de tratamiento de aguas grises, cada requerimiento se clasifica según su tipo y los niveles de cumplimiento esperados. Estos incluyen desde obligatorio hasta voluntario, con rangos específicos de reducción para cada tipo de sistema. Además, se considera la variabilidad según la zona de precipitaciones, lo que refleja una adaptación a las condiciones climáticas locales.

Tabla 6-118: Resumen de propuestas de requerimientos

Requerimiento	Descripción	Tipo	Niveles
Sistemas de agua potable - Reducir el consumo de agua potable	Disminuir el consumo de agua potable mediante la incorporación de artefactos eficientes y sistemas de control en inodoros, lavamanos, grifería, etc. Requerimiento existe actualmente en CES v1.1 pero con niveles menos exigentes.	Obligatorio y voluntario	Obligatorio y aceptable de un 20% a un 35% de reducción. Bueno, de un 30% a 40%. Muy bueno, de 40% a 45%. Según zona de precipitaciones, a menor precipitación mayor exigencia.

Requerimiento	Descripción	Tipo	Niveles
Sistemas de agua sanitarios - Reutilización de aguas grises para uso sanitario sin consumo humano	Reutilizar aguas grises para uso sanitario sin consumo humano mediante sistemas de tratamiento y recolección, reduciendo así el consumo de agua potable. Requerimiento nuevo.	Voluntario	Bueno, de 20 a 30% Muy Bueno, de: 20-40%. Según zona de precipitaciones, a menor precipitación mayor exigencia.
Sistemas de agua sanitarios - Tecnología de reutilización de aguas grises	Implementar sistemas avanzados para la reutilización y tratamiento de aguas grises destinadas a usos sanitarios sin consumo humano, garantizando calidad y seguridad. Requerimiento nuevo.	Voluntario	Aceptable: Filtros de arena o multimedia. Suficiente: Filtros de membrana (Ultrafiltración). Bueno: Biorreactores de membrana (MBR). Muy Bueno: Tratamientos combinados con desinfección.
Sistemas de Agua sanitarios - Reutilización de aguas de precipitaciones para uso sanitario sin consumo humano	Recolectar y utilizar aguas de precipitaciones para uso sanitario sin consumo humano, reduciendo así la dependencia de agua potable en tales sistemas. Requerimiento nuevo.	Voluntario	Bueno, de 15% a 30% Muy Bueno, de 25% a 40% Según zona de precipitaciones, a mayor precipitación mayor exigencia.
Sistemas de agua sanitarios: Tecnología de recolección de aguas pluviales	Capturar y recolectar aguas pluviales adaptadas a la diversidad climática de Chile, utilizando tecnologías específicas según la zona climática. Requerimiento nuevo.	Voluntario	Muy Bueno: Atrapanieblas, sistemas de condensación atmosférica, sistemas de almacenamiento de aguas lluvias, sistemas de deshielo de nieves, según zona climática.
Sistemas de Agua sanitarios: Plantas de tratamiento in situ	Instalación de plantas de tratamiento de aguas para reutilizar aguas grises y negras en operaciones sanitarias en aeropuertos, con niveles de tratamiento específicos. Requerimiento nuevo.	Voluntario	Bueno: 25% tratamiento de aguas residuales. Muy Bueno: 40% tratamiento de aguas residuales.
Sistemas de agua eficiente: Uso de agua recolectada y/o reciclada en operaciones aeroportuarias	Fomentar el uso de agua reciclada y/o recolectada en operaciones aeroportuarias, con niveles de implementación según el porcentaje de agua reutilizada y/o reciclada. Requerimiento nuevo.	Voluntario	Aceptable: 20%. Bueno: 30%. Muy Bueno: 40%.
Sistemas de agua eficiente: Sistema de Control y Medición	Establecer sistemas de control y medición de agua en aeropuertos para una gestión más eficaz del recurso hídrico, con niveles de implementación según la monitorización y medición. Requerimiento nuevo.	Voluntario	Bueno: Implementación de sistemas de monitoreo para control de fugas <u>o</u> medidores individualizados. Muy Bueno: Monitoreo de fugas <u>y</u> medidores individualizados
Sistemas de agua eficiente: Concienciación del uso del agua	Promover una cultura de concienciación sobre el uso eficiente del agua en aeropuertos, con programas permanentes en áreas específicas según el nivel de implementación. Requerimiento nuevo.	Voluntario	Bueno: Programas de concienciación en áreas de servicios higiénicos y acceso a agua potable Muy Bueno: Programas de concienciación en todas las áreas comunes del aeropuerto

Requerimiento	Descripción	Tipo	Niveles
Sistemas de agua eficiente: Consumo de agua de las torres de refrigeración	Optimización del uso del agua en sistemas de refrigeración, controlando niveles de microorganismos, corrosión y formación de escamas en torres de refrigeración. Requerimiento nuevo.	Voluntario	Bueno: 10 ciclos $\leq$ 20% de agua reciclada/cosechada Muy Bueno: 10 ciclos $\geq$ 20% de agua reciclada/cosechada
Sistemas de agua eficiente: Uso de agua desalinizada	Incorporación de plantas desalinizadoras y uso de agua desalinizada en operaciones <u>aeroportuarias en zonas litorales</u> , con niveles de implementación según el porcentaje de agua desalinizada utilizada. Requerimiento nuevo.	Voluntario	Bueno: 20% Muy Bueno: 40%
Sistemas de agua eficiente: dureza del agua	Instalación de sistemas de tratamiento para remoción de la dureza del agua. Requerimiento existe actualmente en CES v1.1 pero su cumplimiento es voluntario.	Obligatorio	Asegurar niveles máximos de 300 mg/L de CaCO <sub>3</sub>
Paisajismo - Reducir evapotranspiración	Reducción de la necesidad de agua de las especies vegetales del proyecto de paisajismo, limitada al 5% de la superficie útil del edificio terminal de pasajeros. Niveles de cumplimiento según porcentaje de reducción de evapotranspiración, variando según la zona de precipitación. Requerimiento existe actualmente en CES v1.1 pero con niveles menos exigentes.	Obligatorio y voluntario	Obligatorio: 20% Bueno, de 50% a 70%. Muy Bueno, de 60% a 80% Según zona de precipitaciones, a menor precipitación mayor exigencia.
Paisajismo – Sistemas de riego eficientes	Reducción del uso de agua para riego, limitado al 5% de la superficie útil del edificio terminal de pasajeros, con niveles de cumplimiento según porcentaje de reducción de agua utilizada para riego, variando según la zona de precipitación. Requerimiento existe actualmente en CES v1.1 pero con niveles menos exigentes.	Obligatorio y voluntario	Obligatorio: 20%. Bueno, de 40% a 45%. Muy Bueno, de 55% a 65%. Según zona de precipitaciones, a menor precipitación mayor exigencia.
Paisajismo - Sistemas de riego eficiente - Reutilización de aguas grises	Apoyo al consumo de agua para riego mediante la reutilización de aguas grises, con niveles de cumplimiento según porcentaje de agua reciclada utilizado para riego, variando según la zona de precipitación. Requerimiento nuevo.	Voluntario	Bueno, de 20% a 30%. Muy Bueno, de 30% a 40%. Según zona de precipitaciones, a menor precipitación mayor exigencia.

Requerimiento	Descripción	Tipo	Niveles
Paisajismo - Sistemas de riego eficiente - Reutilización de aguas de precipitaciones	Apoyo al consumo de agua para riego mediante la recolección de aguas de precipitaciones, con niveles de cumplimiento según porcentaje de agua recolectada utilizado para riego, variando según la zona de precipitación. Requerimiento nuevo.	Voluntario	Bueno, de 15% a 30%. Muy Bueno, de 25% a 40%. Según zona de precipitaciones, a mayor precipitación mayor exigencia.
Paisajismo xerófilo	Requerimiento que visualiza si el proyecto cuenta con un paisajismo xerófilo, donde se utiliza un porcentaje alto de especies endémicas o adaptadas a clima seco, con una reducción significativa en el uso de agua para riego. Requerimiento nuevo.	Voluntario	Bueno: 50% de especies endémicas o adaptadas a clima seco y reducción del 60% en agua para riego. Muy Bueno: 75% de especies endémicas o adaptadas a clima seco y reducción del 70% en agua para riego.

Fuente: Elaboración propia

#### 6.3.4.19 RELACIÓN REQUERIMIENTOS PROPUESTOS CON ODS Y POLÍTICAS NACIONALES

La Tabla 6-119 se pueden observar la relación que poseen los distintos requerimientos propuestos con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la agenda 2030. En esta misma se indica como las diversas estrategias propuestas permiten reducir el consumo de agua potable y promover prácticas sostenibles.

Los requisitos propuestos contribuyen a la gestión sostenible de los recursos hídricos por parte de los terminales de pasajeros aeroportuarios y su vez al cumplimiento de múltiples metas de los ODS, como la reducción del consumo de agua potable (meta 6.3), el fomento de prácticas responsables (meta 6.4) y la adaptabilidad ante condiciones climáticas cambiantes (metas 13.1 y 15.3).

También existen requerimientos que destacan la importancia de la concienciación sobre el uso eficiente del agua en las instalaciones del aeropuerto, así como la implementación de sistemas de control y medición para optimizar el consumo de agua. Estos requerimientos fortalecen la educación hídrica y fomentan la participación comunitaria, en línea con los ODS relacionados con educación y concienciación sobre el uso de agua su saneamiento (metas 6.b y 13.3).

Con relación al paisajismo, los requerimientos enfatizan el uso de especies endémicas y/o de bajo consumo hídrico junto a la implementación de sistemas de riego eficiente. Estos criterios que tienen como objetivo la reducción de la evapotranspiración y el agua utilizada para riego también promueven la protección de los ecosistemas locales, y de esta manera contribuyen al cumplimiento de las metas de los ODS relacionadas con el uso sostenible de la tierra (meta 6.4) y la conservación de la biodiversidad (metas 15.3, 15.4 y 15.5).

Tabla 6-119: Requerimientos propuestos y ODS asociados

Requerimiento	Descripción respecto a ODS asociados
Sistemas de agua potable - Reducir el consumo de agua potable	El contar con sistemas de agua eficientes, con el fin de reducir el consumo de agua potable, permite cumplir con la meta 6.3; meta 6.4; meta 6.5, meta 13.3 y meta 15.3 de los ODS de la agenda 2030, a través de la reutilización y reciclado de las aguas residuales, disminuyendo proporcionalmente el consumo de agua potable y de igual manera aportando a incorporar medidas contra el cambio climático y sequías.
Sistemas de agua sanitarios - Reutilización de aguas grises para uso sanitario sin consumo humano	La reutilización de aguas grises para uso sanitario sin consumo humano, permiten cumplir la meta 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 13.1, 13.2, 15.3, 15.4 y 15.5 de los ODS de la agenda 2030. Esto se debe a que la reutilización de aguas grises, en condiciones de seguridad a nivel mundial, por medio de la reutilización de aguas grises desde flujos utilizados en la operación de terminales de pasajeros.

Requerimiento	Descripción respecto a ODS asociados
Sistemas de agua sanitarios - Tecnología de reutilización de aguas grises	La tecnología de reutilización de aguas grises permite cumplir con la meta 6.3, 15.3 y 15.4, ya que es una estrategia eficaz para aumentar la eficiencia en el uso del agua, reduciendo el consumo total y optimizando este recurso, y con la meta 6.4, pues la implementación de tecnologías avanzadas de reutilización contribuye a la gestión sostenible de los recursos hídricos, promoviendo prácticas responsables y reduciendo el impacto ambiental de terminales de pasajeros.
Sistemas de agua sanitarios - Reutilización de aguas de precipitaciones para uso sanitario sin consumo humano	Los sistemas para la reutilización de aguas de precipitaciones para uso sanitario que no comprometa consumo humano permiten cumplir la meta 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 13.1, 13.2, 15.3 y 15.4 ya que es una estrategia eficaz para aumentar la eficiencia en el uso del agua, reduciendo el consumo total y optimizando este recurso además contribuyen a la gestión sostenible de los recursos hídricos, promoviendo prácticas responsables y reduciendo el impacto ambiental de terminales de pasajeros.
Sistemas de agua sanitarios: Tecnología de recolección de aguas pluviales	Las tecnologías de recolección de aguas pluviales permiten cumplir con la meta 6.3, 6.4, 6.6, 13.1, 15.3, 15.4 y 15.5 ya que es una estrategia eficaz para aumentar la eficiencia en el uso del agua, reduciendo el consumo total y optimizando este recurso además contribuyen a la gestión sostenible de los recursos hídricos junto a la protección de medioambientes locales.
Sistemas de Agua sanitarios: Plantas de tratamiento in situ	Las plantas de tratamiento in situ permiten cumplir con la meta 6.1, 6.3, 6.5, 6.6, 13.1, 13.2, 15.3, 15.4 y 15.5 debido a que el tratamiento y reutilización de aguas residuales para riego o uso sanitario sin incluir consumo humano, reduce la demanda de agua potable, además ofrecen la protección del medio ambiente y comunidad.
Sistemas de agua eficiente: Uso de agua recolectada y/o reciclada en operaciones aeroportuarias	La utilización de agua reciclada o cosechada para realizar operaciones aeroportuarias que no necesitan de una alta calidad de agua favorecen el cumplimiento de las metas 6.2, 6.3, 6.4, 6.5 al reducir el consumo de agua. Sin embargo, se debe tener especial cuidado con la composición final que tendrá el agua luego de ser utilizada para una segunda operación debido a que su carga químico-biológica podría ser perjudicial para el cumplimiento de las metas 13.1, 13.2, 15.3, 15.4 y 15.5 de los ODS de la agenda 2030.
Sistemas de agua eficiente: Sistema de Control y Medición	Los sistemas de control y medición en los sistemas de agua instalados en terminales de aeropuerto, se apoyaría al cumplimiento de las metas 6.2, 6.3, 6.4, 6.5 al reducir el consumo de agua, puesto que estos sistemas permiten optimizar el consumo de agua, identificando y corrigiendo fugas, reduciendo el uso excesivo y promoviendo prácticas responsables entre los usuarios.
Sistemas de agua eficiente: Concienciación del uso del agua	La concienciación del uso de agua en zonas comunes y servicios higiénicos de los terminales de aeropuerto permiten apoyar al cumplimiento de la meta 6.b y 13.3 de los ODS de la agenda 2030, ya que se enfoca en el apoyo y fortalecimiento de la educación hídrica y fomentan la participación de las comunidades locales y la mejora de la gestión de agua y saneamiento. Además, permitiría cumplir con la campaña “Estado Consciente” la cual busca tener consciencia de la escasez hídrica en el país y el consumo de agua.
Sistemas de agua eficiente: Consumo de agua de las torres de refrigeración	Los sistemas de reutilización de agua en torres de refrigeración reducen el consumo de agua para los sistemas de climatización y evitan un posible flujo residual que podría afectar al medioambiente local y, lo que se relacionaría directamente con el apoyo en el cumplimiento de las metas 6.1, 6.3, 6.5, 6.6, 13.1, 13.2, 15.3, 15.4 y 15.5 de los ODS de la agenda 2030.
Sistemas de agua eficiente: Uso de agua desalinizada	El uso de sistemas desalinizadores de agua en zonas litorales apoya al cumplimiento de las metas 6.1, 6.3, 6.5, 6.6, 13.1, 13.2, 15.3 de los ODS de la agenda 2030 al mejorar el acceso al recurso hídrico. Sin embargo, la extracción de agua debe ser sumamente controlada para no afectar el cumplimiento de las metas 13.1 y 15.5.
Sistemas de agua eficiente: dureza del agua	El uso de sistemas ablandadores de agua, así como asegurar un agua sin exceso de minerales, apoya al cumplimiento de las metas 6.3, 6.5, 6.6, 13.1, 13.2, 15.3, 15.4 y 15.5 de los ODS de la agenda 2030 al mejorar la calidad de agua usada para todos los usos.

Requerimiento	Descripción respecto a ODS asociados
Paisajismo - Reducir evapotranspiración	El uso de especies endémicas y/o de bajo consumo hídrico que reduzca la evapotranspiración dentro del paisajismo de los aeropuertos apoya al cumplimiento de la meta 6,4, pues se hace un uso eficiente de los recursos hídricos, y de la meta 6.a, pues el uso de este tipo de tecnologías permite ampliar la cooperación internacional en la búsqueda de nuevas ideas para el beneficio hídrico. Además, apoya el cumplimiento de las metas 13.1 y 13.2, fomentando a la adaptabilidad del suelo ante las condiciones climáticas, y al cumplimiento de las metas 15.3, 15.4 y 15.5, fomentando la protección de los diversos ecosistemas que existan en los aeropuertos y a su alrededor.
Paisajismo – Sistemas de riego eficientes	La implementación de sistemas de riego eficiente en los aeropuertos apoya al cumplimiento de la meta 6.4, pues se estaría utilizando eficientemente los recursos hídricos. Además, apoya al cumplimiento de las metas 13.1 y 13.2, pues potencia la adaptabilidad a los cambios climáticos, y al cumplimiento de las metas 15.3, 15.4 y 15.5, a través de la protección y conservación de la flora.
Paisajismo - Sistemas de riego eficiente - Reutilización de aguas grises	La implementación de sistemas de riego mediante la reutilización de aguas grises apoyaría al cumplimiento de la meta 6.4, pues existiría un uso eficiente de los recursos hídrico. Sin embargo, se debe tener especial cuidado con la composición final que tendrá el agua antes de ser utilizada para riego debido a que su carga químico-biológica podría ser perjudicial para el cumplimiento de las metas 13.1, 13.2, 15.3, 15.4 y 15.5 de los ODS de la agenda 2030.
Paisajismo - Sistemas de riego eficiente - Reutilización de aguas de precipitaciones	La implementación de sistemas de reutilización de aguas de precipitaciones en el paisajismo de aeropuertos apoya al cumplimiento de la meta 6.4, ya que se usarían los recursos hídricos de manera eficiente. Además, apoya al cumplimiento de las metas 13.1, 15.3, 15.4 y 15.5, ya que fortalece a la resiliencia del suelo y la adaptabilidad ante riesgos climáticos, como las fuertes lluvias, y también protege los ecosistemas y previene la desertificación.
Paisajismo xerófilo	La implementación de paisajismos xerófilos en aeropuertos apoya al cumplimiento de la meta 6.4 pues existiría un uso eficiente de los recursos hídrico. Además, apoya al cumplimiento de la meta 13.1, 13.2, 15.3, 15.4 y 15.5 fomentado el uso y la protección de flora endémica o adaptada a cada zona climática.

Fuente: *Elaboración propia*

## 6.4 ETAPA 4: ESTUDIO DE ACÚSTICA

La etapa está orientada a desarrollar y aplicar estrategias de control acústico en proyectos aeroportuarios, con el objetivo de integrarlas en la certificación CES para aeropuertos. Para su desarrollo se examinan aspectos clave relacionados con la aislación acústica, reducción de ruido y vibraciones en infraestructuras aeroportuarias, utilizando referencias nacionales e internacionales. Esto permite formular recomendaciones y propuestas que mejoren el confort acústico en las terminales de pasajeros, asegurando un entorno más sostenible y cumpliendo con los estándares más rigurosos.

### 6.4.1 Metodología para estudio de acústica

El objetivo principal del estudio es proporcionar un marco técnico que permita a los aeropuertos nacionales cumplir con los estándares de sostenibilidad acústica requeridos para la certificación CES. El informe se estructura en varias fases, que incluyen una revisión de normativas, la consulta de experiencias internacionales exitosas y la evaluación de las condiciones acústicas específicas en aeropuertos chilenos.

Con el análisis de la normativa existente tanto en Chile como en el extranjero, y con una revisión de las certificaciones más reconocidas en sostenibilidad, que incorporan criterios acústicos en proyectos de infraestructura, se identificó que no existe una regulación específica para los estándares acústicos aplicables a aeropuertos o aeródromos en Chile. Sin embargo, el estudio tomó como referencia las normativas BS5839 del Reino Unido y la NFPA72 de Estados Unidos, que establecen niveles mínimos de inteligibilidad del habla para sistemas de megafonía, los cuales son homologables directamente a proyectos de terminales de pasajeros en Chile.

A nivel internacional, se revisaron sistemas de certificación ambiental como LEED v4 BD+C, BREEAM, ENVISION y WELL v2, cada uno con un enfoque particular sobre la acústica en infraestructuras. LEED v4 BD+C, por ejemplo, incluye prerequisites relacionados con el confort acústico, como la reducción de ruido de sistemas mecánicos (calefacción, ventilación y aire acondicionado) y la transmisión del sonido entre espacios adyacentes. BREEAM aborda la eficiencia acústica desde el diseño y la planificación, incluyendo criterios de atenuación de ruidos y su impacto en la comunidad. ENVISION, por su parte, destaca la gestión del ruido durante la operación y construcción de proyectos de infraestructura, enfocándose en la mitigación y prevención del ruido a largo plazo.

En cuanto a WELL v2, su enfoque en el bienestar de los ocupantes incluye un análisis más detallado de la acústica, evaluando el impacto del ruido en la salud y la comodidad psicológica de los usuarios del edificio. Se analizan aspectos como la reverberación, la interferencia entre salas y la transmisión de sonido, con el fin de garantizar un entorno acústico saludable y comfortable.

El estudio incluye una exhaustiva revisión de casos internacionales, destacando aeropuertos como Changi en Singapur, Schiphol en Ámsterdam, Vancouver en Canadá, Heathrow en Londres y Dubai. Cada uno de estos aeropuertos ha implementado soluciones acústicas innovadoras, como el uso de barreras acústicas, materiales fonoabsorbentes en sus terminales y sistemas avanzados de megafonía y enmascaramiento de ruido. Estos casos proporcionan un marco comparativo para la implementación de medidas similares en Chile, adaptando las tecnologías y estrategias a las particularidades locales.

Se realizaron mediciones de campo en aeropuerto chilenos, las cuales permitieron obtener datos reales sobre los niveles de ruido durante las operaciones diarias de los aeropuertos y en distintas áreas de las terminales. Las mediciones incluyeron el uso de equipos especializados para el monitoreo acústico, como sonómetros, para garantizar la precisión de los datos obtenidos. Los resultados fueron utilizados en la elaboración de las propuestas para diferentes requerimientos de la certificación CES para aeropuertos.

Finalmente, con base en la normativa revisada, certificaciones y el estudio de casos prácticos internacionales, los consultores expertos desarrollan y proponen una serie de requerimientos acústicos específicos para ser implementados en aeropuertos, en línea con los criterios de la certificación CES. Estos requerimientos se dividen en componentes obligatorios y voluntarios, y cubren diferentes aspectos del confort acústico y la reducción de ruido.

Las metodologías utilizadas en el estudio responden a las características de los aeropuertos en Chile, considerando tanto el contexto normativo nacional como prácticas internacionales. La revisión de normativas y certificaciones reconocidas, como LEED v4 BD+C, BREEAM, ENVISION y WELL v2, permitió abordar de manera integral los desafíos acústicos en infraestructuras aeroportuarias, integrando criterios de confort, sostenibilidad y eficiencia operativa. La consulta de experiencias exitosas en aeropuertos internacionales como Changi, Schiphol y Heathrow aportaron un marco de referencia robusto, al ofrecer soluciones exitosas que pueden adaptarse a las condiciones locales. Asimismo, las mediciones de campo en aeropuertos chilenos proporcionan datos reales y específicos sobre los niveles de ruido, asegurando que las propuestas se ajusten a las particularidades de cada terminal. Finalmente, la combinación de normativas técnicas con análisis prácticos de casos y certificaciones internacionales permite que los requerimientos propuestos sean viables, adaptables y alineados con los estándares de sostenibilidad acústica necesarios para la certificación CES en su versión aeropuertos.

#### 6.4.2 Casos internacionales de aislación acústica en aeropuertos

A continuación, se proporciona información de casos internacionales sobre diversas medidas de aislación acústica implementadas en aeropuertos internacionales. Se destacan aeropuertos como Changi en Singapur, Schiphol en Ámsterdam, Vancouver en Canadá, Heathrow en Londres y Dubai. Cada uno de estos aeropuertos ha adoptado diversas estrategias para reducir el ruido generado tanto en las operaciones aéreas como en las terminales, integrando medidas arquitectónicas, barreras de ruido, tecnologías de motores de aeronaves más silenciosos y sistemas de megafonía avanzada. Estas estrategias están orientadas a mejorar el confort de los pasajeros y a minimizar el impacto acústico en las comunidades circundantes. La implementación de estas medidas también se alinea con los objetivos de sostenibilidad de cada aeropuerto, que en muchos casos ha llevado a la obtención de certificaciones como LEED.

En la Tabla 6-120 se presenta un resumen de los aspectos clave de aislamiento acústico y reducción de ruido en los aeropuertos mencionados. Esta tabla ilustra cómo cada aeropuerto ha adoptado enfoques únicos, pero con objetivos comunes para mejorar la eficiencia acústica y el confort tanto de los pasajeros como de las comunidades cercanas.

Tabla 6-120: Resumen de casos internacionales consultados - Acústica

Aspecto	Aeropuerto Changi (Singapur)	Aeropuerto Schiphol (Ámsterdam)	Aeropuerto Vancouver	Aeropuerto Heathrow (Londres)	Aeropuerto Dubai
Diseño arquitectónico	Paredes curvas, techos altos y bermas verdes para minimizar ruido	Terminales extensas para minimizar transmisión de ruido	Paredes curvas y techos altos, bermas a nivel de suelo y zonas verdes como barreras naturales	Paredes curvas y techos altos para reducir eco y reverberación	<i>Sin información</i>
Materiales absorbentes de sonido	Alfombras gruesas, paneles y deflectores acústicos, mobiliario fonoabsorbente	Alfombras gruesas, paneles y deflectores en techos, tapicería de muebles absorbente de sonido	Alfombras gruesas, uso de baffles y paneles acústicos en paredes y techos.	Alfombras, paneles acústicos y deflectores en paredes y techos. Prueba de deflectores y paneles avanzados para absorción y redirección del sonido.	Alfombras, paneles acústicos y revestimientos de techo en zonas de espera
Barreras de ruido	Bermas de tierra en perímetro del aeropuerto y zonas verdes alrededor y dentro del aeropuerto	Muro acústico de 5 km, bermas de tierra y zonas verdes alrededor del aeropuerto	Bermas de tierra y árboles plantados alrededor del aeropuerto	Un total de 1.220 metros de barreras de hormigón para mitigar ruido desde pistas	Inversión en barrera acústica de 10 km
Tecnología de motores de aeronaves	Uso prioritario de aviones más silenciosos, restricciones nocturnas para aviones antiguos	Uso de aviones más silenciosos, restricciones de ruido estrictas, beneficios en tarifas y programación por implementación de	Incentivos para uso de aviones más silenciosos mediante reducción de tarifas e incentivos operacionales, restricciones	<i>Sin información</i>	Fomento del uso de aviones más silenciosos

Aspecto	Aeropuerto Changi (Singapur)	Aeropuerto Schiphol (Ámsterdam)	Aeropuerto Vancouver	Aeropuerto Heathrow (Londres)	Aeropuerto Dubai
		tecnologías silenciosas.	nocturnas para aviones antiguos		
Sistemas de megafonía	Parlantes direccionales con programación para evitar superposición de anuncios e interrupciones por ruido	Megafonía enfocada en áreas específicas, programación automatizada de anuncios para evitar superposición e interrupciones por ruido.	Megafonía localizada y con programación de anuncios	Anuncios en varios idiomas y sistemas de megafonía direccionales, con apoyo de pantallas digitales y quioscos interactivos para reducción de dependencia de megafonía.	Sistemas de megafonía direccionados para evitar ruido innecesario
Sistemas de enmascaramiento de ruido	Música ambiental suave en zonas de mucho tráfico, con control de volumen y frecuencia	Música ambiental suave en áreas específicas	<i>Sin información</i>	Música ambiental suave en áreas específicas y sistema de enmascaramiento de sonido inteligente que se adapta en tiempo real al entorno.	<i>Sin información</i>
Diseños específicos	Zonas de silencio con paredes insonorizadas, alfombras y asientos cómodos	Programa “Minder hinder” para reducción de molestias acústicas e incentivar el uso de aviones más silenciosos y limpios.	Zonas silenciosas especializadas	Exploración de sistemas de cancelación de ruido (ANC). Zonas silenciosas dedicadas.	Instalación de nuevos sistemas de gestión del ruido para reducción del sonido de despegue y aterrizaje
Certificaciones de sostenibilidad	LEED Platino	LEED Oro	LEED Platino	<i>Sin información</i>	<i>Sin información</i>

Fuente: Elaboración propia

### 6.4.3 Requerimientos asociados a variable acústica en certificaciones

Los requerimientos relacionados con el control acústico dentro de los distintos sistemas de certificación de sostenibilidad, tales como LEED, BREEAM, CES, ENVISION y WELL, incluyen criterios específicos para mejorar el confort acústico, reducir la transmisión del sonido y controlar el ruido de fondo en espacios interiores y exteriores. Los sistemas de certificación abordan aspectos como la aislación acústica, el control de reverberación, la inteligibilidad de la palabra, y la minimización de las vibraciones generadas por los equipos. A continuación, en la Tabla 6-121 se muestra cómo las certificaciones tratan diferentes variables acústicas, con énfasis en mejorar el confort de los ocupantes y minimizar la propagación del ruido en distintos contextos y tipos de proyectos. Cada certificación tiene un enfoque particular según el uso del espacio y los objetivos de sostenibilidad acústica.

Tabla 6-121: Resumen de requisitos asociados a la acústica en certificaciones

Certificación	Requerimiento	Niveles	Descripción
LEED	Prerrequisito de Calidad Ambiental Interior (CAI): Mínima eficiencia acústica	Obligatorio	Establece un nivel máximo de ruido de fondo de 40 dBA en espacios educativos y áreas sensibles, como oficinas o auditorios. También incluye la obligación de usar tratamientos acústicos en techos, muros y ventanas para minimizar la intrusión de ruido exterior.
LEED	Crédito de Calidad Ambiental Interior (CAI): Eficiencia acústica	1-2 puntos	Evalúa el control de ruido de fondo por sistemas CVAC y transmisión de sonido entre espacios. Tiempo de reverberación según estándares y enmascaramiento de ruido.
BREEAM	SYB 5 Eficiencia acústica	1-2 puntos	Evalúa la mejora de la aislación acústica al ruido aéreo, ruido de impacto, ruido exterior y tiempo de reverberación en espacios cerrados para garantizar un entorno de trabajo y descanso más confortable.
BREEAM	CONT 5 Atenuación de ruidos	1 punto	Establece medidas para la reducción del ruido generado por instalaciones mecánicas fijas, como sistemas de calefacción y ventilación, para minimizar el impacto en edificios cercanos sensibles al ruido.
CES v1.1	ARQ.CAI 4R Confort acústico: Aislación acústica mínima en fachadas exteriores	Obligatorio	Busca limitar el traspaso de ruido mediante el aislamiento de fachadas exteriores expuestas a vías vehiculares. Se requiere igualar o mejorar el nivel mínimo de aislamiento acústico.
CES v1.1	ARQ.CAI 4.1 Confort acústico: Aislamiento acústico	Hasta 3 puntos (5 puntos en educación y salud)	Busca limitar el traspaso de ruido mediante aislamiento entre recintos y exteriores. Se otorga puntaje al superar el nivel mínimo de aislamiento acústico en 5 dB(A).
CES v1.1	ARQ.CAI 4.2 Confort acústico: Acondicionamiento acústico	Hasta 2 puntos (3 puntos en educación y salud)	Control del tiempo de reverberación e inteligibilidad de la palabra en espacios comunes como aulas, auditorios y oficinas abiertas.
CES v1.1	INST. CAI 12 Control de ruido y vibraciones de equipos	1 punto	Se enfoca en evitar la emisión de ruido aéreo y su transmisión mediante la vibración de las estructuras sobre las cuales van montados los que producen dicha vibración.
ENVISION	QL1.4 Minimizar el ruido y las vibraciones	Hasta 12 puntos	Promueve estrategias para mitigar el ruido y las vibraciones durante las fases de construcción y operación. Se consideran puntos adicionales por la implementación de soluciones innovadoras que minimicen la exposición al ruido en las comunidades circundantes y durante el ciclo de vida del proyecto.
WELL	S01: Mapeo del sonido	Obligatorio	Requiere un análisis detallado del ambiente acústico en todas las áreas del edificio para identificar zonas problemáticas. Este mapeo ayuda a diseñar soluciones específicas que controlen el ruido en función del uso de cada espacio, mejorando así la calidad acústica general del edificio.
WELL	S02: Niveles máximos de ruido	Hasta 3 puntos	Establece umbrales máximos para el ruido de fondo en interiores. Estos niveles se ajustan según la función del espacio, priorizando la comodidad y el bienestar de los ocupantes.
WELL	S03: Barreras acústicas	Hasta 3 puntos	Promueve el uso de barreras acústicas en paredes y puertas para mejorar la privacidad del habla y el aislamiento acústico entre espacios cerrados.
WELL	S04: Tiempo de reverberación	Hasta 2 puntos	Aborda el confort acústico controlando el tiempo de reverberación según el tipo de espacio.
WELL	S05: Superficies reductoras de sonido	1-2 puntos	Fomenta el uso de superficies acústicas que bloqueen o absorban el sonido, mejorando el ambiente en áreas ruidosas como espacios de trabajo abiertos.

Certificación	Requerimiento	Niveles	Descripción
WELL	S06: Ruido de fondo mínimo	1-2 puntos	Implementación de sistemas de enmascaramiento de sonido para mejorar la privacidad del habla y reducir la percepción del ruido entre espacios.
WELL	S07: Gestión del ruido de impacto	1-3 puntos	Demostrar el cumplimiento de técnicas de mitigación del ruido de impacto entre pisos a través de la construcción de suelos y techos resistentes al ruido.
WELL	S08: Dispositivos de audio mejorados	1-2 puntos	Implementar políticas organizacionales y proporcionar a los ocupantes dispositivos que respalden una mayor inteligibilidad del habla y refuercen la accesibilidad auditiva en espacios destinados a telecomunicaciones, instrucción y megafonía.
WELL	S09: Conservación de la salud auditiva	1 punto	Requiere que los proyectos u organizaciones implementen políticas y programas que apoyen la conservación de la salud auditiva

Fuente: Elaboración propia

#### 6.4.4 Propuestas de requerimientos de aislación acústica para aeropuertos

Para realizar las propuestas de los requerimientos además de las mediciones realizadas se usó como referencia el avión más ruidoso que puede operar en cada recinto de operaciones aéreas según la clave de estos, las aeronaves junto al ruido generado por una aeronave durante su fase de aproximación y aterrizaje en un aeropuerto se pueden observar en la Tabla 6-122 y Tabla 6-123.

Tabla 6-122: Aeronaves más ruidosas por clave aeropuerto

Envergadura / Longitud de Campo de Referencia	Menos de 800 m (Clave 1)	Desde 800 m hasta 1200 m (Clave 2)	Desde 1200 m hasta 1800 m (Clave 3)	Desde 1800 m en adelante (Clave 4)
Hasta 15 m (Clave A)	Cessna 172	Cessna 172	Cessna 172	Diamond DA42
Desde 15 m hasta 24 m (Clave B)	Cessna 172	Bombardier CRJ200	Embraer E175	ATR 72
Desde 24 m hasta 36 m (Clave C)	-	-	Airbus A321	Airbus A321
Desde 36 m hasta 52 m (Clave D)	-	-	Boeing 767	Boeing 767
Desde 52 m hasta 65 m (Clave E)	-	-	-	Boeing 767
Desde 65 m hasta 80 m (Clave F)	-	-	-	Boeing 747
Más de 80 m (Clave G)	-	-	-	Boeing 747

Fuente: Elaboración propia en base a NoiseDB DGAC France, US FAA, EASA e ICAO.

Tabla 6-123: Approach Noise Level (EPNdB) más alto por clave aeropuerto

Envergadura / Longitud de Campo de Referencia	Menos de 800 m (Clave 1)	Desde 800 m hasta 1200 m (Clave 2)	Desde 1200 m hasta 1800 m (Clave 3)	Desde 1800 m en adelante (Clave 4)
Hasta 15 m (Clave A)	88	88	88	88
Desde 15 m hasta 24 m (Clave B)	88	92	95	95
Desde 24 m hasta 36 m (Clave C)	-	-	97	97
Desde 36 m hasta 52 m (Clave D)	-	-	104	104
Desde 52 m hasta 65 m (Clave E)	-	-	-	104
Desde 65 m hasta 80 m (Clave F)	-	-	-	107
Más de 80 m (Clave G)	-	-	-	107

Fuente: Elaboración propia en base a NoiseDB DGAC France, US FAA, EASA e ICAO.

Considerando operaciones militares se consideran distintos informes de Impacto Ambiental (EIS). El EIS de la Base de la Fuerza Aérea de Elgin, Florida, USA, en donde se informa que el F-35 a 500 mph era de 121 dB, y el F-16 era de 97 dB (una diferencia de 24 dB). Un informe EIS de la Base de la Fuerza Aérea de Luke informó que las estimaciones de aterrizaje para el F-35, a potencia militar normal (a plena potencia sin postquemador) era de 79 dB, en comparación con los 66 dB del F-16. El EIS de

Burlington Vermont informa que el F-35 produce 115 dB a nivel del suelo, en el despegue, mientras que el F-16 produce 94 dB (una diferencia de 21 dB).

Estos tres informes de la Fuerza Aérea muestran que los aviones militares a nivel de suelo no superan los 120 dB, siendo el F35 el avión más ruidoso. Debido a esto se propone que si el aeropuerto evaluado posee operaciones militares el Approach Noise Level (EPNdB) sea de 120 no importando la clave que posea.

#### 6.4.4.1 PROPUESTA DE CONFORT ACÚSTICO: AISLACIÓN ACÚSTICA DE FACHADAS

Para proponer el valor de aislación para fachadas en Pequeños Aeródromos, se propone en función de los valores de ruido medidos en la visita a terreno, en los cuales se registraron niveles para aeronaves por debajo de los 65 dBA proyectadas en la fachada del edificio. Considerando la frecuencia de operación de este tipo de aeródromos y el tipo de aeronaves, se propone un valor de 25 dBA para los elementos de fachada, como suficiente.

**Indicadores:** Índice de reducción sonora  $R_w$  (dB), Diferencia de niveles normalizado para fachadas  $D_{2m,nT,A}$  (dB).

**Ámbito:** Todas las fachadas expuestas tanto a ruido vehicular como a ruido de tráfico aéreo.

**Definición:** El confort acústico es la situación en que el nivel de ruido provocado por las actividades humanas resulta adecuado para la comunicación y la salud de las personas. Debe estar acorde a la funcionalidad de cada recinto. El aislamiento del ruido es la propiedad física de un elemento o solución constructiva que determina la capacidad para atenuar la transmisión sonora.

**Objetivo:** Proveer de espacios acústicamente confortables para pasajeros y visitantes limitando el ruido que ingresa a través de elementos de fachada, y que espacios con usos diversos tengan una adecuada separación acústica.

#### **Metodología técnica para análisis y cálculo:**

Para la obtención de niveles de ruido  $L_{eq}$  en la envolvente de terminales de la Red Primaria y recintos con operaciones militares se podrán utilizar los siguientes métodos:

- Por modelación de tránsito aéreo. Para dicho efecto se recomienda utilización de Software de modelación Aviation Environmental Design Tool (AEDT) Versión 3 o similar, que utilice la norma AIR 1845 standard.
- Por medición y proyección obtenido de acuerdo con el procedimiento descrito en NCh 2502:2001

Para la obtención de niveles de ruido  $L_{eq}$  en la envolvente de terminales de red secundaria y pequeños aeródromos además de los métodos anteriores se podría obtener el nivel de ruido con la clave del aeropuerto según la Tabla 6-123 o por medio de mapas de ruido como indica el apéndice 7 del manual CES v1.1.

#### 6.4.4.1.1 COMPONENTE OBLIGATORIA

#### **Requerimientos y condiciones de evaluación:**

- **Opción 1:** Evaluación prescriptiva: Para Red Principal, Secundaria, Pequeños Aeródromos o aeropuertos que cuenten con operaciones militares se debe cumplir con los niveles de aislación mínimos  $R_w$  de la Tabla 6-124. El aislamiento acústico para terminales de la Red primaria, secundaria y pequeños aeródromos se obtendrá por cálculo utilizando la planilla CES adaptada de la versión 1.1 que usa como base NCh 3307:2013 (parte 3) en base al ED 2024 Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Acústico del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, o soluciones constructivas indicadas en los apéndices de la etapa 4, fichas técnicas válidas de los materiales utilizados o valores de soluciones obtenidos mediante cálculo por software informático especializado como Insul, SoundFlow o similar y luego se debe calcular la aislación equivalente de la fachada según NCh 3307:2013 (parte 3) o ingresando los valores simulados a la planilla CES adaptada..

Tabla 6-124: Aislación mínima de elementos de fachada

Tipología de Aeródromo	R <sub>w</sub>
Red primaria u operaciones militares	40 dB
Red Secundaria	30 dB
Pequeños Aeródromos	25 dB

Fuente: Elaboración propia

- **Opción 2:** Evaluación prestacional: Para Red Principal, Secundaria, Pequeños Aeródromos o aeropuertos que cuenten con operaciones militares se debe cumplir con los niveles de aislación mínimos R<sub>w</sub> de la Tabla 6-127 según el ruido que posean. El nivel de ruido Leq puede ser calculado mediante programa informático especializado Aviation Environmental Design Tool (AEDT) v 3.0 o similar, medición y proyección obtenido con procedimiento descrito en NCh 2502:2001 o se puede determinar directamente desde la Tabla 6-123. La determinación de nivel de aislación de la envolvente se realizará mediante cálculo por software informático especializado como Insul, SoundFlow o similar y luego se debe calcular la aislación equivalente de la fachada según NCh 3307:2013 (parte 3) o ingresando los valores simulados a la planilla CES adaptada.

Tabla 6-125: Aislación mínima de la envolvente (D2m,nT,A) para recintos regularmente ocupados

Recinto	Leq en envolvente (dBA)					
	< 75	75-79	80-84	85-89	90-95	>96
	Aislación mínima de la envolvente (D2m,nT,A)					
Área counters (check-in)	25 dB	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB
Área de descanso (soft-seating)	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB	55 dB
Área de llegada de vuelos (hall de llegada)	25 dB	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB
Área de retiro de equipaje	25 dB	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB
Área de salidas de vuelos (hall de salida)	25 dB	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB
Áreas de control (AVSEC, PDI, SAG, Aduanas, otros)	25 dB	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB
Circulación y pasillos	25 dB	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB
Concesiones comerciales (Tiendas)	25 dB	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB
Estar para personal de losa	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB	55 dB
Oficinas servicios dependiente de operaciones	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB	55 dB
Oficinas servicios públicos (independientes operaciones)	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB	55 dB
Restaurantes y cafeterías (exc. Preparación, sala residuos)	25 dB	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB
Restaurantes y cafeterías (preparación, sala residuos)	25 dB	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB
Sala de embarque (por puente)	25 dB	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB
Zona de juegos infantiles	25 dB	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB
Sala de embarque (remoto)	25 dB	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB
Salas de espera embarque	25 dB	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB
Salas de espera generales	25 dB	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB
Sala de lactancia	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB	55 dB
Salas de reuniones y auditorios	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB	55 dB
Kitchenettes	25 dB	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB
Camarines / Servicios higiénicos	25 dB	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB

Fuente: Elaboración propia en base a Acoustics Asset Standard - Heathrow

#### 6.4.4.1.2 COMPONENTE VOLUNTARIA

**Opción 1: Evaluación prescriptiva:** para alcanzar el nivel bueno se debe exceder en 5 dB(A) los niveles de aislación  $R_w$  de la Tabla 6-124, para alcanzar el nivel muy bueno exceder en 10 dB(A) los valores establecidos. Sólo aeropuertos de red secundaria y pequeños aeródromos pueden obtener puntaje mediante esta opción, aeropuertos de red primaria o terminales expuestos a operaciones militares pueden obtener puntos sólo por opción 2.

**Opción 2: Evaluación prestacional:** para alcanzar el nivel muy bueno se debe alcanzar los niveles de aislación  $R_w$  de la Tabla 6-125, para alcanzar el nivel sobresaliente exceder en 5 dB(A) los valores establecidos. Opción válida para todo tipo de terminales.

Además, tanto para la componente obligatoria como voluntaria para respaldar las estrategias adoptadas se deben considerar los siguientes antecedentes según corresponda:

- a) Planimetría de detalle de las soluciones constructivas.
- b) Fichas técnicas de materiales seleccionados.

#### 6.4.4.2 PROPUESTA DE CONFORT ACÚSTICO: AISLACIÓN ACÚSTICA DE CUBIERTAS

**Indicadores:** Índice de reducción sonora  $R_w$  (dB), Diferencia de niveles normalizado para fachadas  $D_{2m,nT,A}$  (dB).

**Ámbito:** Todas las cubiertas que se encuentren expuestas al ruido generado por tráfico aéreo.

**Definición:** El confort acústico es la situación en que el nivel de ruido provocado por las actividades humanas resulta adecuado para la comunicación y la salud de las personas. Debe estar acorde a la funcionalidad de cada recinto. El aislamiento del ruido es la propiedad física de un elemento o solución constructiva que determina la capacidad para atenuar la transmisión sonora.

**Objetivo:** Proveer de espacios acústicamente confortables para pasajeros y visitantes limitando el ruido que ingresa a través de elementos de cubierta, y que espacios con usos diversos tengan una adecuada separación acústica.

#### **Metodología técnica para análisis y cálculo:**

Para la obtención de niveles de ruido  $L_{eq}$  en la envolvente del terminal (Red Primaria) se podrán utilizar los siguientes métodos:

- Por modelación de tránsito aéreo. Para dicho efecto se recomienda utilización de Software de modelación Aviation Environmental Design Tool (AEDT) Versión 3 o similar, que utilice la norma AIR 1845 standard.
- Por medición y proyección obtenido de acuerdo con el procedimiento descrito en NCh 2502:2001

Para la obtención de niveles de ruido  $L_{eq}$  en la envolvente de terminales de red secundaria y pequeños aeródromos además de los métodos anteriores se podría obtener el nivel de ruido con la clave del aeropuerto según la Tabla 6-123 o por medio de mapas de ruido como indica el apéndice 7 del manual CES v1.1.

#### 6.4.4.2.1 COMPONENTE OBLIGATORIA

#### **Requerimientos y condiciones de evaluación:**

- **Opción 1:** Evaluación prescriptiva: Para Red Principal, Secundaria, Pequeños Aeródromos o aeropuertos que cuenten con operaciones militares se debe cumplir con los niveles de aislación mínimos  $R_w$  de la Tabla 6-126. El aislamiento acústico para terminales de la Red primaria, secundaria y pequeños aeródromos se obtendrá por cálculo utilizando la planilla CES adaptada de la versión 1.1 que usa como base NCh 3307:2013 (parte 3) en base al ED 2024 Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Acústico del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, o soluciones constructivas indicadas en el Apéndice de la etapa 4, fichas técnicas válidas de los materiales utilizados o valores de soluciones obtenidos mediante cálculo por software informático especializado como Insul, SoundFlow o

similar y luego se debe calcular la aislación equivalente de la cubierta según NCh 3307:2013 (parte 3) o ingresando los valores simulados a la planilla CES adaptada.

Tabla 6-126: Aislación mínima de elementos de cubierta

Tipología de Aeródromo	R <sub>w</sub>
Red primaria u operaciones militares	35 dB
Red Secundaria	30 dB
Pequeños Aeródromos	25 dB

Fuente: Elaboración propia

- **Opción 2:** Evaluación prestacional: Para Red Principal, Secundaria, Pequeños Aeródromos o aeropuertos que cuenten con operaciones militares se debe cumplir con los niveles de aislación mínimos R<sub>w</sub> de la Tabla 6-127 según el ruido que posean. El nivel de ruido Le<sub>q</sub> puede ser calculado mediante programa informático especializado Aviation Environmental Design Tool (AEDT) v 3.0 o similar, medición y proyección obtenido con procedimiento descrito en NCh 2502:2001 o se puede determinar directamente desde la Tabla 6-123. La determinación de nivel de aislación de la envolvente se realizará mediante cálculo por software informático especializado como Insul, SoundFlow o similar y luego se debe calcular la aislación equivalente de la cubierta según NCh 3307:2013 (parte 3) o ingresando los valores simulados a la planilla CES adaptada.

Tabla 6-127: Aislación mínima de la fachada (D2m,nT,A) para recintos regularmente ocupados

Recinto	Le <sub>q</sub> en envolvente (dBA)					
	< 75	75-79	80-84	85-89	90-95	>96
	Aislación mínima de la envolvente (D2m,nT,A)					
Área counters (check-in)	25 dB	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB
Área de descanso (soft-seating)	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB	55 dB
Área de llegada de vuelos (hall de llegada)	25 dB	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB
Área de retiro de equipaje	25 dB	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB
Área de salidas de vuelos (hall de salida)	25 dB	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB
Áreas de control (AVSEC, PDI, SAG, Aduanas, otros)	25 dB	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB
Circulación y pasillos	25 dB	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB
Concesiones comerciales (Tiendas)	25 dB	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB
Estar para personal de losa	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB	55 dB
Oficinas servicios dependiente de operaciones	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB	55 dB
Oficinas servicios públicos (independientes operaciones)	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB	55 dB
Restaurantes y cafeterías (exc. Preparación, sala residuos)	25 dB	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB
Restaurantes y cafeterías (preparación, sala residuos)	25 dB	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB
Sala de embarque (por puente)	25 dB	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB
Zona de juegos infantiles	25 dB	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB
Sala de embarque (remoto)	25 dB	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB
Salas de espera embarque	25 dB	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB
Salas de espera generales	25 dB	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB
Sala de lactancia	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB	55 dB
Salas de reuniones y auditorios	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB	55 dB
Kitchenettes	25 dB	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB
Camarines / Servicios higiénicos	25 dB	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB

Fuente: Elaboración propia en base a Acoustics Asset Standard – Heathrow

#### 6.4.4.2.2 COMPONENTE VOLUNTARIA

**Opción 1: Evaluación prescriptiva:** para alcanzar el nivel bueno se debe exceder en 5 dB(A) los niveles de aislación  $R_w$  de la Tabla 6-124, para alcanzar el nivel muy bueno exceder en 10 dB(A) los valores establecidos. Sólo aeropuertos de red secundaria y pequeños aeródromos pueden obtener puntaje mediante esta opción, aeropuertos de red primaria o terminales expuestos a operaciones militares pueden obtener puntos sólo por opción 2.

**Opción 2: Evaluación prestacional:** para alcanzar el nivel muy bueno se debe alcanzar los niveles de aislación  $R_w$  de la Tabla 6-125, para alcanzar el nivel sobresaliente exceder en 5 dB(A) los valores establecidos. Opción válida para todo tipo de terminales.

Además, tanto para la componente obligatoria como voluntaria para respaldar las estrategias adoptadas se deben considerar los siguientes antecedentes según corresponda:

- a) Planimetría de detalle de las soluciones constructivas.
- b) Fichas técnicas de materiales seleccionados.

#### 6.4.4.3 PROPUESTA DE CONFORT ACÚSTICO: AISLAMIENTO RUIDO AÉREO E IMPACTO ENTRE RECINTOS INTERIORES

**Indicadores:** Índice de reducción sonora  $R_w$  (dB), Diferencia de niveles normalizado  $D_{nT,A}$  (dB) y Nivel de Presión sonora de impacto normalizado  $L'_{n,w}$  (dB)

**Ámbito:** Todos los recintos regularmente ocupados del edificio. El nivel de Presión Sonora de impacto sólo aplicará a Oficinas y Salas de Reuniones.

**Definición:** El confort acústico es la situación en que el nivel de ruido provocado por las actividades humanas resulta adecuado para la comunicación y la salud de las personas. Debe estar acorde a la funcionalidad de cada recinto. El aislamiento del ruido es la propiedad física de un elemento o solución constructiva que determina la capacidad para atenuar la transmisión sonora.

**Objetivo:** Proveer de espacios acústicamente confortables para pasajeros y visitantes limitando el ruido que ingresa a través de que espacios con usos diversos tengan una adecuada separación acústica.

#### **Requerimientos y condiciones de evaluación:**

Aislamiento acústico mínimo [dB(A)] a ruido aéreo ( $D_{nT,A}$ ), para un 75% de los recintos regularmente ocupados del edificio, colindantes horizontal o verticalmente, según Tabla 6-128. En cualquier caso, se deberá cubrir un 100% de recintos de salud, según definición señalada. Para el análisis de cada recinto se tomará el elemento colindante con el menor valor de aislamiento acústico. Se proponen tres niveles:

- Muy bueno: Excede en 10 dB(A) o más requisitos de la Tabla 6-128 y disminuye en 5 dB(A) nivel de Presión Sonora de Impacto normalizado según cálculo del punto 3.13 del Anexo 1.
- Bueno: Excede en 5 dB(A) o más requisitos de la Tabla 6-128 y disminuye en 5 dB(A) nivel de Presión Sonora de Impacto normalizado según cálculo del punto 3.13 del Anexo 1.
- Aceptable: Cumple con los requisitos de la Tabla 6-128 y de nivel de Presión Sonora de Impacto normalizado según cálculo del punto 3.13 del Anexo 1.

La determinación de nivel de aislación de los elementos divisores se realizará mediante cálculo por software informático especializado como Insul, SoundFlow o similar.

Tabla 6-128: Aislación mínima al ruido aéreo  $D_{nT,A}$  (dB)

Recinto	Área counters (check-in)	Área de descanso (soft-seating)	Área de llegada de vuelos (hall de llegada)	Área de retiro de equipaje	Área de salidas de vuelos (hall de salida)	Áreas de control (AVSEC, PDI, SAG, Aduanas, otros)	Circulación y pasillos	Concesiones comerciales (Tiendas)	Estar para personal de losa	Oficinas servicios dependiente de operaciones	Oficinas servicios públicos (independientes operaciones)	Restaurantes y cafeterías (exc. Preparación, sala residuos)	Restaurantes y cafeterías (preparación, sala residuos)	Sala de embarque (por puente)	Zona de juegos infantiles	Sala de embarque (remoto)	Salas de espera embarque	Salas de espera generales	Sala de lactancia	Salas de reuniones y auditorios	Salas técnicas	Kitchenettes	Camarines / Servicios higiénicos
Área counters (check-in)	35	40	45	50	50	50	35	35	35	40	40	45	45	45	50	50	50	50	45	45	45	45	45
Área de descanso (soft-seating)	50	45	45	50	50	50	35	35	35	40	40	45	45	45	50	50	50	50	45	45	45	45	45
Área de llegada de vuelos (hall de llegada)	35	40	45	50	50	50	35	35	35	40	40	45	45	45	50	50	50	50	45	45	45	45	45
Área de retiro de equipaje	35	40	45	50	50	50	35	35	35	40	40	45	45	45	50	50	50	50	45	45	45	45	45
Área de salidas de vuelos (hall de salida)	35	40	45	50	50	50	35	35	35	40	40	45	45	45	50	50	50	50	45	45	45	45	45
Áreas de control (AVSEC, PDI, SAG, Aduanas, otros)	35	40	45	50	50	50	35	35	35	40	40	45	45	45	50	50	50	50	45	45	45	45	45
Circulación y pasillos	35	40	45	50	50	50	35	35	35	40	40	45	45	45	50	50	50	50	45	45	45	45	45
Concesiones comerciales (Tiendas)	50	45	45	50	50	50	35	35	35	40	40	45	45	45	50	50	50	50	45	45	45	45	45
Estar para personal de losa	50	45	45	50	50	50	35	35	35	40	40	45	45	45	50	50	50	50	45	45	45	45	45
Oficinas servicios dependiente de operaciones	40	40	45	50	50	50	35	35	35	40	40	45	45	45	50	50	50	50	45	45	45	45	45
Oficinas servicios públicos (independientes operaciones)	40	40	45	50	50	50	35	35	35	40	40	45	45	45	50	50	50	50	45	45	45	45	45
Restaurantes y cafeterías (exc. Preparación, sala residuos)	50	45	45	50	50	50	35	35	35	40	40	45	45	45	50	50	50	50	45	45	45	45	45
Restaurantes y cafeterías (preparación, sala residuos)	50	45	45	50	50	50	35	35	35	40	40	45	45	45	50	50	50	50	45	45	45	45	45
Sala de embarque (por puente)	35	40	45	50	50	50	35	35	35	40	40	45	45	45	50	50	50	50	45	45	45	45	45
Zona de juegos infantiles	35	40	45	50	50	50	35	35	35	40	40	45	45	45	50	50	50	50	45	45	45	45	45
Sala de embarque (remoto)	35	40	45	50	50	50	35	35	35	40	40	45	45	45	50	50	50	50	45	45	45	45	45
Salas de espera embarque	50	45	45	50	50	50	35	35	35	40	40	45	45	45	50	50	50	50	45	45	45	45	45
Salas de espera generales	50	45	45	50	50	50	35	35	35	40	40	45	45	45	50	50	50	50	45	45	45	45	45
Sala de lactancia	45	45	45	50	50	50	35	35	35	40	40	45	45	45	50	50	50	50	45	45	45	45	45
Salas de reuniones y auditorios	45	45	45	50	50	50	35	35	35	40	40	45	45	45	50	50	50	50	45	45	45	45	45
Salas técnicas	40	45	45	45	45	45	35	35	35	40	40	45	45	45	50	50	50	50	45	45	45	45	45
Kitchenettes	40	45	45	45	45	45	35	35	35	40	40	45	45	45	50	50	50	50	45	45	45	45	45
Camarines / Servicios higiénicos	35	35	35	45	45	45	35	35	35	40	40	45	45	45	50	50	50	50	45	45	45	45	35

Fuente: Elaboración propia en base a Building Bulletin 93, CES Manual 1.1, Acoustics Asset Standard - Heathrow

- (1) Recintos regularmente ocupados como Área counters (check-in), Área de llegada de vuelos (hall de llegada), Área de retiro de equipaje, Área de salidas de vuelos (hall de salida), Áreas de control (AVSEC, PDI, SAG, Aduanas, otros), Circulación y pasillos, Restaurantes y cafeterías, Sala de embarque, Zona de juegos infantiles, Salas de espera generales

Adicionalmente, el nivel de Presión Sonora de Impacto Normalizado,  $L'_{n,w}$  máximo, definido según ISO 140-6:1999, debe ser igual o menor a 65 dB para elementos de separación horizontal.

Además, para respaldar las estrategias adoptadas se deben considerar los siguientes antecedentes según corresponda:

- a) Planimetría de detalle de las soluciones constructivas.
- b) Fichas técnicas de materiales seleccionados.

#### 6.4.4.4 PROPUESTA CONFORT ACÚSTICO: CONTROL DE REVERBERACIÓN E INTELIGIBILIDAD DE LA PALABRA

**Indicadores:** Tiempo de reverberación ( $RT_{Mid}$ ) y Speech Transmission Index (STI)

**Ámbito:** Todos los recintos regularmente ocupados del edificio. El tiempo de reverberación aplicará a espacios cerrados, tanto para salas pequeñas como volúmenes más grandes. El índice de inteligibilidad de la palabra aplicará a todos los espacios donde se instale un sistema de anunciamiento y evacuación por voz (PA/VA).

**Definición:** El acondicionamiento acústico es una estrategia empleada para controlar el tiempo de reverberación al interior de un recinto.

**Objetivo:** Proveer de un ambiente adecuado para quienes trabajan en el aeropuerto y que los anuncios del sistema de PA/VA son claramente audibles e inteligibles.

#### **Metodología técnica para análisis y cálculo:**

Para efectos de la evaluación acústica, los recintos se consideran como “vacíos”. Para el cálculo de tiempo de reverberación se deberá ocupar planillas de cálculo.

Para obtención y demostración de valores de STI del sistema de PA/VA se deberá utilizar software especializado de modelación tipo ‘Ray-tracing’ (e.g. CATT-Acoustic, EASE, Odeon). En el caso de que un aeródromo pequeño o de red secundaria que no contemplen sistemas de megafonía y/o altavoces no debiese ser objeto de evaluación de este requerimiento.

#### **Requerimientos y condiciones de evaluación:**

##### **Tiempo de Reverberación**

##### **Opción 1:** Evaluación prestacional

El criterio de tiempo de reverberación aplicará solamente a recintos regularmente ocupados como, Salas de Reuniones, Salas de espera y Áreas de descanso. Para el caso de salas de embarque, áreas de counters o volúmenes de doble o triple altura, el objetivo es lograr un control de reverberación que permita que el sistema de anunciamiento y evacuación por voz (PA/VA) cumpla con los requerimientos de inteligibilidad de la palabra, por lo que no se establece un valor específico para tiempo de reverberación en estos casos.

Tabla 6-129: Límites de tiempo de reverberación

Tamaño del recinto	RT <sub>Mid</sub>
Espacio cerrado $\leq 283 \text{ m}^3$	0,6
Espacio cerrado $> 283 \text{ m}^3 \leq 566 \text{ m}^3$	0,7
Espacio cerrado $> 566 \text{ m}^3$	1,0

Fuente: Manual CES v1.1

\*RT<sub>Mid</sub> corresponde al promedio aritmético del RT de las bandas de octava de 500Hz, 1kHz y 2kHz

### **Opción 2:** Evaluación prescriptiva

El criterio de tiempo de reverberación aplicará solamente a los recintos indicados en la opción 1. Esta opción es válida sólo para pequeños aeródromos. Para cumplir con el requerimiento se deben cumplir con los valores de la Tabla 6-98. Para esto se pueden utilizar software gratuito como EASE Focus o alternativas similares de fabricantes de altavoces, o mediante el cálculo prescriptivo de planilla CES según cálculo del punto 3.14 del Anexo 1.

Además, para respaldar las estrategias adoptadas se deben considerar los siguientes antecedentes según corresponda:

- Planimetría de detalle de las soluciones constructivas.
- Fichas técnicas de materiales seleccionados.
- En el caso de simulación, un informe sobre todas las entradas, cálculos, materiales y resultados obtenidos.

### **Inteligibilidad de la palabra**

El criterio de inteligibilidad de la palabra aplicará a zonas de uso público y staff como salas de embarque, baños, oficinas, etc. o cualquier otro recinto donde se instale altavoces del sistema de PA/VA.

### **Opción 1 (Red Primaria y operaciones militares):** Evaluación prestacional: valores mínimos de STI

Nivel de inteligibilidad del habla (STI) deberá ser en promedio 0.5 en todas las áreas, con un valor de 0.45 mínimo en el 90% del área. La relación señal/ruido del sistema deberá ser superior a 15 dB. Se deben utilizar software de simulación como Aura o similar.

**Opción 2 (Red secundaria y Pequeños Aeródromos):** Para el caso de aeródromos de la Red Secundaria y Pequeños aeródromos se deberá demostrar mediante herramientas de modelación que la cobertura del sonido directo del sistema de PA/VA cubre de forma adecuada todas las áreas. Para esto se pueden utilizar software gratuito como EASE Focus o alternativas similares de fabricantes de altavoces, o mediante el cálculo prescriptivo de planilla CES. Este requerimiento aplica solo en aeródromos en los cuales, por requerimientos del plan de evacuación, se instale un sistema de PA/VA.

#### 6.4.4.5 PROPUESTA DE CONTROL DEL RUIDO Y VIBRACIONES PROVENIENTES DE EQUIPOS

**Indicador:** Nivel continuo equivalente con curva de ponderación A  $L_{eq}$  (dBA)

**Ámbito:** Todos los recintos regularmente ocupados del edificio.

**Definición:** Nivel de ruido proveniente directamente de las instalaciones mecánicas del edificio, y/o transmitidas a la estructura y/o tabiquería del edificio.

**Objetivo:** Proveer de espacios acústicamente confortables para pasajeros y trabajadores, a través de medidas de control de ruido y vibraciones.

### Metodología técnica para análisis y cálculo:

La emisión de ruido de las instalaciones se obtendrá mediante alguno de los modelos de emisión sonora existentes en la literatura, se debe presentar memoria de cálculo de la modelación y predicción de niveles de ruido. El nivel muy bueno se alcanza con la opción 1, mientras que el nivel bueno con la opción 2.

### Requerimientos:

Se debe cumplir con los requerimientos de valores máximos de nivel sonoro proveniente de equipos, utilizando una de las siguientes opciones.

#### Opción 1: Evaluación prestacional: Valores máximos de emisión de ruido

El funcionamiento de las instalaciones no debe provocar un nivel sonoro que supere lo señalado en la Tabla 6-130.

La evaluación del nivel sonoro se debe realizar en cada recinto regularmente ocupado (RRO), sin ocupantes, sin influencia de ruido exterior y con el sistema de climatización y aire acondicionado operando a máxima velocidad.

La emisión de ruido de las instalaciones se obtendrá mediante alguno de los modelos de emisión sonora existentes en la literatura, se debe presentar memoria de cálculo de la modelación y predicción de niveles de ruido.

Tabla 6-130: Límites de ruido de fondo  $L_{eq}$  (dBA) asociado a equipamiento

Recinto	Sobresaliente	Muy bueno	Bueno	Aceptable
Área counters (check-in)	40 dBA	45 dBA	50 dBA	55 dBA
Área de descanso (soft-seating)	30 dBA	35 dBA	40 dBA	---
Área de llegada de vuelos (hall de llegada)	40 dBA	45 dBA	50 dBA	55 dBA
Área de retiro de equipaje	45 dBA	50 dBA	55 dBA	60 dBA
Área de salidas de vuelos (hall de salida)	40 dBA	45 dBA	50 dBA	55 dBA
Áreas de control (AVSEC, PDI, SAG, Aduanas, otros)	40 dBA	45 dBA	50 dBA	55 dBA
Circulación y pasillos	40 dBA	45 dBA	50 dBA	55 dBA
Concesiones comerciales (Tiendas)	40 dBA	45 dBA	50 dBA	55 dBA
Estar para personal de losa	35 dBA	40 dBA	45 dBA	---
Oficinas servicios dependiente de operaciones	35 dBA	40 dBA	45 dBA	---
Oficinas servicios públicos (independientes operaciones)	35 dBA	40 dBA	45 dBA	---
Restaurantes y cafeterías (exc. Preparación, sala residuos)	40 dBA	45 dBA	50 dBA	55 dBA
Restaurantes y cafeterías (preparación, sala residuos)	40 dBA	45 dBA	50 dBA	55 dBA
Sala de embarque (por puente)	40 dBA	45 dBA	50 dBA	55 dBA
Zona de juegos infantiles	45 dBA	50 dBA	55 dBA	60 dBA
Sala de embarque (remoto)	40 dBA	45 dBA	50 dBA	55 dBA
Salas de espera embarque	40 dBA	45 dBA	50 dBA	55 dBA
Salas de espera generales	40 dBA	45 dBA	50 dBA	55 dBA
Sala de lactancia	30 dBA	35 dBA	40 dBA	---
Salas de reuniones y auditorios	30 dBA	35 dBA	40 dBA	45 dBA
Salas técnicas	50 dBA	55 dBA	60 dBA	65 dBA

Recinto	Sobresaliente	Muy bueno	Bueno	Aceptable
Kitchenettes	40 dBA	45 dBA	50 dBA	55 dBA
Camarines / Servicios higiénicos	45 dBA	50 dBA	55 dBA	60 dBA

Fuente: Elaboración propia

## **Opción 2:** Evaluación prescriptiva: características de las instalaciones

### **a. Condiciones de montajes de los equipos**

- Los equipos se instalarán i) sobre soportes anti-vibratorios elásticos cuando se trate de equipos pequeños y compactos o ii) sobre una bancada de inercia cuando el equipo no posea una base propia suficientemente rígida. Para más detalles de soportes y conectores flexibles ver UNE 100153 IN.
- Se instalarán conectores flexibles a la entrada y salida de las tuberías de los equipos, evitando la transmisión de vibraciones mediante tuberías rígidas, entre los equipos y el resto de la instalación.
- Se usarán rejillas y difusores terminales de aire acondicionado en recintos interiores.
- Se debe contemplar un plan de mantenimiento y limpieza de equipos de acuerdo con lo señalado por el fabricante para evitar que un malfuncionamiento provoque ruido y vibración.

### **b. Condiciones de los conductos y equipamiento**

- Hidráulicas y sanitarias
  - Los conductos del edificio deberán ir tratados acústicamente para no provocar molestias en los recintos.
  - En el paso de tuberías a través de los elementos constructivos se utilizarán sistemas anti-vibratorios.
  - No deben apoyarse de forma simultánea los radiadores a la losa y fijarse a la pared.
- Aire acondicionado
  - Los conductos de aire acondicionado deben ser absorbentes acústicos cuando se requiera y deben utilizarse silenciadores acordes al equipamiento.
  - Se evitará la transmisión de vibraciones desde los conductos a los elementos constructivos mediante sistemas anti-vibratorios.
- Ventilación
  - Los conductos de extracción que discurran dentro de una unidad de uso deben revertirse con elementos constructivos.
  - Cuando un conducto de instalaciones colectivas se adose a un elemento de separación vertical, se revestirá de tal forma que no disminuya el aislamiento acústico de los elementos de separación.
- Eliminación de residuos
  - Los conductos de basura deben tratarse para no transmitir ruidos y vibraciones a los recintos.
  - El suelo del cuarto de contenedores debe ser flotante, es decir, debe poseer un elemento acústico entre el pavimento y la estructura del edificio que permita el desacople del ruido por impacto.
- Ascensores y montacargas
  - Los sistemas de tracción de los ascensores y montacargas se anclarán a los sistemas estructurales del edificio mediante elementos anti-vibratorios. Deberá tener un índice de reducción acústica mayor que 50 dBA

- Puertas de acceso al ascensor con topes elásticos que aseguren la anulación del impacto contra el marco en las operaciones de cierre.

### **Condiciones de Evaluación:**

**Opción 1:** evaluación prestacional: La emisión de ruido de las instalaciones se obtendrá mediante alguno de los modelos de emisión sonora existentes en la literatura, para ello se debe presentar una memoria de cálculo que detalle el proceso de la modelación utilizada. Los programas recomendados son los siguientes: SONarchitect ISO, INSUL, ZORBA, ECOTECT, EASE. Esta metodología aplica tanto a etapas de diseño como la etapa de construcción del proyecto.

**Opción 2:** evaluación prescriptiva: En la etapa de diseño, se debe demostrar que las recomendaciones respecto de las condiciones de montaje de equipos y las condiciones de los ductos y demás equipamiento han sido consideradas. Por ejemplo, incluir en las especificaciones técnicas (EETT) los detalles y características pertinentes de las instalaciones.

Durante la fase de construcción, será necesario aportar documentación adicional que respalde las condiciones, como, por ejemplo, fotografías, fichas técnicas u otros antecedentes que verifiquen que las instalaciones se han ejecutado conforme a lo especificado en el diseño.

Las fichas técnicas de los equipos deben permitir verificar que se han instalado los soportes anti-vibratorios adecuados para los equipos pequeños y compactos, así como las bancadas de inercia necesarias para los equipos más grandes.

Toda la documentación técnica deberá incluir información sobre los conectores flexibles utilizados en las tuberías de entrada y salida de los equipos, garantizando que se ha evitado la transmisión de vibraciones a través de tuberías rígidas. La planimetría detallada y los planos de instalación deben mostrar claramente que las rejillas y difusores de aire acondicionado han sido correctamente ubicados en las zonas interiores.

Se deben incluir las fichas técnicas de los materiales utilizados en los sistemas de tuberías y los detalles en la planimetría deben confirmar que los conductos hidráulicos y sanitarios están tratados acústicamente. Los planos también deberán evidenciar que los radiadores no están apoyados simultáneamente en la losa y la pared, cumpliendo con los estándares de instalación. Se debe verificar en la documentación de los conductos de aire acondicionado que estos cuenten con materiales absorbentes acústicos y que se hayan instalado los silenciadores cuando corresponda. Los sistemas anti-vibratorios en estos conductos también deberán estar respaldados por fichas técnicas o detalles constructivos en los planos.

Para los sistemas de ventilación y eliminación de residuos, los planos y fichas técnicas deberán mostrar que los conductos de extracción dentro de las unidades están debidamente revestidos, y que los conductos colectivos no reducen el aislamiento acústico de los elementos de separación. Las especificaciones técnicas de los materiales utilizados en los conductos de basura deben confirmar que están diseñados para evitar la transmisión de ruidos y vibraciones, y los detalles de la construcción del cuarto de contenedores deben demostrar que el suelo flotante está diseñado con un sistema de desacople acústico.

En el caso de los ascensores y montacargas, las fichas técnicas de los sistemas de tracción deben confirmar el uso de elementos anti-vibratorios, asegurando la reducción acústica requerida, mientras que los planos de instalación deben indicar la correcta anulación de impactos en las puertas del ascensor mediante topes elásticos.

Además de la documentación técnica, será necesario presentar las facturas y/o guías de despacho que certifiquen la compra y entrega de los materiales y equipos instalados. En los casos en que las instalaciones no queden a la vista una vez finalizadas, se debe llevar un registro fotográfico que documente las medidas tomadas durante la instalación, asegurando que todos los elementos ocultos cumplan con los requisitos.

#### 6.4.4.6 PROPUESTA DE REQUERIMIENTO VOLUNTARIO: IMPLEMENTACIÓN DE ZONAS DE SILENCIO

##### **Objetivo:**

Crear áreas específicas dentro del terminal donde se garantice un ambiente de bajo ruido, promoviendo el bienestar de los pasajeros que buscan un entorno tranquilo y de mejorar la accesibilidad universal para personas con características neurodivergentes que necesitan espacios con menor estimulación.

##### **Indicadores:**

Nivel de decibeles en las zonas de silencio y cantidad de zonas de silencio en terminal.

##### **Ámbito:**

Toda terminal aeroportuaria.

##### **Valores de Referencia:**

Según la OMS la exposición promedio al ruido generado para salas de hospitales sin perturbación del sueño es de 30 dB, este valor se considerará como el valor referencial.

##### **Escala de Niveles:**

- Bueno: Implementar al menos un recinto considerado como “zona de silencio” que cumpla con las condiciones de evaluación y de al menos 9 m<sup>2</sup>.
- Muy Bueno: Implementar al menos dos recintos considerado como “zona de silencio” que cumpla con las condiciones de evaluación y de al menos 9 m<sup>2</sup> cada una.

##### **Requerimientos y condiciones de Evaluación**

##### **Etapa de precertificación:**

Demostrar que las salas de silencio fueron diseñadas conforme a pautas o estándares reconocidos internacionalmente, respaldados por organismos o instituciones de renombre en la materia como lo es la PAS 6463:2022 Design for the mind – Neurodiversity and the built environment – Guide. Además, deberá adjuntarse un informe técnico detallado que describa todas las características y especificaciones de la sala de silencio, incluyendo materiales empleados, métodos de insonorización, planimetría de planta y detalles. Este informe debe demostrar claramente que el diseño de las salas de silencio se ha llevado a cabo cumpliendo con normativas y directrices autorizadas, garantizando así su funcionalidad y confort acústico.

##### **Etapa de certificación:**

Cumplir con todas las condiciones de la etapa de precertificación. Además, una vez construido el edificio se debe realizar una medición de ruido interior según la norma NCh2803:2003 en la que se compruebe que el ruido interior dentro de las zonas de silencio no es superior a 30 dB.

##### **Directrices para la instalación de una zona de silencio**

Las zonas de silencio pueden ser instaladas en diversos espacios según las necesidades del proyecto. No existe una obligación estricta de ubicarlas en áreas específicas; sin embargo, se consideran ciertas localizaciones estratégicas para optimizar su funcionalidad y garantizar un mayor beneficio a los usuarios. Estas ubicaciones permiten maximizar la eficiencia de las zonas

de silencio, contribuyendo a la experiencia de tranquilidad y confort en el recinto. Para ello, se consideran los siguientes criterios:

- a) **Alejadas de áreas de tránsito intenso:** Es recomendable situarlas lejos de los pasillos principales, donde el constante flujo de personas y el ruido son habituales. Así, se evita que el bullicio interfiera con el propósito de estos espacios.
- b) **Distanciadas de las puertas de embarque:** Las inmediaciones de las puertas de embarque suelen ser ruidosas debido a los anuncios de vuelos y al movimiento constante de pasajeros. Colocar las zonas de silencio lejos de estas áreas asegura una atmósfera más calmada.
- c) **Cercanas a áreas de relajación:** Integrar las zonas de silencio en áreas como lounges o zonas VIP, que ya poseen una atmósfera tranquila y controlada, es una excelente alternativa para ofrecer un espacio armonioso y confortable a los usuarios.
- d) **En áreas de conexiones internacionales:** Los vuelos de larga distancia o con conexiones internacionales pueden ser agotadores. Por ello, es importante disponer de zonas de silencio en estas áreas de tránsito, en que los pasajeros puedan descansar antes de continuar su viaje.
- e) **Distanciadas de las áreas de equipaje y seguridad:** Los puntos de recolección de equipaje y control de seguridad son inherentemente ruidosos y ajetreados. Para mantener la serenidad de las zonas de silencio, deben ubicarse lejos de estas áreas, proporcionando así un refugio alejado del ruido.
- f) **Contar con personal capacitado:** Como caso particular se tiene al aeropuerto de Pittsburgh, en que se exige contar con personal capacitado para el control del ingreso a las salas y asistir a los pasajeros en el uso de éstas. En la Figura 6-23 se pueden apreciar las normas de uso para zonas de silencio.

Figura 6-22: Sala tranquila de Presley's Place en el Aeropuerto Internacional de Pittsburgh



Fuente: Hayes Design

Figura 6-23: Normas en Sala tranquila de Presley's Place en el Aeropuerto Internacional de Pittsburgh



Fuente: Dustin's Dynasty USA

#### 6.4.4.7 PROPUESTA DE REQUERIMIENTO VOLUNTARIO: INSTALACIÓN DE BARRERAS ACÚSTICAS

##### **Objetivo:**

Reducir la propagación del ruido generado por las operaciones del aeropuerto hacia las áreas residenciales cercanas y hábitats de fauna, mejorando la calidad de vida de los residentes y protegiendo el bienestar de la fauna local.

##### **Indicadores:**

Nivel de decibeles mediante simulación (dB) en las áreas residenciales y hábitats de fauna antes y después de la implementación de las bermas y barreras acústicas. Estas soluciones serán incorporadas específicamente en las áreas de movimiento o áreas exteriores del aeropuerto, y no dentro de las edificaciones, con el objetivo de reducir el ruido generado por las operaciones aeroportuarias en el entorno.

##### **Ámbito:**

Área de movimiento o exteriores del aeropuerto.

##### **Metodología técnica para análisis y cálculo:**

- Realizar estudios de ruido ambiental utilizando sonómetros en las áreas afectadas antes de la instalación.
- Utilizar software de modelado acústico para diseñar y simular la efectividad de las bermas y barreras acústicas.

##### **Valores de Referencia:**

El nivel de ruido en áreas residenciales exteriores no debe superar los 55 dB durante el día y 45 dB durante la noche.

##### **Escala de Niveles:**

- Aceptable: Instalación de bermas de tierra con vegetación densa para reducir el ruido en 10 dB.
- Bueno: Construcción de barreras acústicas de materiales y/o vegetación absorbente para reducir el ruido en 15 dB.
- Muy Bueno: Combinación de bermas y barreras acústicas con materiales absorbente y/o vegetación absorbente de alta densidad y diseño especializado para reducir el ruido en 20 dB.
- Sobresaliente: Implementación de soluciones avanzadas como barreras acústicas dinámicas para reducir el ruido en más de 20 dB.

##### **Requerimientos:**

Igualar o mejorar la aislación acústica mínima de las áreas exteriores residenciales y hábitats de fauna expuestos al ruido del aeropuerto. Las bermas y barreras deben ser diseñadas para reducir significativamente la propagación del ruido hacia estas áreas, con un enfoque en la atenuación del Nivel Equivalente Diurno (NED) y Nivel Equivalente Nocturno (NEN) generado particularmente por las aeronaves. Se incluirán diseños que mitiguen el ruido en un rango de hasta 300 metros desde las fuentes principales del ruido. Las barreras deben estar diseñadas para reducir el ruido de superficie, asegurando que la mitigación cumpla o supere los niveles establecidos en la normativa local y recomendaciones internacionales.

##### **Condiciones de Evaluación**

Se debe utilizar software especializado de modelado acústico para diseñar y evaluar la efectividad de bermas y barreras acústicas en el entorno aeroportuario considerando los ruidos de aproximación de la Tabla 6-123 según la clave del aeropuerto. Los programas sugeridos incluyen: Soundplan, CadnaA, o similares.

## Caso de edificios nuevos:

Para nuevos edificios aeroportuarios, aunque no sea posible realizar mediciones previas, es factible planificar e implementar un sistema efectivo de control de ruido. Este proceso se basa en el uso de simulaciones y un diseño inteligente, asegurando que proyectos sin antecedentes de medición se logre una gestión acústica óptima desde el inicio.

A continuación, se describen las consideraciones a tener en cuenta para el desarrollo de un diseño efectivo:

### i. Análisis preliminar del entorno y factores clave

#### Estudio de la Ubicación

- **Topografía y geografía:** Es fundamental realizar un análisis detallado del terreno donde se construirá el aeropuerto. Las características topográficas, como colinas, depresiones y cuerpos de agua pueden influir significativamente en la forma en que el sonido se propaga. Para esto, se emplean sistemas de información geográfica (SIG) que permiten mapear el terreno y evaluar su impacto en la dispersión del ruido.
- **Clima y condiciones meteorológicas:** La propagación del sonido también depende de factores climáticos como la temperatura, la velocidad y dirección del viento, la humedad y las precipitaciones. Estos elementos deben considerarse en la modelación acústica para prever cómo podrían variar los niveles de ruido bajo diferentes condiciones atmosféricas.

#### Predicción de Tráfico Aéreo

- **Tipos de aeronaves:** Es esencial conocer qué tipos de aeronaves operarán en el aeropuerto, ya que su tamaño, peso y potencia de motores determinan el nivel de ruido generado. Cada aeronave tiene un perfil acústico único que debe integrarse en las simulaciones para obtener predicciones precisas.
- **Frecuencia y horarios de vuelos:** Aunque el aeropuerto aún no esté en funcionamiento, se pueden estimar la frecuencia de vuelos y los horarios más comunes. Los vuelos nocturnos, por ejemplo, tienen un impacto acústico mayor en el entorno debido a la tranquilidad característica de esas horas, lo que debe ser contemplado en la planificación.

### ii. Modelado y simulaciones acústicas

#### Selección de Software de Modelado Acústico

- **Software especializado:** Para predecir cómo se propagará el ruido en y alrededor del aeropuerto, se utiliza software avanzado como el INM (Integrated Noise Model) o el AEDT (Aviation Environmental Design Tool). Estas herramientas permiten realizar simulaciones precisas basadas en múltiples variables.
- **Entrada de datos:** Los modelos acústicos requieren una gran cantidad de datos, como el tipo de aeronave, las rutas de vuelo, altitudes de despegue y aterrizaje, y distancias a las pistas. Esta información, que puede estimarse a partir de aeropuertos similares o de los planes operacionales del nuevo aeropuerto, es esencial para obtener simulaciones precisas.

#### Generación de Mapas de Ruido

- **Zonas de exposición al ruido:** El software genera mapas de ruido que visualizan los niveles sonoros estimados en distintas áreas del aeropuerto. Estos mapas, expresados en decibeles (dB), permiten identificar las zonas más afectadas y se utilizan curvas de ruido (isófonas) que muestran los límites de ruido aceptables según diferentes niveles de exposición.

- Simulaciones en diferentes condiciones: Se realizan simulaciones para diversos escenarios operativos, considerando variaciones en el número de vuelos y condiciones climáticas (viento, humedad, etc.), para tener un panorama completo de la variabilidad en los niveles de ruido.
- Comparación con aeropuertos existentes: Los resultados obtenidos se comparan con los niveles de ruido de aeropuertos similares en cuanto a tipo de aeronaves, ubicación y clima. Esta comparación ayuda a validar la precisión de las predicciones y a ajustar el modelo según sea necesario.

### iii. Diseño detallado de barreras acústicas

#### Ubicación Estratégica

- Áreas de mayor impacto: Las barreras acústicas deben colocarse en las zonas identificadas como las más afectadas en los mapas de ruido. Generalmente, estas áreas incluyen las cercanas a las pistas de aterrizaje y despegue, rutas de rodaje y zonas sensibles, como residencias o instalaciones educativas.
- Dirección del ruido: La ubicación de las barreras debe tener en cuenta la dirección predominante del ruido, que depende de los patrones de despegue y aterrizaje. Los aviones suelen generar más ruido durante el despegue debido al incremento en la potencia de los motores.

#### Dimensiones Óptimas de las Barreras

- Altura de las barreras: La altura adecuada se determina analizando la línea de visión entre la fuente del ruido (aeronave) y el receptor (población o infraestructura sensible). Las barreras efectivas bloquean la línea directa del sonido, obligando al ruido a desviarse.
- Longitud y extensión: Las barreras deben ser lo suficientemente largas para cubrir completamente las áreas afectadas, evitando que el ruido se disperse por los extremos y pierda eficacia.

#### Materiales de las Barreras Acústicas

- Materiales absorbentes: Estos materiales están diseñados para reducir el nivel de ruido al absorber las ondas sonoras en lugar de reflejarlas. Los materiales comunes incluyen fibras minerales o barreras porosas, que pueden reducir significativamente la cantidad de ruido que se propaga.
- Materiales reflectivos: En algunos casos, se utilizan materiales reflectivos, como concreto o metal, que desvían las ondas sonoras lejos de las áreas sensibles. Estos deben ser colocados estratégicamente para evitar que el ruido se concentre en otras zonas.

#### Consideraciones Aerodinámicas

- Seguridad operacional: Las barreras no deben interferir con la seguridad aeronáutica. Se deben respetar las restricciones en cuanto a la altura y ubicación para evitar problemas con la operación de las aeronaves, como interferencias con los sistemas de navegación o posibles riesgos para las maniobras durante el despegue y aterrizaje.
- Resistencia estructural: Las barreras deben ser diseñadas para resistir fuertes vientos y otras condiciones climáticas adversas, especialmente en áreas abiertas como aeropuertos.

### iv. Integración de Barreras Acústicas con el Entorno

#### Infraestructura Verde y Natural

- Montículos de tierra y vegetación: En algunos aeropuertos, se construyen montículos de tierra cubiertos de vegetación que actúan como barreras naturales. Estos "montículos verdes" tienen la ventaja de ser estéticamente agradables y ofrecer un hábitat para la vida silvestre local.
- Áreas verdes adicionales: La inclusión de zonas verdes con árboles y arbustos cerca de las áreas operativas ayuda a dispersar las ondas sonoras, reduciendo el impacto acústico de manera más armoniosa y ecológica.

#### Ajustes Estéticos y Comunitarios

- Minimización del impacto visual: las barreras acústicas se diseñan de manera que se integren en el paisaje circundante, utilizando revestimientos estéticos o vegetación para hacerlas más agradables visualmente.
- Diálogo con la comunidad: Es fundamental involucrar a las comunidades locales en el proceso de planificación, para que comprendan los beneficios de las barreras acústicas y puedan aportar sugerencias sobre cómo integrarlas mejor en el entorno.

#### v. Cumplimiento Normativo y Estándares Internacionales

##### Regulación Local

- Normas de ruido: Los aeropuertos deben cumplir con normativas específicas sobre los niveles de ruido permitidos, especialmente en áreas urbanas y residenciales. Esto incluye la realización de estudios de impacto ambiental que analicen el ruido y las medidas de mitigación necesarias.
  - I. Norma de Emisión de Ruido Generados por Fuentes Fijas - Decreto Supremo N°38/2011 del Ministerio del Medio Ambiente.
  - II. Norma de Emisión de Ruido para Buses de Locomoción Colectiva Urbana y Rural – Decreto Supremo N°129/2001 del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones.
  - III. Norma de Emisión de Ruido para Vehículos Livianos, Medianos y Motocicletas – Decreto Supremo N°7/2015 del Ministerio del Medio Ambiente.
  - IV. Artículos 4.1.5, 4.1.6, 4.1.12, 4.5.4, 4.12.2, 4.14.6, 5.8.3 y 5.84 de la O.G.U.C
  - V. Ordenanzas Municipales.
  - VI. Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

##### Estándares y Directrices Internacionales

- **Organización de Aviación Civil Internacional (OACI):** El ruido de las aeronaves es la principal causa de las reacciones adversas de las comunidades en torno a los aeropuertos, y se espera que esto continúe en el futuro. Para la OACI, reducir el número de personas afectadas por este ruido es una prioridad y un objetivo ambiental clave. La política principal de la OACI en este tema es el "Enfoque equilibrado para la gestión del ruido de las aeronaves". Este enfoque implica identificar problemas específicos de ruido en cada aeropuerto y evaluar medidas disponibles para reducirlo, clasificadas en cuatro elementos principales, con el fin de maximizar el beneficio ambiental de manera rentable y objetiva.

Sus recomendaciones son adoptadas por la mayoría de los países y abarcan:

- i. Anexo 16 – Protección Ambiental: Volumen I y II
  - Volumen I – Emisiones de Ruido: Define los niveles máximos de ruido permitidos para diferentes tipos de aeronaves durante el despegue, aterrizaje y sobrevuelo. Las aeronaves deben cumplir con estas limitaciones para ser certificadas.

- Volumen II – Restricciones de Operación: Proporciona orientación sobre las restricciones operativas relacionadas con el ruido que pueden imponer los aeropuertos, como la prohibición de ciertos tipos de aviones ruidosos o la implementación de restricciones horarias.
- ii. **Balanced Approach (Enfoque Equilibrado):**
  - La OACI recomienda un enfoque equilibrado para la gestión del ruido que incluye cuatro elementos principales:
    - a) Reducción del ruido en la fuente: Las disposiciones sobre ruido aparecen en el Anexo 16, Volumen I del Convenio sobre Aviación Civil Internacional. El objetivo principal de la certificación de ruido es garantizar que se incorpore la última tecnología disponible de reducción de ruido en el diseño de las aeronaves y que esto se demuestre mediante procedimientos que sean relevantes para las operaciones diarias. Esto tiene como objetivo garantizar que las reducciones de ruido que ofrece la tecnología se reflejen en reducciones en los alrededores de los aeropuertos.
    - b) Planificación y gestión del uso del suelo: Busca reducir la población afectada por el ruido de las aeronaves a través de la zonificación. Su objetivo es evitar que el desarrollo residencial anule las mejoras logradas con la reducción del ruido en nuevas generaciones de aeronaves.

La OACI recomienda medidas como ubicar aeropuertos lejos de zonas sensibles, integrar la planificación del uso del suelo en nuevas construcciones y desarrollos aeroportuarios, y definir zonas con diferentes niveles de ruido para establecer usos adecuados de las tierras. También sugiere leyes y guías para asegurar el cumplimiento de estos criterios y mantener informada a la comunidad.

- c) Procedimientos operacionales más silenciosos: Los procedimientos operativos para reducir el ruido se enfocan en minimizar el impacto del ruido de las aeronaves durante las operaciones diarias, manteniendo siempre la seguridad. La OACI apoya el desarrollo de procedimientos estandarizados y eficientes, como rutas y pistas preferenciales y procedimientos específicos para despegues y aterrizajes, adaptados a cada aeropuerto según su entorno.

Las principales guías de la OACI incluyen:

- Doc 8168 (PANS-OPS), que cubre pistas y rutas preferenciales, umbrales desplazados y procedimientos operativos para reducir el ruido en despegues y aterrizajes.
  - Doc 9931 y Doc 9993, que ofrecen orientación sobre operaciones de descenso y ascenso continuos (CDO y CCO), beneficiosos tanto en ruido como en emisiones.
  - Doc 9888, que revisa investigaciones y encuestas sobre medidas de reducción de ruido.
  - Doc 10031, que proporciona directrices para evaluar el impacto ambiental de cambios operacionales en la gestión del tránsito aéreo.
- d) Restricciones operacionales: se aplican para limitar el impacto del ruido de ciertas aeronaves en aeropuertos sensibles. Sin embargo, estas restricciones pueden afectar económicamente a las aerolíneas, especialmente a aquellas que operan en los aeropuertos afectados.

Si se imponen restricciones, estas deben basarse en el rendimiento acústico de la aeronave y adaptarse a la situación específica del aeropuerto, considerando las circunstancias de los operadores de países en desarrollo.

Además de la eliminación progresiva de aeronaves, existen otras posibles restricciones como toques de queda, limitaciones nocturnas, cuotas de ruido, límites de operación, reglas de no adición y restricciones relacionadas con la naturaleza del vuelo. Estos mecanismos están detallados en el Doc 9829 de la OACI sobre el enfoque equilibrado para la gestión del ruido de las aeronaves.

- Normas Europeas y la Directiva END: En la Unión Europea, la gestión del ruido aeroportuario está regulada por la Directiva 2002/49/CE sobre la evaluación y gestión del ruido ambiental, conocida como Directiva END (Environmental Noise Directive). Los aspectos relevantes incluyen:
  - i. Planes de Acción contra el Ruido: Los aeropuertos con más de 50.000 movimientos de aeronaves anuales (tanto despegues como aterrizajes) deben elaborar planes de acción para gestionar y reducir el ruido. Estos planes incluyen la implementación de barreras acústicas y la promoción de procedimientos de vuelo menos ruidosos.
  - ii. Mapas de Ruido Estratégicos: Se deben elaborar mapas de ruido estratégicos cada 5 años para evaluar la exposición al ruido de las poblaciones cercanas a los aeropuertos. Estos mapas se utilizan para informar las políticas y decisiones sobre la gestión del ruido.
  - iii. Umbrales de Exposición: La Directiva introduce los indicadores de ruido Lden (Nivel Día-Tarde-Noche) y Lnight (Nivel Nocturno) como métricas estándar para medir y evaluar el ruido ambiental. Estos indicadores ayudan a evaluar el impacto del ruido en el bienestar y la salud de las personas, específicamente las molestias generales y las alteraciones del sueño.
- Normativas de la FAA en Estados Unidos: Las normativas Part 150 y Part 161 de la FAA (Federal Aviation Administration) de Estados Unidos están diseñadas para regular el control del ruido en los aeropuertos, proporcionando un marco legal y técnico para mitigar los efectos del ruido en las comunidades cercanas a los aeropuertos.
  - i. Reglamento Part 150: Es una normativa clave que proporciona un marco para que los aeropuertos desarrollen planes de compatibilidad de ruido con las comunidades circundantes. Su objetivo es reducir los conflictos entre las operaciones aeroportuarias y los usos del suelo cercanos, especialmente en áreas residenciales afectadas por el ruido de los aviones. Este reglamento es voluntario para los aeropuertos, pero ofrece incentivos para los que lo adoptan, como la posibilidad de recibir financiamiento federal.

Los principales componentes son:

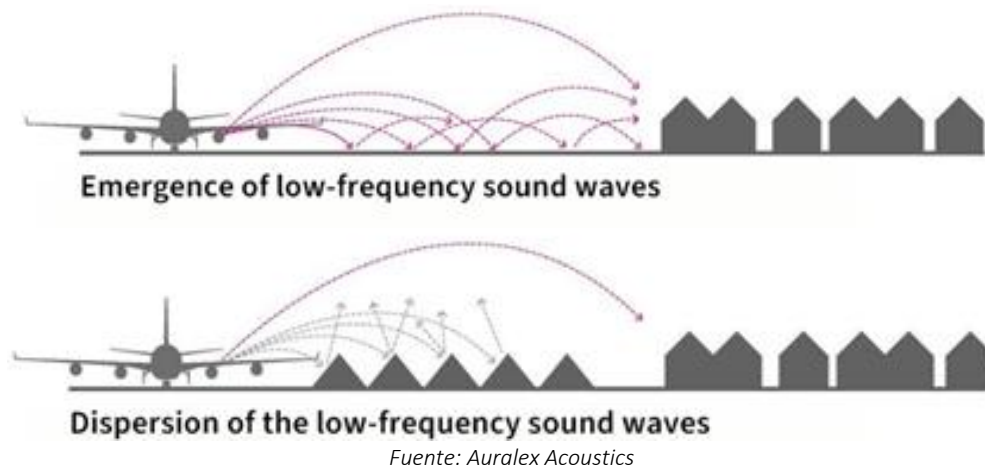
- Planes de compatibilidad de ruido (NCP): identifican medidas para reducir los niveles de ruido en áreas residenciales y otras áreas sensibles. Estos planes deben ser aprobados por la FAA y basarse en estudios detallados de contornos de ruido, que son mapas que muestran las áreas afectadas por diferentes niveles de ruido.
- Mapas de exposición al ruido: identifican las áreas más afectadas por el ruido. Se deben usar mediciones estandarizadas del ruido, como los decibeles promedio ponderados anuales (DNL - Day-Night Average Sound Level), para representar el impacto del ruido de manera clara y comprensible.
- Medidas de mitigación: los NCP deben incluir propuestas específicas de mitigación, como la insonorización de edificios, restricciones operacionales, cambios en las rutas de vuelo, o la compra de propiedades afectadas. Las medidas pueden ser operacionales (cambios en las rutas de vuelo), tecnológicas (uso de aeronaves más silenciosas), o estructurales (insonorización de edificios).
- Incentivos financieros: si un aeropuerto implementa un plan NCP aprobado por la FAA, puede recibir financiamiento del Airport Improvement Program (AIP) para ayudar a cubrir los costos de las medidas de mitigación.

- ii. Reglamento Part 161: Regula la implementación de restricciones de acceso de aeronaves relacionadas con el ruido en los aeropuertos. Esta normativa se enfoca principalmente en las restricciones sobre el uso de aeronaves más ruidosas y en las limitaciones operativas que los aeropuertos pueden imponer para reducir el impacto del ruido.

Los principales componentes son:

- Restricciones de acceso: estas restricciones pueden incluir prohibiciones o limitaciones en el uso de aeronaves ruidosas. Las restricciones pueden ser permanentes o temporales y pueden aplicarse a horarios específicos, a categorías de aeronaves, o a otras características operativas.
- Proceso de notificación y aprobación:
  - Cualquier restricción de ruido propuesta debe ser notificada y aprobada por la FAA antes de su implementación.
  - Los aeropuertos deben llevar a cabo estudios detallados que incluyan una evaluación del impacto económico y del ruido de las restricciones propuestas.
  - Las propuestas deben ser sometidas a un proceso de consulta pública, permitiendo la participación de aerolíneas, operadores de aeronaves, y comunidades locales.
  - La FAA tiene la autoridad de aprobar o rechazar las restricciones propuestas, y su evaluación se basa en el análisis del impacto del ruido, la viabilidad de las restricciones, y las posibles repercusiones económicas y operativas.
- Exenciones: las restricciones impuestas antes de 1990 están generalmente exentas del proceso de la Parte 161.
- Impacto económico: las restricciones que causan una disminución significativa en las operaciones de un aeropuerto pueden ser rechazadas si la FAA determina que el impacto económico supera los beneficios ambientales.

Figura 6-24: Principio de funcionamiento de barreras acústicas en Schiphol, Países Bajos



#### 6.4.4.8 PROPUESTA DE REQUERIMIENTO VOLUNTARIO: SISTEMAS DE ENMASCARAMIENTO DE RUIDO

##### Objetivo:

Mejorar el confort acústico en recintos de alta densidad ocupacional (como salas de espera y salas de embarque) mediante la implementación de sistemas de enmascaramiento sonoro, con el fin de reducir el estrés acústico y mejorar la privacidad y el bienestar de los ocupantes.

### Indicadores:

Nivel de decibeles (dB) mediante simulación en las áreas antes y después de la implementación del sistema de enmascaramiento.

### Metodología técnica para análisis y cálculo:

- Simulaciones de ruido ambiental en áreas específicas antes y después de la implementación.
- Ajustes de volumen y frecuencia de la música ambiental para optimizar el enmascaramiento del ruido.

### Valores de Referencia:

Nivel de ruido general reducido en al menos un 15% en las áreas tratadas.

### Escala de Niveles:

- Aceptable: Inclusión de programa de uso de música ambiental suave en áreas de espera dentro de la memoria del proyecto o diseño de fuentes de agua que generen ruido blanco para enmascarar ruido.
- Bueno: Implementación de sistemas de enmascaramiento de ruido con control de volumen ajustable dentro de la memoria del proyecto.
- Muy Bueno: Integración de sistemas inteligentes de enmascaramiento de sonido que adapten la música en tiempo real dentro de la memoria del proyecto.
- Sobresaliente: Uso de tecnologías avanzadas de enmascaramiento y cancelación activa de ruido en áreas designadas dentro de la memoria del proyecto.

### Requerimientos y condiciones de evaluación:

Los sistemas de enmascaramiento de ruido deben ser capaces de ajustar el volumen y la frecuencia del sonido en tiempo real para optimizar la reducción del ruido ambiental. Estos sistemas deben integrarse de manera efectiva en las áreas designadas, tales como salas de espera y salas de embarque, asegurando una reducción notable del ruido ambiental. La implementación debe basarse en simulaciones acústicas detalladas durante la etapa de diseño, garantizando que el sistema cumpla con los objetivos de reducción de ruido establecidos. Toda la planificación y simulación deben ser documentadas para asegurar que el sistema propuesto cumpla con los estándares de sostenibilidad y confort acústico requeridos.

#### 6.4.4.9 PROPUESTA DE REQUERIMIENTO OBLIGATORIO: INCLUSIÓN DE ESPECIALISTA ACÚSTICO DESDE EL INICIO DE ANTEPROYECTO DE DISEÑO PARA PROYECTOS DE CLASE C O MAYOR.

Este requerimiento se propone en base a que los grandes aeropuertos modernos poseen arquitecturas modernas que incorporan materiales y elementos autóctonos en su diseño, lo que introduce complejidades tanto en la manera como se propaga el sonido como en el cálculo de aislación acústica debido a las formas irregulares de la arquitectura. Junto a lo anterior, los grandes terminales también cuentan con estructuras abiertas, techos elevados y superficies duras y reflectantes las que presentan condiciones especiales para gestionar el control del ruido, lo que hace necesario realizar simulaciones y modelaciones del comportamiento del sonido en estos entornos. Sin este tipo de análisis, es probable que el ruido se propague de manera irregular, afectando tanto a los usuarios como al funcionamiento de los sistemas de megafonía del aeropuerto.

La inclusión de un especialista acústico desde las primeras etapas del diseño de terminales aeroportuarios es importante para garantizar un ambiente acústicamente confortable.

Contar con un proyectista acústico desde el inicio del diseño permite mejorar la comodidad en las salas de espera, las áreas de embarque y los espacios comunes, incluyendo su experiencia en la toma de decisiones respecto a los materiales utilizados en el interior de ese tipo de recintos.

**Objetivo:**

Garantizar un ambiente acústicamente confortable en los terminales aeroportuarios considerando un especialista acústico desde las primeras etapas del diseño hasta su operación final.

**Requerimientos y condiciones de evaluación:**

Todo proyecto aeroportuario con clase de envergadura C o con operaciones de carácter militar debe contar con un especialista acústico calificado desde el inicio del diseño del proyecto. Este profesional será responsable de diseñar, asesorar y supervisar todas las etapas del proyecto con relación a la eficiencia acústica.

El especialista acústico debe contar con una certificación en el ámbito, tal como un título de Ingeniero Acústico, Ingeniero en Sonido, o una certificación profesional en acústica otorgada por una institución acreditada. El especialista debe poseer al menos 3 años de experiencia o 3 proyectos de envergadura similar en proyectos de construcción sustentable que hayan obtenido certificaciones de sustentabilidad con componentes acústicos.

El especialista debe realizar simulaciones de ruido ambiental y aislamiento acústico antes de la ocupación del edificio, asegurando que se cumplen los niveles de ruido especificados en los estándares de certificación. Para realizar estas simulaciones, se recomienda el uso de softwares especializados como ODEON, CadnaA, SoundPLAN, INSUL o similar.

Las estrategias específicas de mitigación de ruido, identificadas durante las simulaciones, deben ser implementadas durante la construcción y operación del edificio. Estas estrategias pueden incluir el diseño de barreras acústicas, la selección de materiales de construcción con propiedades de aislamiento acústico y el diseño de la distribución espacial interna para minimizar la propagación del ruido.

Se debe mantener una documentación completa de todas las simulaciones, estrategias de mitigación implementadas y resultados de las validaciones acústicas. Esta documentación debe formar parte del informe final del proyecto para su evaluación y certificación.

6.4.4.10 PROPUESTA DE REQUERIMIENTO VOLUNTARIO: JARDINES Y PARQUES INTERIORES PARA CONTROL ACÚSTICO Y ENRIQUECIMIENTO CULTURAL

**Objetivo:**

Garantizar un ambiente acústicamente confortable y, estética y culturalmente enriquecido en los terminales aeroportuarios. Mediante la inclusión de jardines y/o parques interiores que incorporen elementos de absorción acústica. Estos elementos deben representar la cultura, costumbres o ecosistemas autóctonos de la zona donde se emplaza el aeropuerto.

**Indicadores:**

Superficie (m<sup>2</sup>) o volumen (m<sup>3</sup>) ocupado por jardines y parques interiores, tipos de especies vegetales utilizadas en jardines y parques interiores, capacidad de absorción sonora de plantas seleccionadas, nivel de reducción sonora (dB) en espacios de tráfico común.

**Ámbito:**

Espacios comunes de alto tráfico.

## Requerimientos:

En Chile, los aeropuertos se diseñan con criterios culturales que se reflejan en diversos aspectos de su arquitectura y funcionamiento. Según los proyectos revisados la incorporación de elementos culturales se observa en el diseño arquitectónico, que muchas veces incluye referencias a la historia y tradiciones locales. Las protecciones solares y las soluciones de sombreado suelen estar inspiradas en técnicas y materiales tradicionales de la región, mientras que los estacionamientos y áreas exteriores pueden incluir referencias visuales a paisajes y formas naturales autóctonas.

Por este motivo y para seguir fomentado dicha práctica se propone este requerimiento voluntario en que los proyectos aeroportuarios incluyan jardines y/o parques interiores. Estos espacios deben diseñarse con plantas endémicas de la zona que posean una alta capacidad de absorción sonora. La disposición de esta vegetación debe ser estratégica, ubicándose en áreas comunes y de alto tráfico para maximizar la absorción del ruido.

También se pueden incluir fuentes de agua las que proporcionarán un sonido constante y relajante, que ayudará a enmascarar el ruido ambiental. Se recomienda ubicarlas en zonas de espera y pasillos largos para mejorar tanto la experiencia acústica como la visual de los pasajeros.

Otro componente por considerar son las esculturas y decoraciones hechas de materiales absorbentes. Se deben utilizar materiales con propiedades acústicas como rocas porosas, espuma de melamina, paneles de madera perforada, textiles gruesos y alfombras. Las esculturas y decoraciones deben reflejar la cultura y los ecosistemas autóctonos de la región. Por ejemplo, esculturas de madera o roca porosa, murales de lana o paneles decorativos inspirados en la flora y fauna que representen a las culturas originarias chilenas como lo son mapuche, diaguita, rapanui, picunche, selk'nam, yagán, quechua entre otras.

## Condiciones de Evaluación:

Para el cumplimiento del requerimiento se deberá adoptar y respaldar mediante informes técnicos al menos una combinación de tres de estas estrategias (a) a k):

### I. Jardines y parques interiores

- a) Vegetación adaptada y absorbente: Se deben utilizar plantas endémicas de la región que cuenten con una capacidad de absorción sonora. Estas especies no solo embellecen el espacio, sino que contribuyen a mitigar el ruido ambiental de manera natural.
- b) Jardines ubicados de manera inclusiva en áreas comunes y de alto tránsito, donde su impacto estético y funcional pueda ser plenamente apreciado.
- c) Diseños que reflejan la cultura y las tradiciones de la comunidad local. Se pueden utilizar plantas autóctonas, estructuras inspiradas en el arte tradicional y elementos decorativos que evoquen la historia y costumbres de la región.

### II. Fuentes de agua

- d) Fuentes de agua instaladas en áreas de espera y pasillos largos, donde su sonido pueda contrarrestar el ruido ambiental de manera eficaz.
- e) Fuentes con sonido de agua armonioso que debe ser continuo y suave, creando una atmósfera sin ser intrusiva.
- f) Fuentes con materiales acústicos como piedra o cerámica en el diseño de las fuentes para amortiguar el sonido del agua.
- g) Fuentes que incorporar formas y decoraciones que se inspiren en patrones culturales, históricos o artísticos relevantes para la comunidad local.

### III. Esculturas y decoraciones

- h) Esculturas confeccionadas con materiales absorbentes como rocas porosas, espuma de melamina, paneles de madera perforada, textiles gruesos o alfombras.
- i) Obras que reflejan la historia, cultura o tradiciones de la zona, utilizando símbolos, formas y materiales que sean significativos para la comunidad local.
- j) Incorporación de elementos sonoros, como campanas de viento, que añadan una experiencia auditiva al espacio.
- k) Esculturas funcionales, como bancos o asientos integrados en su diseño, invitando a los visitantes a interactuar con el arte de manera más directa.

Además, para respaldar las estrategias adoptadas se deben considerar los siguientes antecedentes según corresponda:

- c) Informe técnico que certifique la capacidad de absorción sonora de las plantas seleccionadas.
- d) Fichas técnicas de plantas seleccionadas.
- e) Diagramas o planimetría que señala la ubicación estratégica de jardines, parques o fuentes de agua.
- f) Estudio que demuestre cómo las instalaciones mitigan el ruido ambiental y mejoran el confort acústico en áreas comunes de alto tráfico.
- g) Documentación que respalde la elección de materiales absorbentes para esculturas, decoraciones y fuentes de agua.
- h) Informe que justifique el uso de elementos culturales y autóctonos en el diseño de jardines y parques, fuentes de agua y esculturas. El informe debe detallar cómo estos elementos reflejan las tradiciones, cultura o ecosistemas locales, contribuyendo al valor estético del aeropuerto.
- i) Estudio que mida el impacto en la reducción del ruido ambiental. Debe incluir una comparación del nivel de ruido antes y después de la instalación de los elementos.
- j) Detalles del sistema de recirculación y bombeo de agua. Se debe asegurar que opere de forma eficiente y silenciosa.

#### 6.4.4.11 RESUMEN PROPUESTAS DE REQUERIMIENTOS

En la Tabla 6-118 se presenta un resumen de las propuestas de requerimientos relacionados con el confort acústico en aeroportuarios. Desde la aislación acústica solicitada para fachadas hasta la implementación de parques y/o jardines acústicos. Estos requerimientos incluyen niveles obligatorios y voluntarios.

Tabla 6-131: Resumen de propuestas de requerimientos

Requerimiento	Objetivo	Tipo	Niveles
Aislación acústica de fachadas	Disminuir el ruido que ingresa a través de elementos de fachada en áreas expuestas tanto a ruido vehicular como a tráfico aéreo.	Obligatorio y Voluntario	<u>Obligatorio. aislación mínima de fachada</u> Red primaria 40 dB Red Secundaria 30 dB Pequeños Aeródromos 25 dB <u>Voluntario</u> Bueno: Exceder en 5 dB el nivel requerido Muy Bueno: Exceder en 10 dB el nivel requerido
Aislación acústica de cubiertas	Disminuir el ruido que ingresa a través de elementos de cubiertas en áreas expuestas tanto a ruido vehicular como a tráfico aéreo.	Obligatorio y Voluntario	<u>Obligatorio. aislación mínima de cubierta</u> Red primaria 35 dB Red Secundaria 30 dB Pequeños Aeródromos 25 dB <u>Voluntario</u> Bueno: Exceder en 5 dB el nivel requerido Muy Bueno: Exceder en 10 dB el nivel requerido

Requerimiento	Objetivo	Tipo	Niveles
Aislamiento ruido aéreo e impacto entre recintos interiores	Proveer espacios acústicamente confortables mediante adecuada separación acústica entre diferentes recintos.	Voluntario	Muy Bueno: Excede en 10 dB(A) los requisitos Bueno: Excede en 5 dB(A) los requisitos Aceptable: Cumple con requisitos
Control de reverberación e inteligibilidad de la palabra	Proveer un ambiente adecuado para comunicación clara y audible en recintos cerrados.	Voluntario	Sin nivel, alcanzar los niveles de inteligibilidad propuestos.
Control del ruido y vibraciones provenientes de equipos	Proveer espacios confortables mediante control de ruido y vibraciones de instalaciones mecánicas.	Voluntario	Muy bueno: Simulación de ruido en software Bueno: Condiciones de instalación
Implementación de zonas de silencio	Crear áreas específicas con ambiente de bajo ruido para bienestar de pasajeros y accesibilidad universal.	Voluntario	Bueno: Un recinto de al menos 9 m <sup>2</sup> Muy Bueno: Dos recintos de al menos 9 m <sup>2</sup> cada uno
Instalación de barreras acústicas	Reducir propagación de ruido hacia áreas residenciales y hábitats de fauna.	Voluntario	Aceptable: Instalación de bermas de tierra con vegetación densa para reducir el ruido en 10 dB. Bueno: Construcción de barreras acústicas de materiales y/o vegetación absorbente para reducir el ruido en 15 dB. Muy Bueno: Combinación de bermas y barreras acústicas con materiales absorbente y/o vegetación absorbente de alta densidad y diseño especializado para reducir el ruido en 20 dB. Sobresaliente: Implementación de soluciones avanzadas como barreras acústicas dinámicas para reducir el ruido en más de 20 dB.
Sistemas de enmascaramiento de ruido	Mejorar confort acústico en recintos de alta ocupación mediante sistemas de enmascaramiento sonoro.	Voluntario	Aceptable: Inclusión de programa de uso de música ambiental suave en áreas de espera. Bueno: Implementación de sistemas de enmascaramiento de ruido con control de volumen ajustable. Muy Bueno: Integración de sistemas inteligentes de enmascaramiento de sonido que adapten la música en tiempo real. Sobresaliente: Uso de tecnologías avanzadas de enmascaramiento y cancelación activa de ruido en áreas designadas.
Inclusión de especialista acústico desde el inicio de anteproyecto de diseño	Garantizar un ambiente acústicamente confortable mediante la participación de un especialista acústico en todas las etapas del proyecto.	Obligatorio para proyectos de envergadura clase C o con operaciones militares	Sin nivel, contar con especialista con certificación y experiencia en proyectos similares.

Requerimiento	Objetivo	Tipo	Niveles
Jardines y parques interiores para control acústico y enriquecimiento cultural	Crear ambientes acústicamente confortables y culturalmente enriquecidos mediante jardines y parques interiores con elementos de absorción acústica.	Voluntario	Sin nivel, implementar jardines con plantas absorbentes de ruido, o incorporación de elementos culturales y naturales con alta capacidad de absorción sonora.

Fuente: Elaboración propia

#### 6.4.4.12 RELACIÓN DE CRITERIOS PROPUESTOS CON ODS

En la Tabla 6-132 se puede observar la relación que poseen los distintos requerimientos propuestos con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la agenda 2030. En esta misma se indica cómo las diversas estrategias propuestas permiten mejorar el confort acústico en los aeropuertos y promover prácticas sostenibles.

Los requisitos propuestos contribuyen a la reducción del impacto ambiental del ruido (meta 11.6), el fomento de prácticas responsables (meta 12.2). Con relación a las áreas de confort acústico, los requerimientos enfatizan el uso de materiales de alta absorción acústica y la implementación de sistemas de aislamiento eficientes. Estos criterios, que tienen como objetivo la reducción del ruido ambiente y la mejora del confort acústico contribuyendo al cumplimiento de las metas de los ODS relacionadas con la salud y el bienestar (meta 3.9).

Tabla 6-132: Requerimientos propuestos y ODS asociados

Requerimiento	Descripción respecto a ODS asociados
Aislamiento Acústico de Fachadas y divisiones interiores	Proveer de espacios acústicamente confortables para pasajeros y visitantes limitando el ruido que ingresa a través de elementos de fachada. Cumple con las metas 3.9 (salud y bienestar) y 11.6 (ciudades sostenibles y comunidades).
Aislamiento Acústico de Cubiertas	Proveer de espacios acústicamente confortables para pasajeros y visitantes limitando el ruido que ingresa a través de elementos de fachada. Cumple con las metas 3.9 (salud y bienestar) y 11.6 (ciudades sostenibles y comunidades).
Control de Reverberación e Inteligibilidad de la Palabra	Mejorar la calidad del sonido y la inteligibilidad de la palabra en espacios cerrados, especialmente donde se instalen sistemas de PA/VA. Contribuye a la meta 3.9 (salud y bienestar).
Control del Ruido y Vibraciones de Equipos	Reducir el ruido proveniente de instalaciones mecánicas y equipos, asegurando un ambiente confortable. Apoya la meta 3.9 (salud).
Zonas de Silencio	Crear áreas específicas dentro del terminal con bajo nivel de ruido, promoviendo el bienestar de los pasajeros y mejorando la accesibilidad universal. Relacionado con las metas 3.9 (salud) y 10.2 (reducir desigualdad).
Barreras Acústicas	Implementar barreras acústicas para reducir la propagación del ruido hacia áreas residenciales y hábitats de fauna. Contribuye a las metas 11.6 (ciudades sostenibles) y 15.1 (conservación de ecosistemas terrestres).
Sistemas de Enmascaramiento de Ruido	Mejorar el confort acústico mediante sistemas de enmascaramiento sonoro en áreas de alta densidad ocupacional. Apoya la meta 3.9 (salud).
Especialista Acústico en Proyectos	Incluir un especialista acústico desde las primeras etapas de diseño en proyectos aeroportuarios para garantizar la eficiencia acústica. Contribuye a las metas 9.4 (infraestructura sostenible) y 12.2 (uso eficiente de recursos).
Jardines y Parques Interiores	Incorporar jardines y parques interiores que mejoren el confort acústico y reflejen la cultura local. Relacionado con las metas 11.7 (espacios verdes y públicos), 15.3 (lucha contra la desertificación) y 15.5 (conservación de la biodiversidad)

Fuente: Elaboración propia

## 7 CONCLUSIONES

En las primeras cuatro etapas del estudio liderado por la Dirección de Aeropuertos del Ministerio de Obras Públicas, aborda la necesidad de adaptar los estándares de sostenibilidad de la Certificación de Edificio Sustentable (CES) a las características particulares de los aeropuertos chilenos, considerando factores como eficiencia energética, gestión del agua y control acústico. La infraestructura aeroportuaria plantea desafíos únicos que no son totalmente cubiertos por las certificaciones convencionales, como CES v1.1, LEED o BREEAM, debido a su configuración espacial y la magnitud de sus operaciones.

El diagnóstico inicial identificó que la infraestructura aeroportuaria en Chile presenta brechas importantes respecto a los estándares de sostenibilidad definidos en el sistema de CES, especialmente en las áreas de eficiencia energética y gestión del agua. Este análisis inicial resultó crucial para comprender las condiciones actuales y necesidades particulares de cada aeropuerto, lo que facilitó una evaluación detallada de los aspectos operacionales y arquitectónicos.

A lo largo de estas etapas, las metodologías de investigación incluyeron un enfoque integral de análisis comparativo y simulación, así como un profundo estudio de casos internacionales. La revisión bibliográfica inicial proporcionó una base teórica sólida sobre los estándares de sostenibilidad a nivel global, como los establecidos por certificaciones como LEED, BREEAM y ENVISION, entre otras.

La propuesta en el área de eficiencia energética se centró en encontrar parámetros, ganancias internas estandarizadas y horarios de ocupación que fueron utilizados para proponer rangos de mejoras porcentuales para el rendimiento térmico de los edificios mediante la mejora de la envolvente térmica, el uso de materiales de alta eficiencia y la implementación de sistemas de climatización pasiva. Para fundamentar esta propuesta, el estudio empleó metodologías avanzadas de simulación, realizando más de 2.000 pruebas en distintos modelos energéticos. Estas simulaciones permitieron analizar los efectos de diferentes estrategias de eficiencia energética y diseñar rangos de mejora mediante técnicas estadísticas. Las propuestas de rangos permitirán a los aeropuertos ajustar de mejor manera su diseño en busca de un menor consumo de energía y aumentar el confort térmico de sus ocupantes.

Las propuestas de requerimientos para la optimización del consumo hídrico plantean estrategias para reducir el uso de agua potable mediante la instalación de artefactos de bajo consumo, la reutilización de aguas grises y la captación de aguas pluviales. Estas iniciativas buscan hacer que los aeropuertos chilenos sean menos dependientes de fuentes externas de agua, lo cual resulta particularmente relevante en zonas del norte del país. La metodología aplicada para esta propuesta consistió en analizar casos de éxito en otros aeropuertos internacionales que ya han implementado tecnologías de recolección de aguas pluviales y reutilización de aguas grises. Las referencias internacionales ofrecieron ejemplos sobre cómo la infraestructura aeroportuaria puede integrar sistemas de gestión hídrica avanzada, reduciendo su impacto en los recursos locales y asegurando una mayor sostenibilidad en zonas con limitaciones hídricas.

Las propuestas realizadas en el ámbito de consumo hídrico fomentan soluciones innovadoras como la reutilización de aguas grises y pluviales, el uso de tecnologías avanzadas para tratamiento y recolección, y la promoción de sistemas de riego eficientes y paisajismo xerófilo. Estas medidas no solo apuntan a una significativa reducción del consumo de agua potable, sino también a una gestión más sostenible y adaptable a las características climáticas locales, promoviendo la eficiencia y la resiliencia en proyectos aeroportuarios.

Para el control acústico, se propuso una serie de requerimientos orientados a mitigar el ruido tanto en el interior de las terminales como en las áreas circundantes. La propuesta en esta área se basó en el análisis de soluciones acústicas avanzadas, como el uso de materiales de aislamiento en fachadas y cubiertas, y la creación de “salas de silencio” dentro de las terminales, espacios diseñados para ofrecer un ambiente de tranquilidad para los pasajeros y el personal del aeropuerto, en especial para quienes tienen necesidades sensoriales específicas. El desarrollo de esta propuesta se sustentó en estudios acústicos de casos internacionales y en simulaciones de aislamiento, complementados por inspecciones en terreno en aeropuertos de la región de Aysén, donde se evaluaron los niveles de ruido y sus posibles soluciones de mitigación. El uso de elementos naturales como barreras acústicas, como jardines interiores y vegetación, también se identificó como una estrategia efectiva no solo para controlar el ruido, sino para mejorar la estética de los aeropuertos y aportar a la biodiversidad local.

Para promover el confort acústico se plantea una combinación de medidas obligatorias y voluntarias que incluyen mejoramiento de aislación en fachadas y cubiertas, creación de áreas de silencio, y el diseño de jardines acústicos que combinan funcionalidad con estética. Estas medidas, junto al control de ruido y vibraciones provenientes de equipos y el uso de barreras acústicas avanzadas reflejan un enfoque hacia el bienestar de los usuarios y la mitigación del impacto ambiental en las comunidades cercanas.

En conclusión, este informe representa un avance hacia el diseño y construcción de una infraestructura aeroportuaria más sostenible en Chile, adaptada a las particularidades del país y alineada con los compromisos nacionales como también internacionales en temas de sostenibilidad. Las propuestas de requerimientos y créditos en eficiencia energética, gestión hídrica y control acústico se fundamentan en análisis y metodologías rigurosas.