



Nicole Silva Vásquez

Optimización del nivel de sostenibilidad de  
un edificio residencial multifamiliar mediante  
la metodología SBTTool<sup>PT</sup>-H

Universidade do Minho  
Escola de Engenharia







Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Nicole Silva Vásquez

Optimización del nivel de sostenibilidad de  
un edificio residencial multifamiliar mediante  
la metodología SBTool<sup>PT</sup>-H

Dissertação de Mestrado  
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao  
Grau de Mestre em Engenharia Civil

Trabalho efectuado sob a orientação de  
Professor Doutor Ricardo Mateus  
Professor Omar Sanchez

## **AGRADECIMENTOS**

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por darme esta oportunidad, por guiarme y fortalecerme en todo momento.

También quiero darles las gracias a mis padres que fueron mi apoyo incondicional y mi motivación para cumplir este logro, gracias por estar siempre presentes, por sus enseñanzas y amor.

A mis hermanos, por apoyarme a la distancia y siempre llenarme de fuerzas y buenos deseos.

A mi novio, por incentivarne a seguir adelante, por motivarme, apoyarme, acompañarme, por el amor y la comprensión permanente.

A mis orientadores Sr. Profesor Ricardo Mateus y Sr. Profesor Omar Sánchez, por su disponibilidad, conocimiento y apoyo en la elaboración de este trabajo.

Al Sr. Ingeniero Fernando Moura por la información facilitada del proyecto, por su atención y consejos.

Gracias a todas y cada una de las personas que hicieron esto posible.



## RESUMEN

La sostenibilidad en la construcción y operación de edificaciones tiene como objetivo la reducción de los impactos ambientales y la utilización de recursos, así como la maximización de la utilidad y el retorno de inversión en el sector de la construcción. El propósito de este informe es optimizar el nivel de sostenibilidad de un edificio residencial multifamiliar en Portugal a través de la metodología SBTTool<sup>PT</sup>-H. Esta metodología, es el resultado del trabajo desarrollado en la Universidad de Minho y el iiSBE Portugal, y su propósito fue desarrollar una metodología genérica para evaluar la sostenibilidad de un edificio nuevo, existente o renovado en zonas urbanas en Portugal, teniendo en cuenta las tres dimensiones de la sostenibilidad: ambiental, social y económica. Así mismo, esta metodología evalúa 25 parámetros asociados a los factores más relevantes que pueden afectar el medio ambiente y la salud humana, y está dividida en las siguientes nueve categorías: C1 - Cambio climático y calidad del aire interior; C2 - Uso del suelo y biodiversidad; C3 – Eficiencia energética; C4 – Materiales y gestión de residuos; C5 – Eficiencia del agua; C6 – Confort y salud de los ocupantes; C7 – Accesibilidad; C8 – Educación y sensibilidad de la sostenibilidad; y C9 – Costos del ciclo de vida. El puntaje final de la sostenibilidad depende de la comparación del caso de estudio con la mejor práctica y la práctica convencional en cada uno de los parámetros evaluados. Adicionalmente, esta metodología, está dividida en cuatro fases que son la cuantificación del desempeño del edificio a nivel de cada indicador, la normalización de los parámetros, la agregación de los parámetros y el cálculo del puntaje final de sostenibilidad. Este trabajo presenta la evaluación y la optimización de la sostenibilidad de un edificio mediante la metodología SBTTool<sup>PT</sup>-H, implementando mejoras en los parámetros más relevantes en el desempeño del edificio en estudio, que, como resultado, fueron los parámetros relacionados con el agua, la energía y los costos. Finalmente, en la fase de optimización se incorporaron paneles solares fotovoltaicos y un sistema SAAP, que consiguieron que el edificio pasara de un nivel de sostenibilidad de 0.28 a 0.48, y a nivel cualitativo subiera de una clase C a una clase B.

Palabras clave: Sostenibilidad, Optimización, SBTTool<sup>PT</sup>-H



## ABSTRACT

Sustainability in building construction and operation aims at minimization of environmental impacts and resources utilization as well as maximization of utility and investment returns in the building sector. The purpose of this paper is to optimize the level of sustainability of a Multi-Dwelling building in Portugal through the SBTTool<sup>PT</sup>-H methodology. The SBTTool<sup>PT</sup>-H methodology is the result of the work developed in the University of Minho and the iiSBE Portugal, and its purpose was to develop a generic methodology to assess the sustainability of new, existence and renovated buildings in urban areas in Portugal, taking into account three dimensions: environmental, social, and economic. Furthermore, this methodology assesses 25 parameters associated with the most important factors that may affect the natural environment or human health and they are divided in nine sustainability categories: C1 – Climate change and outdoor air quality; C2 – Land use and biodiversity; C3 – Energy Efficiency; C4 – Materials and waste management; C5 – Water efficiency; C6 – Occupant’s health and comfort; C7 – Accessibilities; C8 – Education and awareness of sustainability; and C9 – Life-cycle costs. The final score of sustainability depends on the comparison of the case study with the best practice and the conventional practice in each one of the parameters that are assessed. In addition, this methodology is divided into four steps that are the quantification of performance of the building at the level of each indicator, the normalization of parameters, the aggregation of parameters and the sustainable score calculation and global assessment. This paper presents the assessment and optimization of the sustainability of a building using the SBTTool<sup>PT</sup>-H methodology, implementing improvements alternatives in the most relevant aspects of the case building’s performance, and, as a result, were the parameters related to water resource, energy and costs. Finally, in the improvement phase, were incorporated photovoltaic panels and a SAAP system, that achieved increase the sustainable score of 0.28 to 0.48, and in a qualitative scale increase of Class C to Class B. (Balaban O, 2016); (Ricardo Mateus, 2011).

**Keywords:** Building sustainability assessment, Life-cycle, sustainability.





# ÍNDICE

AGRADECIMENTOS .....	iii
RESUMEN .....	v
ABSTRACT .....	vii
ÍNDICE.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xv
NOMENCLATURAS .....	xix
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Introducción .....	1
1.2 Objetivos.....	4
2 REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE.....	5
2.1 Construcción Sostenible .....	5
2.2 Metodologías de evaluación de la sostenibilidad de los Edificios.....	8
2.3 Medidas para mejorar la sostenibilidad de los edificios .....	20
3 METOLOGIA DE ESTUDIO .....	43
3.1 Fronteras de evaluación .....	43
3.2 Indicadores, Parámetros y Categorías.....	44
3.3 Proceso de evaluación.....	45
4 CASO DE ESTUDIO: Edificio Residencial Multifamiliar en Vila Nova de Gaia .....	49
4.1 Presentación del caso de estudio.....	49
4.2 Evaluación sostenible mediante la metodología SBTool <sup>PT</sup> -H .....	50
4.3 Optimización del Nivel de sostenibilidad del edificio.....	91
4.4 Comparación de los resultados obtenidos.....	117
4.5 Análisis costo vs. Beneficio .....	120
5 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS .....	125
5.1 Conclusiones.....	125
5.2 Trabajos futuros .....	127
6 REFERENCIAS .....	129
7 SITIOS WEB CONSULTADOS.....	133
8 ANEXOS.....	137
8.1 Anexo 1 – Parámetro 18 .....	137
8.2 Anexo 2 – Parámetro 8 .....	143
8.3 Anexo 3 – Parámetro 13 .....	148
8.1 Anexo 4 – Parámetro 14 .....	149
8.2 Anexo 5 – Parámetro 15 .....	154



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Pilares de la Construcción Sostenible. Adaptado de: (Mateus, 2009) .....	6
Figura 2 Categorías sistema de evaluación BREEAM. Adaptado de: (bre, 2017).....	10
Figura 3 Gráfica Categorías BREEAM ES Viviendas. Adaptado de: (Maceiras Pinilla and Calvo Orosa, 2016).....	11
Figura 4 Categorías sistema LEED. Tomado de: (U.S. Green Building Council, 2015). .....	13
Figura 5 Método de calificación LEED. Adaptado de: (Edificioverde, 2012).....	13
Figura 6 Categorías sistema SBTool Genérico. Adaptado de: (Larsson and Macias, 2012) ...	14
Figura 7 Ejemplo certificado SBTool Genérico. Tomado de: (Larsson and Macias, 2012) ....	15
Figura 8 Fachada Sur del edificio. Tomada de: (Courtesy and Smithgroup, 2007) .....	17
Figura 9 Izq. Sistema de aviso apertura de ventanas. Der. Paneles Solares Térmicos. Tomado de:(Griffith et al., 2005).....	18
Figura 10 Fachada Norte, donde se evidencia los reservorios para las aguas pluviales. Tomado de:(Griffith et al., 2005).....	19
Figura 11 Interior del Edificio. Tomada de: (Courtesy and Smithgroup, 2007) .....	20
Figura 12 Orientación bioclimática. Tomada de:(i-ambiente, 2015) .....	22
Figura 13 Ventana basculante. Tomado de: (Archiexpo, 2016).....	24
Figura 14 Edificio con Paneles solares fotovoltaicos en la fachada. Tomado de:(Energíasolar, 2018).....	26
Figura 15 Sistema Termosifón. Fuente:(Solius, 2015).....	26
Figura 16 Esquema hidráulico - Sistema Solar Forzado. Adaptado de:(Solius, 2015) .....	27
Figura 17 Bomba de calor geotérmica. Tomado de: (Vaillant, 2016).....	28
Figura 18 Izquierda: Sistema Tradicional, Centro: Sistema Subterráneo, Derecha: Sistema externo. Tomado de: (Vaillant, 2016) .....	28
Figura 19 Aerogeneradores edificio Bahrain World Trade Center. Tomado de de:(ciudadesdelfuturo, 2011).....	30
Figura 20 Rótulos Eficiencias Hídrica ANQIP. Tomado de:(ETA0803, 2014).....	31
Figura 21 Sistema de doble descarga. Tomado de: (LEROYMERLIN, 2017).....	32
Figura 22 Ducha termostática. Tomado de: (LEROYMERLIN, 2017) .....	32
Figura 23 Grifo con perilla de doble posición y Grifo con sistema de abertura central en agua fría. Fuente: (LEROYMERLIN, 2017) .....	33
Figura 24 SAAP Casero. Tomado de: (EcoInventos, 2017) .....	34
Figura 25 Sistema SAAP Complejo. Adaptado de: (LNÁGUAS, 2015).....	34

Figura 26 Malla de Plástico o metal instalada en el canal. Fuente:(Sacadura, 2011) .....	35
Figura 27 Caja First Flush. Tomado de: (Santos, 2015).....	36
Figura 28 Filtro de tubo de caída. Tomado de: (ecodepur, 2015) .....	37
Figura 29 Filtros industriales. Tomado de: (Santos, 2015) .....	38
Figura 30 Reservorio en Acero Galvanizado para riega. Tomado de: (Santos, 2015).....	39
Figura 31 Reservorio en PEAD. Tomado de: (goldenfibra, 2012).....	39
Figura 32 Bombas Sumergibles. Tomado de: (Santos, 2015) .....	40
Figura 33 Rain Water Controller para SAAP. Tomado de: (RainHarvest, 2011).....	41
Figura 34 Rótulo Certificado de Sostenibilidad SBTool <sup>PT</sup> -H. Tomado de: (Mateus, 2016)....	47
Figura 35 Localización Edificio en estudio .....	49
Figura 36 Modelo en Revit, Edificio en estudio.....	50
Figura 37 Planta de Localización y de Implantación .....	52
Figura 38 Clasificación del uso del suelo. Adaptado de: (PDM, 2009) .....	52
Figura 39 Vista en planta de los tipos de ventilación .....	65
Figura 40 Simulación Edificio Multifamiliar en DesignBuilder .....	67
Figura 41 Temperatura media exterior vs Temperatura operativa, sistema apagado .....	69
Figura 43 Gráfica del cielo visible .....	71
Figura 44 Distancia en metros hasta la parada de bus. Tomado de: (googlemaps, 2017).....	74
Figura 45 Número de servicios Línea 906. Tomado de: (STCP, 2012) .....	74
Figura 46 Gráfica del peso de los parámetros a nivel global.....	90
Figura 47 Incorporación de los paneles solares en la cubierta, Escenario 1 .....	94
Figura 48 Distribución del consumo de energía en un apartamento. Tomado de: (I.P and DGEG, 2011).....	95
Figura 49 Incorporación de paneles solares en la cubierta, Escenario 2 .....	97
Figura 50 Incorporación paneles solares en la cubierta, Escenario 3 .....	99
Figura 51 Área de captación para diseño del SAAP .....	102
Figura 52 Bomba SC409-C. Tomada de: (Ecodepur, 2012) .....	104
Figura 53 Reservorio en Polietileno de 50m <sup>3</sup> . Fuente: (Aquamatic, 2017).....	108
Figura 54 Reservorios de 5m <sup>3</sup> . Fuente:(Aquamatic, 2017).....	108
Figura 55 Incorporación de Reservorios en la edificación .....	109
Figura 56 Adoquines ecológicos implementados en pavimentos. Tomado de: (tensolite, 2015) .....	110
Figura 57 Implementación de adoquines ecológicos, en las terrazas del primer piso.....	110

Figura 58 Tipos de plantas autóctonas. Adaptado de: (SEMENTESDEPORTUGAL, 2016) .....	111
Figura 59 Izq. Contenedores para reciclaje 3x20 litros. Tomado de: (El corte inglés, 2017). Der. Contenedor de pilas usadas. Tomado de:(ENGELS, 2018) .....	112
Figura 60 Desempeño parámetros evaluados .....	119
Figura 61 Relación costo vs. Beneficio .....	121
Figura 62 Análisis costo vs. Beneficio sistema SAAP .....	122
Figura 63 Análisis costo vs. Beneficio PV .....	123
Figura 64 Costo Kit Autoconsumo 500W. Tomado de: (boaenergia, 2015e).....	143
Figura 65 Costo Kit Autoconsumo 750W. Tomado de: (boaenergia, 2015f) .....	144
Figura 66 Costo Kit Autoconsumo 1000W. Tomado de: (boaenergia, 2015a).....	145
Figura 67 Costo Kit Autoconsumo 1250W. Tomado de: (boaenergia, 2015b).....	146
Figura 68 Costo Kit Autoconsumo 1500W. Tomado de: (boaenergia, 2015c).....	147
Figura 69 Contenedores de 60 litros para apartamentos T2. Tomado de: (El corte inglés, 2017) .....	148
Figura 70 Contenedores de 80 litros para apartamentos T3. Tomado de: (elcorteinglés, 2016) .....	149
Figura 71 Contenedor para pilas usadas. Tomado de: (ENGELS, 2018).....	149
Figura 72 Precio Sanitario Convencional. Tomado de: (AKI, 2016b).....	150
Figura 73 Precio Lavamanos convencional. Tomado de: (AKI, 2014).....	150
Figura 74 Precio Lavalozza convencional. Tomado de: (Erix, 2018).....	150
Figura 75 Precio Ducha convencional. Tomado de:(AKI, 2016a) .....	151
Figura 76 Precio Sanitario Clase A. Tomado de:(Sanitana, 2017).....	152
Figura 77 Precio Lavamanos Clase A. Tomado de:(Erix, 2018) .....	152
Figura 78 Precio Lavalozza Clase A <sup>++</sup> . Tomado de: (Erix, 2018) .....	152
Figura 79 Precio Ducha Clase A. Tomado de: (Roca, 2016) .....	153
Figura 80 Especificaciones técnicas bomba a utilizar en el sistema SAAP. Tomado de: (Ecodepur, 2018) .....	154



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Principios de la Construcción Sostenible. Fuente:(Kibert, 2008) .....	5
Tabla 2 Clasificación BREEAM ES Vivienda. Adaptado de: (Maceiras Pinilla and Calvo Orosa, 2016).....	11
Tabla 3 Comparación Sistemas de Evaluación Sostenible.....	16
Tabla 4 Valores de U para paredes en la Unión Europea. Tomado de: (Simona, Spiru and Ion, 2017).....	23
Tabla 5 Valores de los coeficientes de escorrentía. Adaptado de: (Rodrigues, 2010) .....	35
Tabla 6 Indicadores, parámetros y categorías de la metodología SBTool <sup>PT</sup> -H. Adaptada de:(Mateus, 2016).....	44
Tabla 7 Escala cualitativa metodología SBTool <sup>PT</sup> -H. Adaptada de:(Mateus, 2016).....	45
Tabla 8 Área Bruta Edificio en estudio .....	51
Tabla 9 Cálculo del parámetro 7.....	57
Tabla 10 Energía consumida para la calefacción de aguas residuales .....	59
Tabla 11 Cálculo del parámetro 8 .....	60
Tabla 12 Cálculo FLDM para cuartos .....	71
Tabla 13 Cálculo del FLDM para salas y cocinas .....	72
Tabla 14 Cálculo parámetro 21 .....	75
Tabla 15 Clasificación de los lugares de entrenamiento y servicios .....	76
Tabla 16 Créditos para cada amenidad de acuerdo a la distancia hasta el edificio .....	76
Tabla 17 Cálculo de créditos Clase 1 .....	77
Tabla 18 Cálculo de créditos Clase 2 .....	77
Tabla 19 Cálculo de créditos Clase 3 .....	77
Tabla 20 Costo de inversión inicial por m <sup>2</sup> para las tipologías T2 y T3 (10 fracciones).....	79
Tabla 21 Cálculo de los costos energéticos anuales de la mejor práctica y la práctica convencional.....	81
Tabla 22 Cálculo Costos de consumo de agua potable anuales mejor práctica .....	83
Tabla 23 Costos de consumo de agua anual práctica convencional.....	85
Tabla 24 Cálculo costos energéticos anuales, solución en estudio.....	86
Tabla 25 Cálculo Costos de consumo de agua potable, solución en estudio.....	87
Tabla 26 Cuantificación del desempeño del edificio por categorías .....	88
Tabla 27 Cuantificación del desempeño del edificio a nivel de cada dimensión .....	89
Tabla 28 Cuantificación de la Nota de Sostenibilidad del edificio .....	89



Tabla 29 Desempeño de cada categoría en la escala cualitativa .....	89
Tabla 30 Nota de Sostenibilidad en la escala cualitativa.....	90
Tabla 31 Cálculo de las Necesidades de energía primaria globales del edificio .....	92
Tabla 32 Cálculo número de paneles y producción total de energía, escenario 1 .....	93
Tabla 33 Cálculo parámetro P8, Escenario 1 .....	94
Tabla 34 Distribución Energía Primaria en cada fracción.....	95
Tabla 35 Cálculo número de paneles, escenario 2.....	96
Tabla 36 Cálculo parámetro P8, Escenario 2 .....	97
Tabla 37 Distribución Energía Primaria en cada fracción.....	98
Tabla 38 Cálculo número de paneles, escenario 3.....	98
Tabla 39 Cálculo parámetro P8, Escenario 3 .....	99
Tabla 40 Categorías de Eficiencias Hídricas para sanitarios (adaptado de ETA 0804) .....	100
Tabla 41 Categorías de Eficiencia Hídrica para Lavamanos (Adaptado de ETA 0808).....	100
Tabla 42 Categorías de Eficiencia Hídrica para Lavaplatos (Adaptado de ETA 0808).....	100
Tabla 43 Categorías de Eficiencia Hídrica para Duchas (Adaptado ETA 0806) .....	100
Tabla 44 Cálculo volumen anual de agua consumida .....	101
Tabla 45 Precipitación Media Mensual en Vila Nova de Gaia. Fuente: SNIRH .....	102
Tabla 46 Consumo de agua total (m3/mes).....	103
Tabla 47 Cálculo caudal acumulado.....	103
Tabla 48 Tabla de Cálculo Método de Rippl.....	105
Tabla 49 Cálculo Volumen Reservoirio Método de la ANQIP .....	105
Tabla 50 Cálculo Volumen Reservoirio Método Español.....	106
Tabla 51 Cálculo Volumen Reservoirio Método Australiano .....	107
Tabla 52 Volúmenes del reservorio vs. Eficiencias. Método Australiano .....	107
Tabla 53 Resultados Volumen del Reservoirio .....	108
Tabla 54 Contenido del Manual del Utilizador del Edificio .....	113
Tabla 55 Cálculo costos energéticos anuales, Escenario 1, 2 y 3.....	114
Tabla 56 Cálculo Costos de consumo de agua potable, solución en estudio.....	115
Tabla 57 Cuantificación del desempeño del edificio optimizado por categorías .....	116
Tabla 58 Cuantificación del desempeño del edificio optimizado a nivel de cada dimensión	117
Tabla 59 Nivel de sostenibilidad global del edificio optimizado .....	117
Tabla 60 Comparación de resultados de los parámetros y categorías evaluadas .....	118
Tabla 61 Inversión inicial.....	120
Tabla 62 5% de las temperaturas operativas más bajas, sistemas apagados .....	137

Tabla 63 Continuación 5% de las temperaturas operativas más bajas, sistemas apagados....	138
Tabla 64 5% de las temperaturas operativas más bajas, sistemas encendidos .....	139
Tabla 65 Continuación 5% de las temperaturas operativas más bajas, sistemas encendidos.	140
Tabla 66 5% de la diferencia de temperaturas más altas, sistemas apagados .....	141
Tabla 67 Continuación del 5% de la diferencia de temperaturas más altas, sistemas apagados .....	142
Tabla 70 Presupuesto Parámetro P8, Escenario 1 .....	147
Tabla 71 Presupuesto Parámetro P8, Escenario 2 .....	148
Tabla 72 Presupuesto Parámetro P8, Escenario 3 .....	148
Tabla 73 Presupuesto inicial, parámetro P13 .....	149
Tabla 74 Precio dispositivos hidráulicos convencionales, T2.....	151
Tabla 75 Precio dispositivos hidráulicos convencionales, T3.....	151
Tabla 76 Presupuesto total, dispositivos hidráulicos convencionales .....	151
Tabla 77 Precio dispositivos hidráulicos .....	153
Tabla 78 Precio dispositivos hidráulicos clase A, T3.....	153
Tabla 79 Presupuesto total, dispositivos hidráulicos eficientes .....	153
Tabla 80 Presupuesto SAAP. Tomado de: (Ecodepur, 2018) .....	155
Tabla 81 Continuación Presupuesto SAAP. Tomado de: (Ecodepur, 2018).....	155



## NOMENCLATURAS

ADENE – Agencia para la Energía

ANQIP – Asociación Nacional para la Calidad en las Instalaciones Prediales

AP – Potencial de Acidificación

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning

BREEAM – Buiding Research Established Assessment Method

C – Coeficiente de escurrimiento

CASBEE – Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency

CEN – Comité Europeo de Normalización

CFCs – Clorofluorocarbonos

CIB – International Council for Building Research Studies

CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono

COVs – Compuestos Orgánicos Volátiles

DGEG – Dirección General de Energía y Geología

EICV – Evaluación de los Impactos Ambientales del Ciclo de Vida

EP – Potencial de Eutrofización

EPS – Poliestireno Expandido

ETA – Especificación Técnica ANQIP

FFDP – Energía no renovable incorporada

GBC – Green Building Challenge

GSHP – Geothermal Heat Pump System

GWP – Potencial del Calentamiento Global

HCFCs – Hidroclorofluorocarbonos

HVAC – Heating Ventilation Air Conditioning

iiSBE – International Initiative for a Sustainable Built Environment

ISO – International Organization of Standarization

IVA – Impuesto al Valor Agregado

kWh – kilowatt hora

kWh<sub>ep</sub> – Kilowatt hora de energía primaria

LEED – Leadership in Energy and Environmental Design

LGSF – Light Gauge Steel Framing

$N_t$  – Necesidades anuales globales de energía primaria

$N_{tc}$  – Necesidades anuales globales de energía primaria

$N_i$  – Necesidades anuales globales de energía primaria para la calefacción

$N_{ic}$  – Necesidades anuales globales de energía primaria para la calefacción

$N_v$  – Necesidades anuales globales de energía primaria para el enfriamiento

$N_{vc}$  – Necesidades anuales globales de energía primaria para el enfriamiento

ODP – Destrucción de la capa de ozono

PDM – Plan Director Municipal

PEAD – Polietileno de alta densidad

POCP – Potencial de Oxidación Fotoquímica

PV – Photovoltaic

PVC – Policloruro de Vinilo

RCCTE – Reglamento de las Características de Comportamiento Térmico de los Edificios

REH – Reglamento del desempeño Energético de los Edificios de Habitación

RRAE – Reglamento de los Requisitos Acústicos de los Edificios

SAAP – Sistema de Aprovechamiento de Agua Pluvial

SBTool – Sustainable Building Tool

SCE – Sistema de Certificación Térmica

ST – Solar Thermal energy

U – Coeficiente de Transmitancia térmica

USGBC – United State Green Building Council

VLT – Visible Light Transmittance

WWR – Window to Wall Ratio

XPS – Poliestireno Extruído

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 Introducción

La sociedad y su ambiente construido actualmente usa grandes cantidades de energía y materiales afectando de una manera negativa, la salud del ser humano y su ambiente natural (Forsberg and von Malmborg, 2004). La contribución global del consumo de energía de los edificios ha venido aumentando en los últimos años, situándose actualmente entre el 20-40% en los países desarrollados y excediendo a otros sectores, como la industria y los transportes (Pérez-Lombard *et al.*, 2009). Desarrollar y usar métodos para la evaluación sostenible de los edificios es una solución a explorar, a fin de promover un ambiente construido más sostenible (Mateus and Bragança, 2011).

El desarrollo de metodologías para estimar los consumos de energía y el impacto ambiental de los edificios es concretamente necesario. Durante las últimas dos décadas, muchos de esos métodos fueron desarrollados, siendo bastante útiles para evaluar, clasificar, y certificar el desempeño energético y, más generalmente, el nivel de sostenibilidad de los edificios (Moschetti, Mazzarella and Nord, 2015). El propósito general de las herramientas es actuar como un soporte estratégico de decisión y como una ayuda de comunicación con terceros (Forsberg and von Malmborg, 2004). Según Fregonara (2017), las herramientas sirven para orientar a los proyectistas en la selección de las mejores opciones, en términos ambientales y económicos; para el edificio, desde las etapas iniciales de diseño; también, para apoyar a los responsables políticos y promotores en la definición de políticas coherentes y estrategias para reducir los consumos de energía, específicamente en el caso de edificios existentes; y para ayudar a las autoridades públicas en la planeación y programación de actividades, a través de acciones para mejorar el desempeño de los edificios a una escala urbana, incluyendo las propiedades públicas (Fregonara, 2017).

Las herramientas de evaluación, más conocidas a escala global son LEED, CASBEE, BREEAM y SBTool. Estas, permiten una evaluación completa del edificio, usan sistemas de

medición para determinar qué tan sostenible es un edificio y que principios incorpora. Adicionalmente, tienen en común estudiar el consumo de energía en el edificio, la utilización eficiente del agua, la calidad del ambiente exterior, los impactos del edificio en el ambiente exterior, el consumo de recursos materiales, la calidad de los servicios, y la integración con las estrategias del lugar de construcción (Ali and Al Nsairat, 2009).

La primera herramienta disponible comercialmente fue BREAM (*Building Research Established Assessment Method*) en el Reino Unido en 1990, que dio las bases para la creación de la metodología SBTool (*Sustainable Building Tool*), desarrollada a través del trabajo colaborativo de representantes de 20 países. Posteriormente, fue creada la versión portuguesa SBTool<sup>PT</sup>-H, resultado de un trabajo en conjunto entre la Universidade do Minho y el iiSBE Portugal (delegación portuguesa de la *International Initiative for a Sustainable Built Environment*), esta herramienta evalúa el nivel de sostenibilidad de los edificios residenciales nuevos, o renovados en áreas urbanas en Portugal (Mateus and Bragança, 2011).

La metodología SBTool<sup>PT</sup>-H pretende ser una metodología sistemática que soporte el diseño de los edificios buscando el mejor balance entre las diferentes dimensiones de la sostenibilidad (ambiental, social, económica) y que, al mismo tiempo, sea suficientemente práctica, transparente y flexible, para ser adaptada fácilmente a diferentes tipos de edificios y a la constante evolución de la tecnología. La clasificación del nivel de sostenibilidad del edificio depende de la comparación de su desempeño con dos niveles de referencia: convencional y mejor práctica. Esta metodología evalúa 25 parámetros que permiten evaluar el desempeño de un edificio a nivel de tres dimensiones de sostenibilidad: ambiental, funcional, y económica.

Los parámetros referentes al desempeño ambiental son evaluados a través de una base de datos de Evaluación de los Impactos Ambientales del Ciclo de Vida (EICV), que brindan información ambiental al proyectista acerca de las soluciones que conducen a un escenario de proyecto de menor impacto ambiental (Mateus and Bragança, 2011).

Analizando el estado del arte, se verifica que algunos estudios realizan un análisis integrado de los costos vs beneficios financieros e impactos ambientales del ciclo de vida, en el proceso de toma de decisión, en la existencia de diferentes escenarios alternativos, a diferentes escalas de producción y construcción, o a diferentes niveles territoriales (Fregonara, 2017). Según Sartori (2007), el análisis de 60 casos identificados en la literatura muestra que la energía de operación

representa la mayor contribución para el total de energía consumida durante el ciclo de vida de un edificio. También, se ha concluido que hay una relación lineal entre la energía de operación y la energía total, válida para diferentes casos, a pesar de las diferencias climáticas o contextuales. De esta forma, reducir el consumo de energía de operación parece ser el aspecto más importante para la concepción de edificios que son energéticamente eficientes y presentan menores costos e impactos ambientales del ciclo de vida (Sartori and Hestnes, 2007).

Existen diferentes tipos de tecnologías para mejorar el nivel de sostenibilidad de los edificios. Las tecnologías pasivas incluyen, por ejemplo, mayor aislamiento, ventanas más eficientes, reducción de las pérdidas por infiltración, recuperación de calor del aire de ventilación, y aprovechamiento de aguas residuales. Las tecnologías activas incluyen, por ejemplo, bombas de calor, colectores solares térmicos, paneles fotovoltaicos y quemadores de biomasa (Sartori and Hestnes, 2007).

Un caso de estudio que obtuvo una buena nota de sostenibilidad es el Proyecto de “Ponte da Pedra (Fase II)”, situado en Matosinhos. Esta segunda fase del proyecto fue constituida por dos bloques con apartamentos de tipologías T2 y T3 (3 y 4 habitaciones, respectivamente), además, el proyecto cuenta con un parque infantil, un parque público, un espejo de agua, jardines y vías peatonales en todo el conjunto. El proyecto tuvo como objetivo demostrar la viabilidad de un edificio residencial sostenible desde el punto de vista económico, ambiental, social y cultural. Y algunos de los principios de sostenibilidad adoptados fueron: utilización de áreas previamente contaminadas, debido a que el terreno antes de ser construido estaba ocupado por una industria de curtiembre; implementación de un sistema de aprovechamiento de aguas pluviales y del nivel freático para el riego de los espacios verdes y alimentación de los sanitarios; utilización de energías alternativas obtenidas a través de paneles solares para la producción de aguas sanitarias; utilización de materiales exentos de toxicidad y utilización de materiales locales que presenten certificados de calidad, con un radio máximo de 100 km; el espesor de las paredes fue diseñado de manera que en invierno pueda acumular calor y en verano pueda mantener una temperatura interna fresca; sensibilización de los futuros habitantes con la edición de un Manual del Cooperador Propietario de Uso y de Mantenimiento; y en términos económicos, el precio final de venta se incrementó un 9% debido a las medidas implementadas, sin embargo, esos sobrecostos son recuperados en los primeros 5 años, debido a la gran reducción en los consumos de energía. Esta evaluación de sostenibilidad fue realizada por el Sistema Líder A, durante el año 2006, donde la calificación final de proyecto fue A (Pinheiro, 2006).



El análisis a realizar en este trabajo incluye el análisis de un caso de estudio. En el caso de estudio se evaluará el nivel de sostenibilidad de un edificio residencial multifamiliar mediante la metodología SBTool<sup>PT</sup>-H. Esta metodología cuenta con 25 parámetros que van a ser evaluados de acuerdo a las características inicialmente previstas en el proyecto. Cada uno de los parámetros evaluados conforma 9 categorías diferentes que resumen el desempeño del edificio a nivel de aspectos claves de sostenibilidad, las cuales conforman las tres dimensiones de sostenibilidad. Seguidamente, será determinada la nota global de sostenibilidad del edificio que es determinada con el desempeño de cada una de las dimensiones y su respectivo peso en la nota final. Y finalmente, serán analizados los parámetros que tengan mayor relevancia en la nota de sostenibilidad global y estos serán mejorados a través de la implementación de alternativas que sean viables, que tengan una buena relación costo-beneficio y que permitan mejorar la sostenibilidad del edificio.

## **1.2 Objetivos**

Este trabajo tiene como objetivo principal optimizar el nivel de sostenibilidad de un edificio residencial multifamiliar en Portugal, mediante el uso de la metodología SBTool<sup>PT</sup>-H, presentando propuestas de mejora que incrementen el nivel de sostenibilidad, para eso es necesario en una primera fase evaluar el nivel de sostenibilidad del edificio residencial multifamiliar con sus características iniciales y establecer los parámetros que serán mejorados en función de la relevancia que tengan en la nota sostenible global y la viabilidad que tengan de ser mejorados, para finalmente, buscar alternativas de mejora que sean viables con el proyecto en estudio en cuanto a la relación costo-beneficio, presentando el nivel de sostenibilidad final del edificio residencial multifamiliar incluyendo las mejoras propuestas.

Las medidas que serán estudiadas serán las más equilibradas en términos ambientales, sociales, y económicos y su implementación en el edificio resulta en una mejoría efectiva del nivel de sostenibilidad en relación a la solución inicial. Se pretende, además, que su integración en el proyecto no agrave significativamente el costo de construcción.

## 2 REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE

### 2.1 Construcción Sostenible

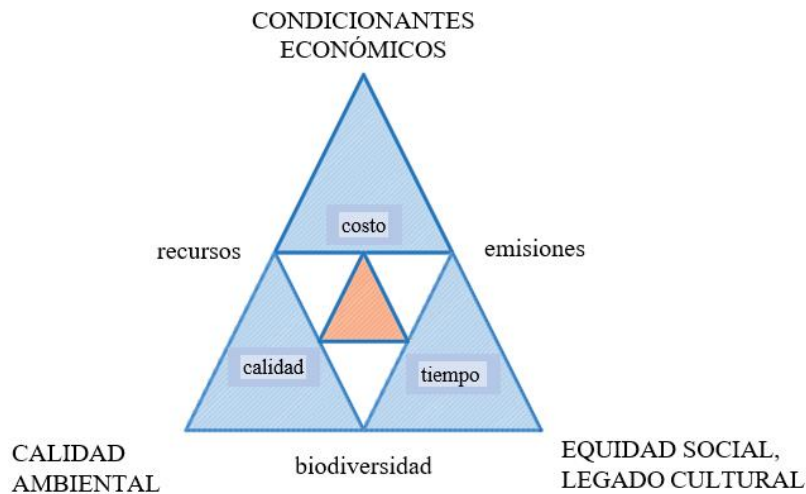
El término construcción sostenible integra los aspectos ambientales, sociales y económicos de un edificio, en el contexto de su comunidad. En 1994, el CIB – International Council for Building Research Studies, definió como objetivo de la construcción sostenible “crear y operar un ambiente construido saludable basado en la eficiencia de los recursos y un diseño ecológico”. El CIB estableció siete Principios de la Construcción Sostenible mostrados en la Tabla 1, los cuales son aplicados a todo el ciclo de vida de un edificio, brindando información para la toma de decisiones en cada una de las fases del ciclo de vida del mismo, estos principios son (Kibert, 2008).

*Tabla 1 Principios de la Construcción Sostenible. Fuente:(Kibert, 2008)*

<b><u>Principios de la Construcción Sostenible</u></b>
1. Reducir el consumo de recursos (reducir)
2. Reusar recursos (reusar)
3. Usar recursos reciclables (reciclar)
4. Proteger la naturaleza (naturaleza)
5. Eliminar sustancias tóxicas (tóxico)
6. Aplicar el costo de ciclo de vida (economía)
7. Enfocarse en la calidad (calidad)

La construcción sostenible pretende permitir la integración del ser humano con la naturaleza, utilizando adecuadamente los recursos naturales. Representa una nueva manera de relacionar la concepción, la operación y deconstrucción/demolición de un edificio, centrándose no solo en la calidad del producto, el tiempo de construcción y los costos, sino también, en las preocupaciones ambientales, que están relacionadas con el consumo de recursos, las emisiones, la salud de los ocupantes y la biodiversidad, para así, mejorar la calidad de vida, el desarrollo económico y la equidad social (Pinheiro, 2006).

El concepto de construcción sostenible integra principios de eco-eficiencia con los aspectos económicos, sociales y ambientales, como se muestra en la Figura 1.



*Figura 1 Pilares de la Construcción Sostenible. Adaptado de: (Mateus, 2009)*

Desde este punto de vista, se presentan los aspectos fundamentales o pilares de la construcción sostenible, a continuación (Mateus, 2009):

- **Economizar energía y agua:** la producción de energía eléctrica representa un elevado impacto ambiental debido a que se utiliza como materia prima un recurso natural no renovable y limitado. Por lo tanto, se debe reducir su consumo, no solo en la fase de utilización del edificio, con la implementación de energías producidas a partir de fuentes renovables y la optimización de la iluminación y ventilación natural; sino también en la fase de construcción, con la implementación de sistemas de construcción simples y modulares. El consumo de agua está relacionado con la producción de aguas residuales, así que una de las maneras de reducir el consumo, es optando por sistemas más eficientes para los dispositivos hidráulicos.
- **Asegurar la salubridad de los edificios:** se deben evitar compartimentos que no tengan aberturas para el exterior del edificio, para ello, es necesario maximizar la ventilación e iluminación natural para asegurar el confort ambiental en el interior del edificio.
- **Maximizar la durabilidad de los edificios:** se deben utilizar tecnologías constructivas y materiales que sean más durables, que las construcciones sean más flexibles a la hora de realizar modificaciones o nuevas utilidades, y de esta forma que el ciclo de vida del

edificio sea mayor, amortiguando los impactos ambientales producidos en la fase de construcción.

- **Planear la conservación y manutención de los edificios:** es indispensable planear las intervenciones de mantenimiento y rehabilitación del edificio, pues estas actividades, permiten prolongar el ciclo de vida del edificio sin poner en peligro el confort y seguridad estructural del mismo, pues es una estructura que alberga una gran cantidad de recursos naturales y culturales que deben ser preservados y de esta forma, evitar su degradación o en situaciones extremas, su ruina total o parcial.
- **Utilizar materiales eco-eficientes:** son aquellos que, durante su ciclo de vida, es decir, desde la fase de extracción hasta la devolución al medio ambiente, generan bajo impacto ambiental. Algunos de estos materiales se caracterizan por no contener químicos nocivos para la capa de ozono; otra característica es que sean durables, así disminuyen la producción de residuos; preferir materiales que requieran de poco mantenimiento o que su mantenimiento implique un bajo impacto ambiental; que sean materiales que incorporen baja energía primaria, que sean materiales producidos en la región, así se disminuyen los costos de transporte y su respectivo impacto ambiental; y usar preferiblemente materiales reciclados o que presenten gran potencial de ser reciclado o reutilizados.
- **Construcciones de baja masa:** entre menor sea la masa total del edificio, menor será la cantidad de recursos naturales incorporados. Una solución, es la implementación de nuevos sistemas constructivos como el LGSF- *Light Gauge Steel Framing*, es una solución constructiva que ayuda a reducir el peso de las construcciones, debido a que presenta una envolvente vertical leve (perfiles metálicos leves), con un alto desempeño térmico y acústico y en su interior utiliza materiales de masa elevada, que adicionalmente tienen funciones estructurales y de almacenamiento térmico.
- **Minimizar la producción de residuos:** en la fase de construcción es donde se producen la mayor cantidad de residuos, estos pueden ser reducidos, a través de un correcto almacenaje de los materiales de construcción, la implementación de sistemas prefabricados o la utilización de dimensiones estándar en la fase de planeación.

- **Ser económica:** una construcción es sostenible si después de integrar los pilares anteriores es posible llegar a un acuerdo de costos con los intereses del propietario y los posibles utilizadores de la edificación. Una construcción sostenible no debe ser exageradamente costosa, pues de esta forma no podría competir con las construcciones tradicionales. Un análisis económico de este tipo de construcciones debe tener en cuenta todas las fases del ciclo de vida del edificio, así en la fase de construcción se debe optar por sistemas constructivos simples, estándares, que exijan menor mano de obra, aumentando la productividad y disminuyendo el tiempo de construcción, factores importantes en la economía del proyecto. Durante la fase de utilización se reducen los costos debido a la incorporación de sistemas más eficientes de agua, energía y la incorporación de materiales durables, que reducen los costos de manutención. Y si fue bien concebido el proyecto, también se debe considerar el valor de los materiales que pueden ser reciclados o reutilizados al final del ciclo de vida del edificio.
- **Garantizar condiciones dignas de higiene y seguridad en los trabajos de construcción:** en la fase de construcción es importante que los trabajadores tengan buenas condiciones de trabajo, para evitar posibles riesgos de accidentes, para ello, es importante planear de manera objetiva los procesos de construcción, los sistemas constructivos y materiales a utilizar.

## 2.2 Metodologías de evaluación de la sostenibilidad de los Edificios

Las herramientas de evaluación de la sostenibilidad han sido desarrolladas para diferentes propósitos, por ejemplo, de investigación, consultoría, y para ayudar en el proceso de toma de decisiones. En los últimos años, estas herramientas han ganado reconocimiento, debido a que diferentes organizaciones como por ejemplo, GBC – Green Building Challenge han organizado un gran número de conferencias internacionales en torno a la sostenibilidad, lo que contribuye al desarrollo de la construcción sostenible (Haapio and Viitaniemi, 2008). Adicionalmente, la organización Internacional para la estandarización (ISO) ha trabajado en la estandarización de los requerimientos para la evaluación ambiental de los edificios. Para ello, ha publicado dos especificaciones técnicas:

- ISO/TS 21929-1:2011 Sostenibilidad en la construcción de edificaciones – Indicadores sostenibles – Parte 1: Marco para el desarrollo de indicadores y un conjunto base de indicadores para edificios.
- ISO/TS 21931-1:2006 Sostenibilidad en la construcción de edificaciones – Marco para los métodos de evaluación del desarrollo ambiental en los trabajos de construcción – Parte 1: Edificios.

La comisión europea para la estandarización (CEN) y CEN/TC “Sostenibilidad en los trabajos de construcción” han desarrollado de manera voluntaria, métodos estandarizados para la evaluación de aspectos sostenibles en los trabajos de construcción nuevos y existentes y estándares para la declaración ambiental de productos (EDP) de productos de construcción (Haapio and Viitaniemi, 2008).

Según Bragança (2010), hay tres grandes sistemas de clasificación y certificación de edificaciones que son las bases para los otros sistemas usados mundialmente: BREEAM – the Building Research Establishment Environmental Challenge Method, que fue desarrollado en Reino Unido; SBTool – the Sustainable Building Challenge Framework, que fue desarrollado de manera conjunta de 20 países; y LEED – the Leadership in Energy and Environmental Design, desarrollado en Estados Unidos (Bragança, Mateus and Koukkari, 2010).

### **2.2.1 BREEAM**

El sistema fue desarrollado por BRE GLOBAL en Reino Unido en 1990, con el fin de evaluar edificaciones de uso comercial y residencial. Es un método de evaluación de la sostenibilidad para la planificación de proyectos, infraestructuras y edificaciones. BREEAM ha desarrollado diferentes versiones para viviendas, multi-residenciales, colegios, oficinas, prisiones y espacios de almacenamiento, con el fin de reconocer los requerimientos especiales de cada edificación. Este sistema evalúa el ciclo de vida de la edificación teniendo en cuenta las fases de producción, construcción, operación, mantenimiento y depósito (Haapio and Viitaniemi, 2008).

Actualmente, este sistema se ha extendido a nivel internacional, en países como Holanda, España, Noruega, Suecia y Alemania; hay entidades que adaptan este método al idioma, normativa y práctica constructiva del país. Por ejemplo, el operador nacional en España se

denomina BREEAM.ES, el cual está constituido por la Fundación (ITG), Instituto Tecnológico de Galicia (GrupoWork, 2017).

La aplicación del método BREEAM conlleva a una serie de beneficios mostrados a continuación (BREEAM.ES, 2013):

- **Económicos:** se reducen los gastos de funcionamiento y mantenimiento entre un 7-8%, debido a que el consumo energético es reducido entre un 50-70% y el consumo de agua hasta en un 40%.
- **Ambientales:** al reducir el consumo de energía, se reducen las emisiones de CO<sub>2</sub> durante la vida útil del edificio, se reducen los residuos, entre otros.
- **Sociales:** el ambiente dentro de la edificación es mejorado, y los utilizadores mejoraran su calidad de vida, debido a la optimización de la iluminación, la calidad del aire, el ruido, etc.

### 2.2.1.1 Categorías

La Figura 2, muestra cada una de las categorías que son evaluadas en este sistema, que abordan los factores más influyentes, incluyendo, la reducción de las emisiones de carbono, la durabilidad del diseño, la adaptación al cambio climático, el valor ecológico y la protección de la biodiversidad. Cada categoría incluye una serie de requisitos, que a su vez tienen un peso específico en el puntaje global (bre, 2017):



Figura 2 Categorías sistema de evaluación BREEAM. Adaptado de: (bre, 2017)

Cada categoría es subdividida en un conjunto de indicadores de evaluación, cada uno de los indicadores tendrá un objetivo y una referencia, cuando alguno de los anteriores es alcanzado, el asesor de BREEAM otorgará unos créditos. El puntaje de la categoría es calculado con el número de créditos alcanzados y el peso de la categoría. Finalmente, el puntaje global será la suma de los puntajes de cada categoría.

Para el caso de construcciones residenciales (Viviendas), el valor máximo de créditos que pueden ser alcanzados son 192, los cuales están divididos en las siguientes 10 categorías, como se muestra en la Figura 3.

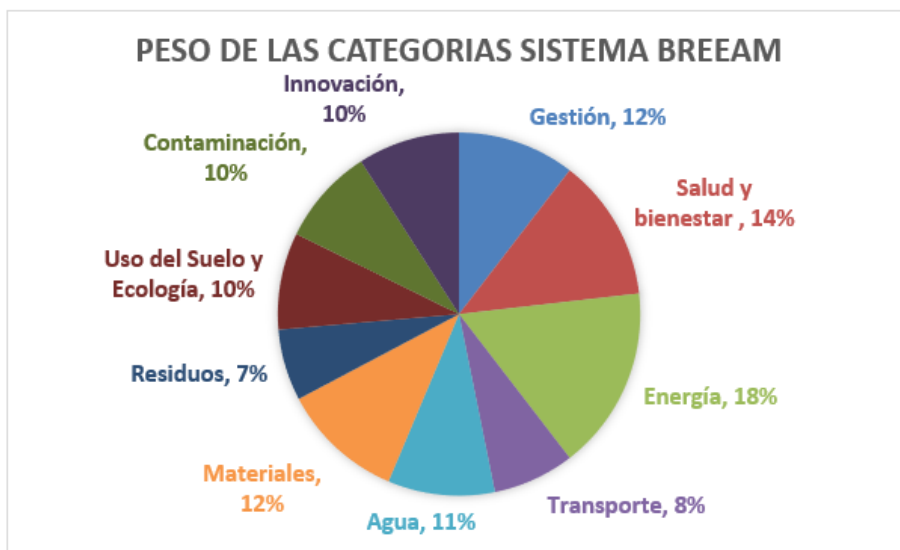


Figura 3 Gráfica Categorías BREEAM ES Viviendas. Adaptado de: (Maceiras Pinilla and Calvo Orosa, 2016)

### 2.2.1.2 Sistema de calificación

El sistema de calificación de BREEAM para viviendas, es mostrado en la Tabla 2.

Tabla 2 Clasificación BREEAM ES Vivienda. Adaptado de: (Maceiras Pinilla and Calvo Orosa, 2016)

Clasificación BREEAM ES	% Puntuación
Excepcional	≥ 85
Excelente	≥ 70
Muy Bueno	≥ 55
Bueno	≥ 45
Correcto	≥ 30
Sin Clasificar	< 30



Después de obtener la calificación, el proyecto o edificación debe ser registrado, para finalmente obtener el certificado. Este, debe ser renovado cada tres años o puede actualizarse cuando se realicen cambios significativos, que requieran una variación en el certificado inicial.

## 2.2.2 LEED

LEED es un programa lanzado al mercado de los Estados Unidos en 1993, a través de USGBC (*the United State Green Building Council*), y desde ese entonces, ha sido usado como sistema de evaluación por más de 62,000 proyectos en los Estados Unidos. LEED evalúa el desempeño ambiental de una edificación a través de su ciclo de vida y otorga un certificado independiente de sostenibilidad del edificio. Es un sistema que cubre diferentes tipos de proyectos y objetivos como los siguientes (Moussa and Farag, 2016):

- **Diseño de Edificios y construcción (BD+C):** es aplicado a construcciones nuevas o aquellas que tienen grandes intervenciones de renovación; incluidas nuevas construcciones, colegios, espacios de almacenamiento, hospitales, centros de datos, centros de distribución, de salud;
- **Diseño Interior y Construcción (ID+C):** es aplicado a un proyecto de interiores; incluye interiores comerciales, tiendas minoristas, y hospitales;
- **Operación y Mantenimiento de Edificios (O+M):** es aplicado a edificios existentes que están bajo trabajos de mantenimiento; incluyen edificios existentes, colegios, tiendas minoritarias, bodegas y centros de distribución;
- **Desarrollo de vecindarios (ND):** es aplicado a proyectos de desarrollo urbanístico; incluye usos residenciales, no residenciales o mixtos.
- **Viviendas (Homes):** es aplicado a una casa unifamiliar, edificaciones de baja o media altura, incluyendo viviendas o edificios.

### 2.2.2.1 Categorías

En LEED hay 110 créditos posibles distribuidos en 8 categorías principales, como se muestra en la Figura 4.

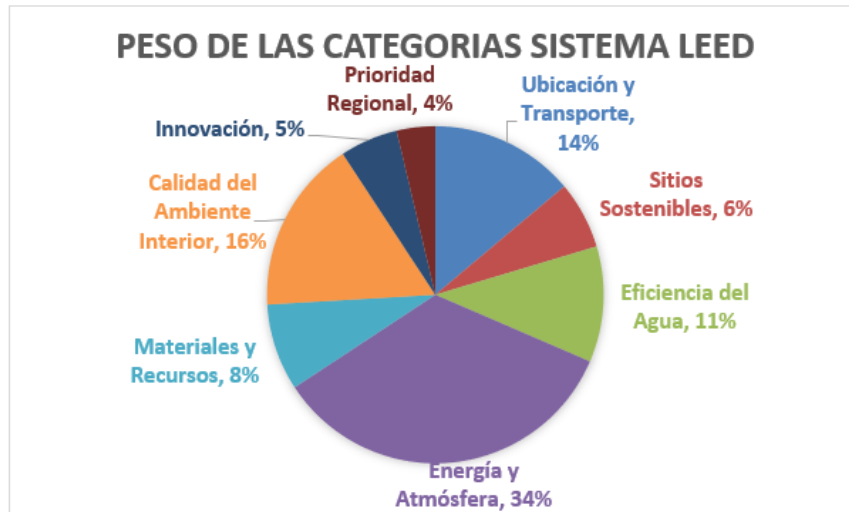


Figura 4 Categorías sistema LEED. Tomado de: (U.S. Green Building Council, 2015).

### 2.2.2.2 Sistema de calificación

El método de clasificación del LEED es basado en 4 niveles de certificación verde: certificado, plata, oro y platino. El número de puntos obtenidos por el proyecto determina el nivel de certificación LEED, que el proyecto recibirá, como se muestra en la Figura 5.



Figura 5 Método de calificación LEED. Adaptado de: (Edificioverde, 2012)

### 2.2.3 SBTool

SBTool, formalmente conocido como GBTool, fue desarrollado en 1995 por el iiSBE (*International Initiative for a Sustainable Built Environment*), que es una organización internacional sin ánimo de lucro, formada por diez naciones que son: Austria, Canadá, República Checa, Israel, Italia, Malta, Portugal, Corea del Sur, España y Taiwán (Suzer, 2015).

SBTool es un marco genérico para clasificar el desempeño sostenible de edificaciones y proyectos. Además, es un conjunto de herramientas que ayudan a las organizaciones locales a desarrollar sus sistemas de clasificación SBTool locales (iiSBE, 2010).

Este sistema puede ser usado por: organizaciones autorizadas, como, por ejemplo, las organizaciones no gubernamentales (NGOs), para establecer sistemas de clasificación que se adapten a sus regiones y tipos de edificaciones; propietarios y administradores de grandes proyectos; asesores o participantes de concursos; y estudiantes como una herramienta educativa.

### 2.2.3.1 Categorías

El sistema SBTool contiene 2 módulos de evaluación que están relacionados con las fases del ciclo de vida; un módulo es destinado a la evaluación del lugar, llevado a cabo en la fase de pre-diseño; y el otro para la evaluación de la edificación, abordando las fases de diseño, construcción y operación. (Larsson and Macias, 2012). Las categorías evaluadas en este sistema se muestran en la Figura 6.

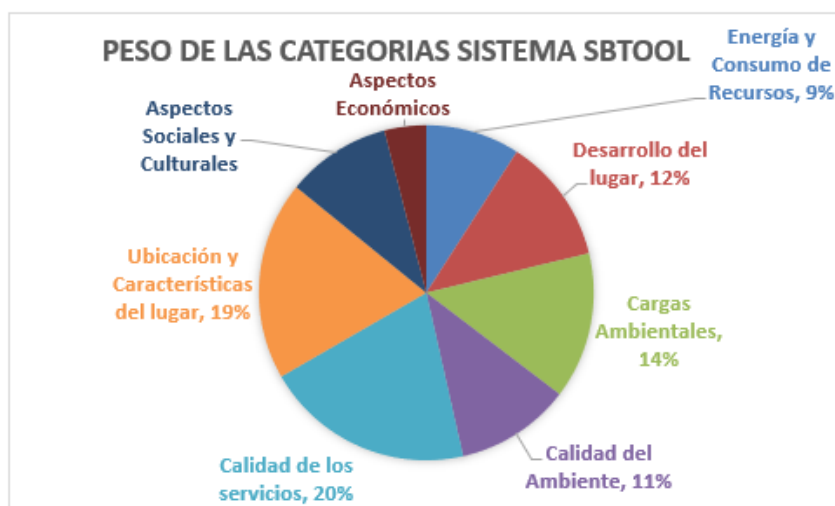


Figura 6 Categorías sistema SBTool Genérico. Adaptado de: (Larsson and Macias, 2012)

### 2.2.3.2 Sistema de calificación

El sistema de calificación del SBTool consiste en una serie de comparaciones entre las características del edificio en estudio y la referencia nacional o regional de la práctica mínima

aceptada (0 puntos), la buena práctica (3 puntos) y la mejor práctica (5 puntos). El puntaje es calculado multiplicando cada valor con su apropiado peso, seguidamente, se suman todos los puntajes obtenidos (Larsson and Macias, 2012). Y como resultado se obtiene un certificado de sostenibilidad, mostrado en la Figura 7.

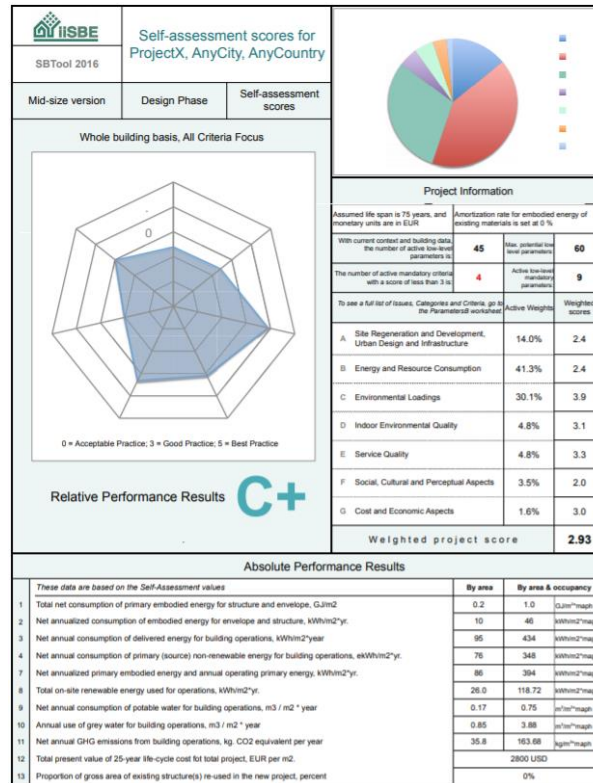


Figura 7 Ejemplo certificado SBTool Genérico. Tomado de: (Larsson and Macias, 2012)

### 2.2.4 Comparación de los sistemas de evaluación

Aunque cada uno de los sistemas de evaluación tiene un enfoque diferente, uno de los aspectos más importantes en los tres sistemas es la energía, a la que le corresponden un 18% para BREEAM, un 30% para LEED y un 9% para SBTool. Como se puede ver en la Tabla 3, los sistemas BREEAM y LEED le dan mayor importancia a la dimensión ambiental, mientras que en la metodología SBTool, la dimensión social tiene el mayor peso. En general, estas metodologías tienen en común aspectos como la energía, el uso del agua, los materiales, los impactos ambientales, la calidad del ambiente interior, y la ubicación y transporte cercano al edificio, debido a que estos factores determinarán en gran medida el desempeño del edificio a lo largo de su ciclo de vida. Por último, la metodología SBTool es la única que considera la dimensión económica, que en la calificación global tiene un peso de 4%.

Tabla 3 Comparación Sistemas de Evaluación Sostenible

Dimensión	BREEAM	%	LEED	%	SBTool	%
Ambiental	Energía	18	Energía y Atmósfera	34	Energía y Consumo de Recursos	9
	Agua	10.5	Uso eficiente del agua	11		
	Materiales	12	Materiales y Recursos	8		
	Residuos	7				
	Gestión	11.5	Sitios Sostenibles	6	Desarrollo y Regeneración del lugar, Diseño Urbano e	12
	Uso del suelo y ecología	9.5			Cargas Ambientales	14
Contaminación	9.5					
Social	Salud y Bienestar	14	Calidad del Ambiente Interior	16	Calidad del Ambiente Interior	11
					Calidad de los servicios	20
	Transporte	8	Ubicación y Transporte	14	Ubicación, Servicios y Características del lugar	19
	Innovación	10	Innovación en el Diseño	5		
			Prioridad Regional	4	Aspectos Sociales y Culturales	10
Económicos					Aspectos Económicos	4

### 2.2.5 Caso del edificio Philip Merrill Environmental Center

El edificio Philip Merrill es un centro ambiental que se encuentra localizado en Maryland, Estados Unidos. Cuenta con un área de 2979m<sup>2</sup>, dividido en un auditorio y la zona de oficinas. Es un ejemplo de construcción sostenible, ya que obtuvo una clasificación platino en el sistema LEED.

Esta edificación fue construida de manera integral, donde todos los materiales utilizados fueron producidos por procesos que no afectaron el medio ambiente, son materiales reciclados y al final de su vida útil, serán reciclables. El proyecto utilizó diferentes alternativas para generar un sitio sostenible, reducir los consumos de energía, de materiales y recursos, y mejorar la calidad del aire interior. (Pinheiro, 2006). Cada una de las medidas implementadas, se encuentran detalladas en los siguientes puntos.

- Selección del terreno que menor impacto ambiental causaba, donde tuvieron en cuenta la cercanía del lugar a los servicios públicos y evitaron la construcción en terrenos no contaminados.
- Construyeron la edificación sobre un edificio ya existente, por lo que reciclaron todos sus componentes.
- Durante la construcción talaron 8 árboles, por lo que han plantado 130 árboles.

- Construyeron una zona húmeda y un arrecife de ostras.
- Dieron incentivos a los trabajadores por el uso de bicicletas y vehículos eléctricos.
- Dispone de ciclovía hasta el centro comercial
- Existencia de servicios de desayuno y almuerzo.
- Las aguas pluviales son filtradas por adoquines ecológicos en la zona de estacionamiento, reduciendo su contaminación. Adicionalmente, utilizaron un filtro en la parte inferior de la vía para tratar las sustancias contaminantes provenientes de los vehículos.
- Utilizaron plantas locales, permitiendo evitar el uso de fertilizantes, pesticidas y la necesidad de riego.
- La zona de estacionamiento fue construida con materiales que no acumulan calor y fue rodeado por árboles, para ayudar a mantener la zona fresca y reducir el efecto de isla de calor.
- La iluminación del edificio y la zona de estacionamiento tienen temporizador, apagándose siempre que no sea necesaria.



*Figura 8 Fachada Sur del edificio. Tomada de: (Courtesy and Smithgroup, 2007)*

- El centro ambiental fue construido utilizando diversas tecnologías para ahorrar energía como el recurso de energía solar pasiva, activa y energía geotérmica.
- El edificio fue construido usando el principio de arquitectura bioclimática (Figura 8), orientando la fachada hacia el sur, para aprovechar la radiación y los vientos dominantes. Adicionalmente, el sombreado fue dimensionado de modo a aprovechar la luz solar en el invierno y reducir los picos de calor en el verano.

- En la fachada orientada al sur existen ventanas con la posibilidad de ser sombreadas, mientras que en la fachada orientada al norte fueron instaladas ventanas altas, de modo a obtenerse una distribución uniforme de luz durante todo el edificio. Además, existen sensores luminosos, que accionan mecanismos para disminuir la intensidad luminosa artificial.
- En las paredes y en el techo fueron usados materiales aislantes (sin CFCs Y HCFCs), reduciendo de este modo los consumos energéticos del edificio.
- Fue instalado un sistema auxiliar de calefacción y enfriamiento. Este es constituido por pozos geotérmicos en el terreno, que utilizan las temperaturas constantes existentes en el subsuelo para calentar y enfriar, dependiendo de la época del año. Existen 48 pozos para todo el edificio, con una profundidad de cerca de 90m.
- En los tejados orientados al sur existen paneles solares que producen electricidad y calientan el agua, reduciendo así las necesidades del edificio en energía eléctrica (Figura 9).
- El consumo de energía del edificio es monitorizado y controlado por un sistema de gestión de la energía, de modo a maximizar la eficiencia de su utilización (Figura 9).
- El enfriamiento del centro, es efectuado recorriendo a la ventilación a través de la abertura de ventanas. Para tal, el sistema de gestión determina cuando las condiciones son apropiadas y avisa a los trabajadores en el interior del centro, sobre cuándo deben abrir las ventanas.
- En general, el edificio usa menos de dos tercios de energía que un edificio de escritorio usual en los Estados Unidos de América.



*Figura 9 Izq. Sistema de aviso apertura de ventanas. Der. Paneles Solares Térmicos. Tomado de:(Griffith et al., 2005)*

- Los marcos de las ventanas y puertas fueron fabricados a partir de barriles de pepinillo recuperados y cerca de la mitad de los materiales tienen origen local, en un radio inferior a 480km.

- Utilizaron materiales rápidamente renovables, como el corcho y el bambú, que puede ser recogido de 3 a 5 años y que se renueva por sí solo. Los materiales estructurales, como columnas y vigas, utilizan madera que es normalmente desperdiciada. La madera restante utilizada en el edificio es certificada por el *Forest Stewardship Council* o extraída de bosques generados de forma sostenible.
- Las cantidades de materiales utilizados en el centro fueron igualmente pensadas de modo a ser lo mínimo posible. De este modo, la estructura está expuesta, pues no fueron construidos paredes interiores, y no fueron utilizados acabados innecesarios.
- Los materiales utilizados provienen del reciclaje de otros materiales. Por ejemplo, los paneles metálicos utilizados en el tejado y paredes provienen del reciclaje de chatarra, carros, latas y armas que pueden ser, fácilmente, desmontados para la reutilización, mientras que las tejas son hechas de 78% de lana mineral y fibra de celulosa reciclada.
- En lo que se refiere a la conservación del agua, posee un sistema de recolección de aguas pluviales (Figura 10), reutilizándolas en todos los lugares, excepto en la cocina y duchas. De este modo, se reducen las necesidades de agua de fuente municipal o subterránea y generan menos efluentes para tratar. Además de eso, posee sanitarios que separan los componentes y hacen compostaje.



*Figura 10 Fachada Norte, donde se evidencia los reservorios para las aguas pluviales.  
Tomado de:(Griffith et al., 2005)*

- La calidad del aire interior fue pensada mediante la utilización de materiales como el corcho, el linóleo natural, el bambú; y pinturas y pegamentos que no contiene COVs.
- La ventilación es facilitada por la existencia de ventanas en todas las divisiones y por sistemas mecánicos que captan el aire lejos de fuentes de contaminación. Las divisiones



donde existen productos químicos, son ventiladas directamente para el exterior, impidiendo la recirculación del aire dentro del edificio.

- En la sala de conferencia principal existe un sensor que mide la concentración de dióxido de carbono y un sistema que controla la ventilación dependiendo de la ocupación de la sala.
- El hecho de que las oficinas sean abiertas, facilita el movimiento del aire, mejorando la ventilación (Figura 11). Adicionalmente, el sistema de aviso para la abertura de ventanas contribuye, también, para la mejora de la calidad del aire al interior del edificio.



*Figura 11 Interior del Edificio. Tomada de: (Courtesy and Smithgroup, 2007)*

## **2.3 Medidas para mejorar la sostenibilidad de los edificios**

### **2.3.1 Energía**

El sector de la construcción es responsable de cerca del 30 al 40% de la energía consumida mundialmente, siendo uno de los sectores que mayor consumo de energía demanda (Fan and Xia, 2018). Los edificios requieren de energía en todo su ciclo de vida, directa o indirectamente. Directamente para su construcción, operación, rehabilitación y demolición; indirectamente, a través de la producción de los materiales de construcción y los materiales usados en las instalaciones técnicas (Sartori and Hestnes, 2007).

La directiva del Parlamento Europeo y el Consejo del desempeño energético de edificios, señalan la necesidad y posibilidad de ahorrar energía a través de la implementación de las siguientes alternativas (Chwieduk, 2003):

- Implementar un diseño y orientación bioclimático;
- Mejorar la envolvente de los edificios, enfocándose en el aislamiento térmico y las ventanas;
- Mejorar los sistemas HVAC y la iluminación;
- Implementar los sistemas de generación de energía amigables con el medio ambiente.

### 2.3.1.1 Orientación

Las características arquitectónicas y los sistemas constructivos de los edificios tienen una influencia determinante en las condiciones de confort interior (Costa *et al.*, 2014). Un diseño y orientación bioclimática, está asociada al concepto de arquitectura de bajo consumo de energía, es decir, un edificio que aprovecha el calor solar pasivo. Ya sea para ganar tanta energía solar como sea posible, o para proteger el edificio del sol, dependiendo de la estación y las condiciones climáticas (Chwieduk, 2003).

Según el REH, Portugal se encuentra dividido en tres zonas climáticas tanto para verano (V1, V2 y V3), como para invierno (I1, I2 e I3). En algunas zonas del país, las diferencias de temperaturas entre la estación de invierno y verano son bastante significativas. Una manera de mejorar las condiciones de confort de los usuarios, es por medio de la orientación adecuada de la edificación (Figura 12). Según Costa (2014), cada uno de los alzados de una edificación debe ser diseñado teniendo en cuenta lo siguiente:

- **Alzado Norte:** se deben evitar las ventanas en esta orientación, para minimizar las pérdidas térmicas durante la estación de invierno.
- **Alzado Sur:** se debe optar por tener la fachada principal en esta orientación, pues se aprovechará mejor la incidencia solar, principalmente en invierno. Por lo tanto, las ventanas deben tener mayores dimensiones en el alzado Sur. En verano, los acristalamientos deben tener protección exterior para controlar la incidencia excesiva, reduciendo el uso de energías para climatización e iluminación.

- **Alzado Este y Oeste:** la exposición solar debe ser reducida, debido a que en estas orientaciones es difícil controlar la entrada de radiación solar, especialmente en verano.

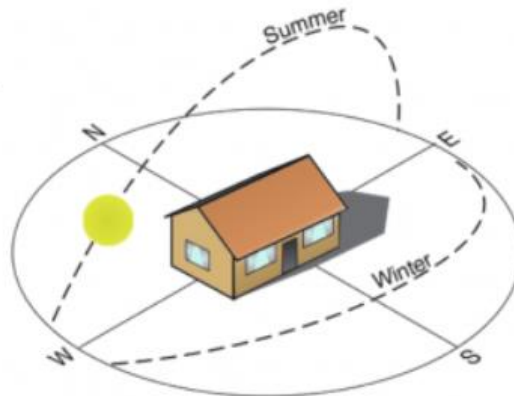


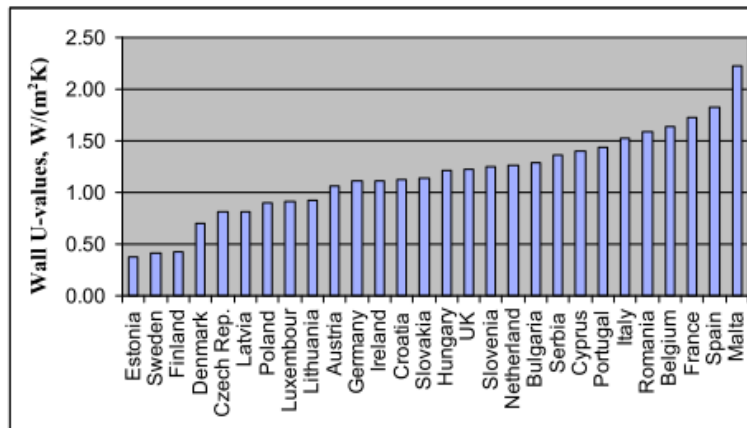
Figura 12 Orientación bioclimática. Tomada de:(i-ambiente, 2015)

### 2.3.1.2 Aislamiento térmico

El desempeño térmico de la envolvente de un edificio, es uno de los factores que más contribuye al consumo total de energía. Una alternativa para mejorar la eficiencia energética de los edificios, es reducir las pérdidas de calor a través de la implementación de aislamiento térmico interno o externo en la envolvente, por ejemplo, las paredes con aislamiento ayudan a reducir la demanda de energía de los sistemas de calefacción o aire acondicionado (Simona, Spiru and Ion, 2017).

La transmitancia térmica (U), es el flujo de calor que pasa por unidad de superficie del elemento por grado de diferencia de temperaturas entre dos ambientes separados por dicho elemento (Arquitectura&Energía, 2015). Por lo tanto, cuanto mayor sea la transmitancia térmica, menor es el efecto de aislamiento térmico; y cuanto menor sea el valor de U, mejor es el comportamiento térmico y menor es la pérdida de calor a través del elemento. A nivel europeo, los valores de transmitancia térmica (U), son mostrados en la Tabla 4.

Tabla 4 Valores de U para paredes en la Unión Europea. Tomado de: (Simona, Spiru and Ion, 2017)



En Portugal el aislamiento térmico es utilizado en la construcción desde 1950, y desde 1991, con la creación del primer Reglamento Térmico para los Edificios (RCCTE), pasó a ser obligatorio. Debido a que, un edificio que no posea aislamiento va disipar energía para el exterior, en la época de invierno; y va estar excesivamente caluroso por la fuerte transmisión de calor generada por la envolvente, en la época de verano (Costa *et al.*, 2014).

Según un estudio realizado en Rumania, la diferencia de temperatura de una edificación con aislamiento vs una edificación sin aislamiento es de aproximadamente 3°C. Esta diferencia, es mayor, cuando el aislamiento es implementado externamente, llegando hasta los 5°C de diferencia, mejorando así, la eficiencia térmica de la edificación (Simona, Spiru and Ion, 2017).

Este tipo de aislamiento, tiene las siguientes ventajas con respecto a los otros sistemas (Costa *et al.*, 2014):

- Elimina los puentes térmicos que causan el apareamiento de condensaciones;
- Mayor control de la calidad, debido a que el aislamiento es aplicado por el exterior y permanece visible durante su aplicación en obra;
- Inercia térmica elevada, debido a que todos los elementos interiores al aislamiento podrán absorber energía.

Los materiales más comúnmente usados para los aislamientos térmicos son el Poliestireno Expandido (EPS), y el Poliestireno Extruido (XPS).

### 2.3.1.3 Ventanas eficientes

Los marcos de las ventanas pueden ser constituidos por tres diferentes materiales, el Policloruro de Vinilo (PVC), la madera o el aluminio. En términos económicos los marcos de PVC, son la mejor opción, debido a que presentan una menor inversión. Y en términos funcionales, poseen una vida útil dos o tres veces mayor a los marcos de madera o aluminio. Otro aspecto importante es el tipo de abertura, una de las mejores alternativas son las ventanas basculantes (Figura 13), ya que permiten la ventilación natural sin comprometer la seguridad de la edificación (Costa *et al.*, 2014).



Figura 13 Ventana basculante. Tomado de: (Archiexpo, 2016)

Las áreas de acristalamiento son los puntos de mayor contacto entre el interior de la edificación y el ambiente exterior. Para la selección de un buen vidrio, es importante tener en cuenta el factor solar del vidrio, que es, el cociente entre la energía solar transmitida a través del vidrio y la energía solar incidente (RCCTE, 2006). Así, entre menor sea el factor solar, mayor será la protección del vidrio. Por lo tanto, un factor solar pequeño es beneficioso en verano, pero perjudicial en invierno (Costa *et al.*, 2014).

### 2.3.1.4 Optimizar la iluminación natural

Una manera de permitir la entrada de luz diurna al interior de la edificación es proyectar e implementar un correcto sistema de ventanas en la envolvente del edificio. Uno de los aspectos más importantes, es definir el área de las ventanas. Pues ésta, tiene implicaciones tanto en la iluminación del edificio, como en el desempeño térmico del mismo. Por lo tanto, no es

aconsejable incrementar significativamente el área de ventanas, debido a las ganancias térmicas que pueden ser, en algunos periodos del año, excesivas (Almeida and Martins, 2014).

Según la ASHRAE (2011), el valor más óptimo de WWR (Window to Wall Ratio), debe estar entre el 20 y el 40%, para balancear el uso apropiado de luz diurna y evitar las ganancias térmicas excesivas a través de las aberturas. Otro aspecto importante es el valor de la transmitancia del vidrio, el cual es recomendable que tenga un VLT (Visible Light Transmittance) del 70% o mayor, y para ventanas interiores un coeficiente de reflexión mayor al 75% (Almeida and Martins, 2014).

### **2.3.1.5 Energía generada a partir de fuentes renovables**

La aplicación de energías renovables en edificios está enfocada principalmente a los PV – Photovoltaic, ST – Solar Thermal energy, y GSHP – Geothermal Heat Pump System. La energía de Biomasa es aplicada generalmente en las regiones rurales y la energía eólica, en edificios con excepción de edificios de gran altura. La aplicación de este tipo de energías depende de tres aspectos importantes, la disponibilidad de recursos locales, la demanda de energía del edificio y la optimización del balance energético. Adicionalmente, existen tres cuestiones básicas en la aplicación de estas alternativas, la adecuación regional, la adecuación al edificio, y la viabilidad técnica y económica (Tan, Lei and Chen, 2016).

- **Sistemas Fotovoltaicos (PV)**

Son módulos solares eléctricos (Figura 14), que convierten la radiación solar directamente en electricidad sin partes móviles, sin requerir combustibles, y sin generar gases contaminantes a través de su ciclo de vida. Este tipo de módulos tienen una vida útil prevista de al menos 30 años, pueden ser usados para producir energía desde mili watts hasta mega watts, y es una tecnología universal, que funciona con la radiación solar (Sick and Erge, 1996).

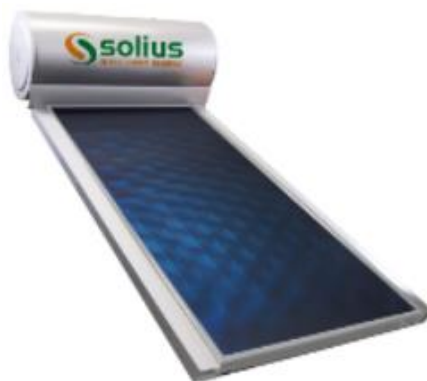


*Figura 14 Edificio con Paneles solares fotovoltaicos en la fachada. Tomado de:(Energíasolar, 2018)*

- **Sistemas solares térmicos (ST)**

Los colectores solares térmicos convierten la energía del sol en calor, que es utilizado para calentar agua, aún en días de poca radiación. Existen dos tipos de sistemas solares, como se muestran a continuación (Solius, 2015):

- **Termosifón:** este tipo de sistema aprovecha la disminución de la densidad del agua con el aumento de la temperatura. El fluido solar, calentado por el sol, sube al depósito colocado por encima del colector donde se libera la energía. Al enfriarse, desciende nuevamente al colector y el ciclo se repite. No es necesario el uso de bombas o regulación, pudiendo ser utilizado en zonas sin electricidad. Un ejemplo de este tipo de sistema, se encuentra en la Figura 15.



*Figura 15 Sistema Termosifón. Fuente:(Solius, 2015)*

- **Circulación forzada:** en este sistema (Figura 16), el colector solar absorbe la energía solar incidente y calienta el fluido en su interior. Esta energía es transferida para el acumulador, colocado en el interior de la edificación. Los acumuladores de simple o doble serpentina permiten escoger la mejor interconexión con los sistemas de apoyo (calentador o caldera).

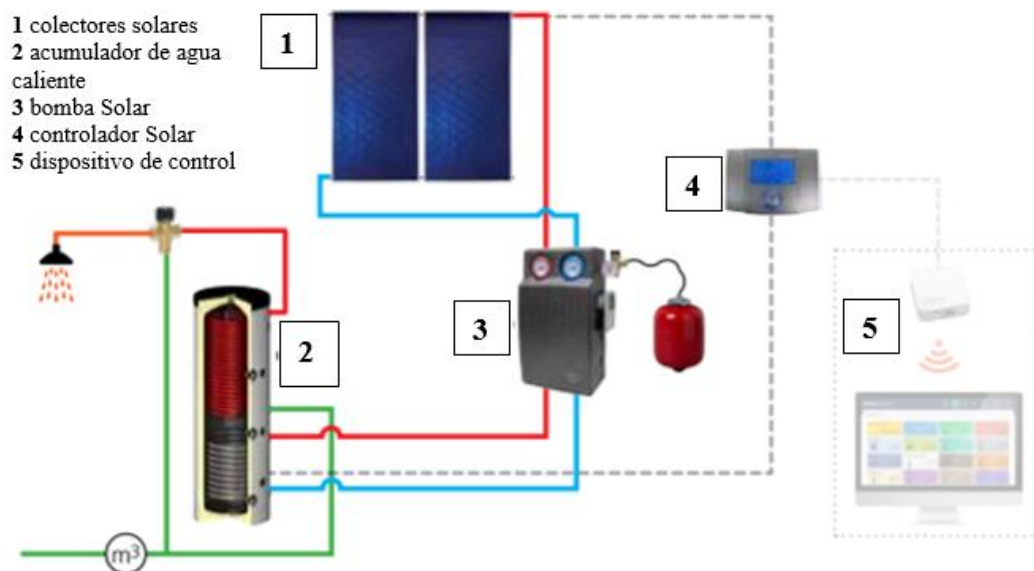


Figura 16 Esquema hidráulico - Sistema Solar Forzado. Adaptado de:(Solius, 2015)

En Portugal, con el decreto ley 80/06 del 4 de abril, la implementación de paneles solares térmicos para la producción de aguas sanitarias, pasó a ser obligatoria. Este tipo de energía también puede ser utilizada para la calefacción, la iluminación o para generar electricidad dentro de la edificación (Costa *et al.*, 2014).

- **Sistemas de bomba de calor geotérmicas (GSHP)**

Las bombas de calor geotérmicas aprovechan la temperatura estable del terreno para proporcionar calefacción en invierno, refrigeración en verano y agua caliente durante todo el año, de manera eficiente. Una bomba de calor geotérmica (Figura 17), es un equipo compacto y silencioso que estará instalado dentro de la edificación, los captadores subterráneos pueden ser instalados de manera vertical u horizontal, dependiendo de la superficie exterior disponible (Vaillant, 2016).





*Figura 17 Bomba de calor geotérmica. Tomado de: (Vaillant, 2016)*

Este tipo de sistemas pueden tener 3 fuentes diferentes de calor, como se muestra en la Figura 18.

- **Tradicional:** este sistema de captación de energía se realiza de forma directa, las instalaciones geotérmicas pueden llevarse a cabo con perforaciones verticales o captadores horizontales.
- **Aguas subterráneas:** este sistema es realizado cuando el terreno tiene una garantía permanente de caudales mínimos, para así aprovechar las aguas subterráneas y obtener una captación abierta.
- **Aire exterior:** este sistema instala una bomba de calor aire/agua, la cual aprovecha la energía acumulada en el aire exterior de manera eficiente, en condiciones desfavorables.



*Figura 18 Izquierda: Sistema Tradicional, Centro: Sistema Subterráneo, Derecha: Sistema externo. Tomado de: (Vaillant, 2016)*

- **Energía de Biomasa**

Cada año, una hectárea de bosque o de cultivo puede producir entre 8000 y 40000 kWh de energía térmica útil, suficiente para una vivienda unifamiliar. En Europa la biomasa es un recurso abundante y la fuente de suministro puede variar dependiendo de la ubicación: leñas o restos de claras en montes locales, residuos de serrerías, de empresas de construcción o de carpinterías, y también residuos de cultivos agrícolas o de producción de alimentos como la cascara de almendra o nuez. Algunas de las ventajas de estos combustibles son (BIOHEAT, 2002):

- Son renovables, regenerándose constantemente con la ayuda del sol;
- Su uso apoya el desarrollo sostenible y la economía del medio rural y forestal;
- Están disponibles en los alrededores del lugar de aplicación y su utilización consolida la economía y la creación de empleo locales.

Las calderas modernas queman biomasa de alta calidad como astillas de madera, pellets o residuos agrícolas, sin humos y con emisiones comparables a los sistemas modernos de gasoil y gas. La mayor ventaja de estos sistemas, se encuentra en el balance neutro de emisiones de CO<sub>2</sub>. Algunas ventajas de instalar calderas de biomasa son (caloryfrio, 2015):

- El precio de la biomasa es más estable, debido a que no depende de mercados internacionales como los combustibles fósiles. Adicionalmente, es una energía más barata ya que se genera a partir de recursos locales.
- El alto poder calorífico de los pellets por unidad de peso, (alcanza las 4100 kcal/kg), hace que este tipo de energía sea rentable, con un rendimiento calorífico de hasta el 90%.
- La extracción de biomasa forestal ayuda a la limpieza de los montes, y al uso de los residuos de las industrias.

## • **Energía Eólica**

La energía eólica es el proceso por el cual el viento es utilizado para producir energía mecánica o eléctrica. Las turbinas eólicas convierten la energía cinética del viento en energía mecánica, que posteriormente, es transformada en energía eléctrica (Costa *et al.*, 2014). Actualmente, cerca de un cuarto de la electricidad consumida en Portugal es de origen eólico (APREN, 2014).

El viento es un factor importante para la producción de este tipo de energía, este es influenciado por la forma del suelo, por la cobertura vegetal y la altura de la edificación; así, entre mayor sea la altura donde se encuentren ubicadas las palas, mayor será el aprovechamiento de esta fuente.

La aplicación de la energía eólica está dividida en dos grupos, aerogeneradores de gran dimensión y de pequeña dimensión. Los de gran dimensión, son utilizados principalmente para generar energía en centrales eléctricas, a gran escala, con extensas áreas de parques eólicos. En cambio, los aerogeneradores de pequeña dimensión (menos a 10kW), son principalmente usados para el suministro de energía autosuficiente (Figura 19). En los últimos años, las industrias de aerogeneradores de pequeña escala han recibido mayor atención, y su uso se ha extendido a sistemas de energía para construcciones residenciales, edificaciones comerciales y áreas metropolitanas (Liu and Ho, 2016).



*Figura 19 Aerogeneradores edificio Bahrain World Trade Center. Tomado de de:(ciudadesdelfuturo, 2011)*

### **2.3.2 Agua**

En Portugal, las alteraciones climáticas y la constante degradación ambiental ha transformado el agua en un recurso cada vez más limitado con costos asociados progresivamente, más elevados (Silva, 2014). Es por ello, que se han implementado diferentes alternativas para reducir el consumo de agua en las edificaciones, como, por ejemplo, la utilización de dispositivos más eficientes, y la incorporación de sistemas de aprovechamiento de aguas pluviales o grises.

### 2.3.2.1 Utilización de Dispositivos Eficientes

La ANQIP (Asociación Nacional para la Calidad en las Instalaciones Prediales), a través de diferentes especificaciones técnicas, clasifican los dispositivos de acuerdo a la eficiencia hídrica (Figura 20), la clasificación va desde la eficiencia hídrica E (peor eficiencia), hasta dispositivos con eficiencia A<sup>++</sup> (mejor eficiencia), como sigue:

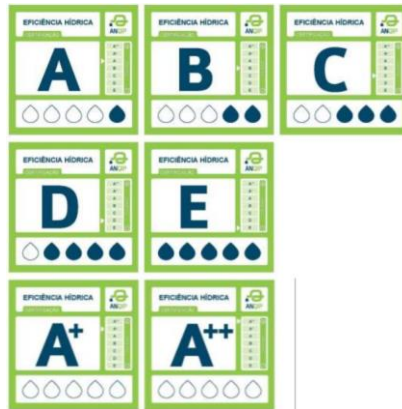


Figura 20 Rótulos Eficiencias Hídrica ANQIP. Tomado de:(ETA0803, 2014)

Por lo tanto, una manera de economizar el consumo de agua, es a través de la selección apropiada de los dispositivos que serán utilizados en la edificación, escogiendo dispositivos que tengan una clasificación A en eficiencia hídrica, y que, además, tengan algunas de las siguientes características (Mateus, 2016):

- **Sanitarios:**

- Preferir sistemas de descarga doble (Figura 21), que tengan opción de media descarga, según la ANQIP, los sistemas de descarga con eficiencia hídrica A, consumen 6 litros/descarga y 3 litros/media descarga;
- No utilizar el sanitario como cesto de basura, es decir, hacer descargas sólo para botar algún residuo sólido o basura en general;
- Otra opción sería, colocar una botella de plástico (1 litro o 1.5 litros), llena de arena, esta práctica, puede ayudar a reducir hasta el 30% de consumo de agua en ese dispositivo.

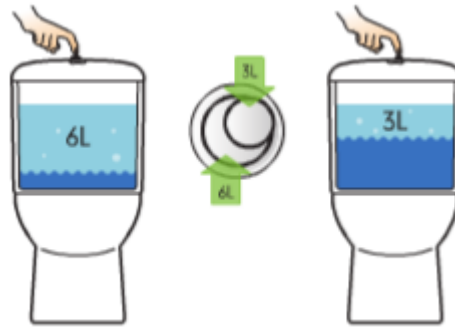


Figura 21 Sistema de doble descarga. Tomado de: (LEROYMERLIN, 2017)

- **Duchas:**

- Utilizar duchas de bajo flujo, es decir, sustituir las duchas que consumen 12 litros/minuto a duchas que consumen 9 litros/minuto, esto representa una reducción de consumos hasta de un 25%;
- Preferir las duchas a las tinas, ya que además de ahorrar agua, las duchas tienen la ventaja de no consumir tanta energía en el calentamiento de la misma;
- Utilizar duchas que tengan incorporado aireadores o reductores de caudal.
- Utilizar sistemas de duchas termostáticas (Figura 22), este tipo de dispositivo permite fijar una temperatura de agua deseada, sin consumos innecesarios de agua y energía. Con una ducha tradicional, se gastan aproximadamente 8 litros para alcanzar la temperatura de confort, mientras que, con este sistema, el agua sale siempre a la temperatura seleccionada y se mantiene durante el tiempo de baño.

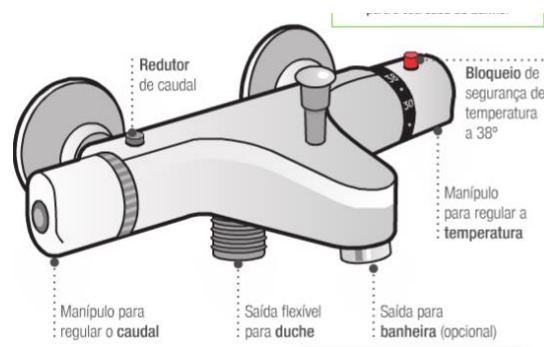
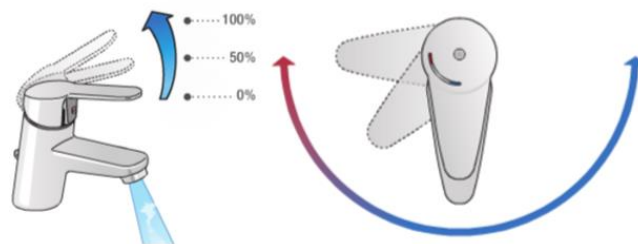


Figura 22 Ducha termostática. Tomado de: (LEROYMERLIN, 2017)

- **Grifos Lavamanos y lavaplatos:**

- Los grifos mono-comando son más favorables que los grifos independientes de agua caliente y agua fría, debido a que, al controlar la abertura y el flujo de agua con una sola perilla, se evita desperdiciar agua para obtener la temperatura deseada.

- Los grifos con perilla de doble posición (Figura 23), permiten accionar la perilla hasta la mitad, para la salida del 50% de agua, o abrirlo totalmente para tener 100% del flujo de agua.
- Los grifos con sistema de abertura central en agua fría, contribuyen al ahorro de energía, debido a que evita el accionamiento del calentador y su respectivo consumo de agua.
- Utilizar reductores de caudal, este tipo de dispositivo reduce a la mitad el consumo de agua.



*Figura 23 Grifo con perilla de doble posición y Grifo con sistema de abertura central en agua fría. Fuente: (LEROYMERLIN, 2017)*

### 2.3.2.2 Sistemas de Aprovechamiento de aguas pluviales

En Portugal ya existe una entidad certificada (ANQIP), que guía y acompaña en la instalación de sistemas de aprovechamiento de aguas pluviales. La ANQIP, es la Asociación Nacional para la Calidad de Instalaciones Prediales, es una asociación sin fines lucrativos, que tiene como objetivos la promoción y garantía de la calidad y eficiencia en las instalaciones prediales. Brinda particular importancia a la sostenibilidad, por la relevancia que tiene en el contexto de la calidad y el confort en los edificios y por los problemas que le son asociados (Santos, 2015).

La ANQIP desarrolló dos especificaciones Técnicas, la ETA 0701 y la ETA 0702, las cuales cuáles brindan una seria de criterios, reglas y procedimientos para adoptar en la implementación de un SAAP para fines no potables. La ETA 0701, establece criterios técnicos para la implementación de un SAAP en edificios, para fines no potables, mientras que la ETA 0702, establece condiciones para la certificación del SAAP, realizado de acuerdo a la ETA 0701 (ANQIP, 2009).

Los sistemas de aprovechamiento de aguas pluviales pueden ser caseros (Figura 24), o sistemas complejos. Los caseros son aquellos donde hay una captación de agua de lluvia en una superficie impermeable, que es conducida a un reservorio, para ser usada en el riego, como se puede observar a continuación:



Figura 24 SAAP Casero. Tomado de: (EcoInventos, 2017)

Los sistemas complejos (Figura 25), son aquellos compuestos por procesos específicos como filtrado, bombeo, entre otros; que permiten garantizar las descargas de sanitarios, riego y hasta máquinas de lavar ropa. En la Ilustración se puede evidenciar uno de ellos:

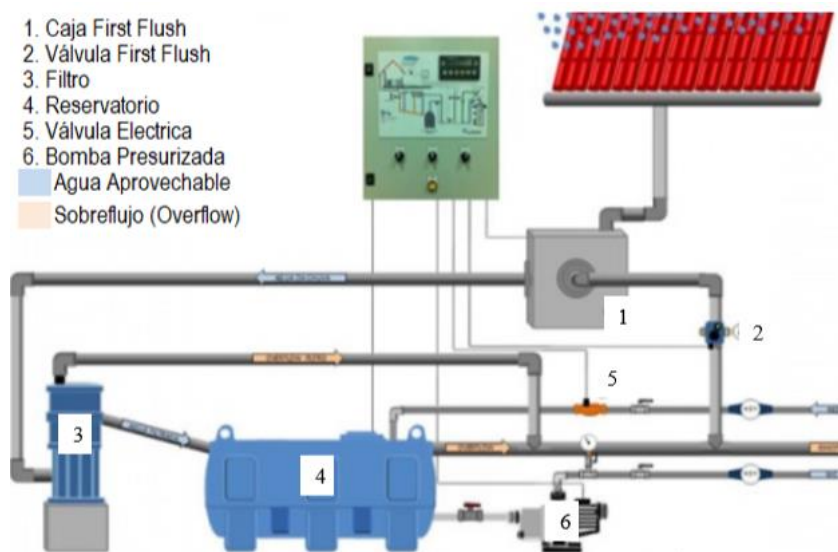


Figura 25 Sistema SAAP Complejo. Adaptado de: (LNÁGUAS, 2015)

Estos SAAP están compuestos por:

- **Superficie de Captación**

Es la superficie impermeable, donde está el primer contacto con el agua lluvia y su respectivo escurrimiento. Entre más grande sea el área de captación, mayor será el aprovechamiento de agua. Generalmente, la superficie de captación en edificaciones es la cubierta, otro tipo de

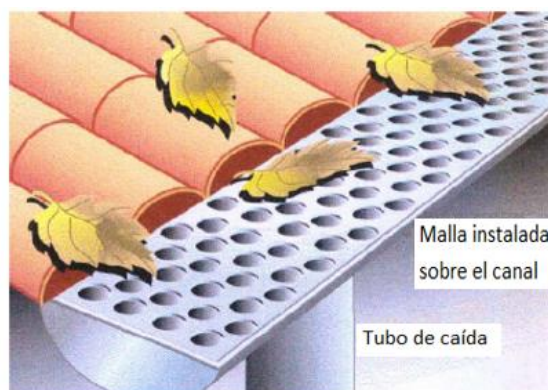
superficie de captación pueden ser los patios, o zonas de estacionamiento, desde que estas sean impermeables. Cada una de las superficies de captación tiene un coeficiente de escurrimiento (C), que representa el cociente entre el volumen total de flujo superficial en un determinado periodo de tiempo y el volumen total precipitado en ese periodo de tiempo. Algunos valores para este coeficiente se muestran en la Tabla 5.

*Tabla 5 Valores de los coeficientes de escorrentía. Adaptado de: (Rodrigues, 2010)*

Tipo de cubierta	Coeficiente de escorrentía
Cubierta impermeable (Teja, cemento, asfalto, etc.)	0.8
Cubierta plana con gravilla	0.6
Cubiertas verdes extensivas (Poco porosas)	0.5
Cubiertas verdes intensivas (muy porosas)	0.3

### • Sistema de transporte

El agua después de ser recogida de la cubierta, fluye hacia los canales y es conducida a través de tubos de caída hasta el reservorio (Figura 26). Los canales pueden estar protegidos por mallas de plástico o metal, que ayudan a retirar los desechos de mayor dimensión, como se muestra en la Ilustración. Los desechos de menor dimensión son removidos posteriormente por los sistemas de filtración (Sacadura, 2011). Los materiales más utilizados para los canales y los tubos de caída son el PVC o aluminio y el acero galvanizado. Los canales de aluminio y de acero galvanizado son recomendados debido a su resistencia a la corrosión, aunque este tipo de canales requieren una mayor inversión inicial comparado con los canales de PVC (Sacadura, 2011).



*Figura 26 Malla de Plástico o metal instalada en el canal. Fuente: (Sacadura, 2011)*

Se recomienda instalar los canales con una inclinación de 1% a 1.5%, para prevenir la concentración del agua, que puede conducir al aumento acumulado de desechos, o al



crecimiento de algas. También es importante asegurar que los componentes de conducción no contengan plomo o cualquier otra sustancia que pueda contaminar el agua (Sacadura, 2011).

### • Caja First Flush (Descarga Inicial)

Después de un periodo de sequía, la primera agua de lluvia que cae en la cubierta debe ser desviada, a fin de eliminar todo tipo de sustancia y desechos que pueda contaminar el agua que será recolectada. Según la especificación técnica portuguesa (ANQIP, 2009), el volumen a desviar puede ser determinado con base en el tiempo o en el área de cubierta y altura de precipitación preestablecida, que puede variar entre 0.5 y 8.5mm, dependiendo de las condiciones del lugar. Este volumen puede ser calculado a través de la ecuación 1.

$$V_d = P \times A \quad (1)$$

Donde,

$V_d$  – Volumen a desviar (litros);

$P$  – Altura de precipitación admitida para el first flush (generalmente 2mm);

$A$  – Área de captación (m<sup>2</sup>).

Cuando es utilizado el tiempo, deberá ser desviado un volumen mínimo correspondiente a los primeros 10 minutos de precipitación, pudiendo adoptar un valor inferior, desde que el intervalo de precipitación no exceda 4 días (ANQIP, 2009). El funcionamiento de una caja first flush se puede evidenciar en la Figura 27.

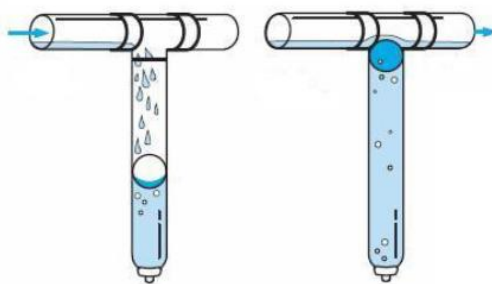


Figura 27 Caja First Flush. Tomado de: (Santos, 2015)

### • Dispositivo de filtrado

Los dispositivos de filtrado, están directamente relacionados con el área de captación. Los filtros más básicos pueden ser mallas metálicas utilizadas en los canales o tubos de caída, y los

más eficientes se pueden colocar en los tubos de caída, o al inicio del reservorio o dentro del mismo. Existe una variedad de tipos de filtros, y su tamaño varía dependiendo del área de captación. Algunos tipos de filtros se presentan a continuación (Santos, 2015):

- Filtro de tubo de caída: es instalado en la parte inferior del tubo de caída. Este tipo de filtros (Figura 28), son utilizados cuando el área de la cubierta es menor a  $70\text{m}^2$  y tiene un caudal de  $2\text{m}^3$  de agua limpia por hora. El tipo de agua recolectada puede ser utilizada para lavar ropa, en las descargas sanitarias o riega de jardines. Un ejemplo de filtro de tubo de caída es el siguiente:



*Figura 28 Filtro de tubo de caída. Tomado de: (ecodepur, 2015)*

- Filtro situado antes del reservorio: Este tipo de filtro tiene capacidad para áreas de captación de hasta  $350\text{m}^2$  y un caudal de hasta  $5.4\text{m}^3$  de agua limpia por hora. Este filtro debe limpiarse una o dos veces por año y el agua recolectada puede ser usada para lavar ropa, descargas sanitarias o riega.
- Filtro industrial: Los filtros anteriormente mencionados son de uso doméstico. Para fines industriales existen filtros con mayores tamaños, capacidades y resistencias (Figura 29). La capacidad de captación es de un área hasta los  $3933\text{m}^2$  y funcionan con un caudal máximo de  $18\text{ l/s}$  o  $64,8\text{ m}^3$  de agua por hora. Un modelo de filtro es el siguiente:



*Figura 29 Filtros industriales. Tomado de: (Santos, 2015)*

Todos los tipos de dispositivos de filtración deben tener un mantenimiento adecuado, de otra manera, obstruyen el flujo de agua pluvial y ayudan al desarrollo de microorganismos patógenos. En el dimensionamiento del reservorio se debe tener en cuenta la eficiencia del equipo de filtrado ( $\eta$ ). Esa eficiencia es la razón entre el volumen de agua pluvial filtrada y que llega al reservorio y el volumen total de agua que llega al filtro. Un valor típico para el coeficiente de filtro es de 0.9, es decir, que el 10% del agua que entra en el filtro es conducida a la red de aguas pluviales (Sacadura, 2011).

### • Reservorio

Seguido de la filtración del agua, esta será almacenada en un reservorio. Los reservorios estarán conectados a una red de drenaje por causa del overflow, a una sonda de nivel conectada a un sistema de control y a la red de abastecimiento de agua no potable. En algunos reservorios también hay una conexión con la red de agua potable pública en caso de falla del agua pluvial.

Existen diferentes tipos de reservorios y variedad de materiales utilizados para su construcción. Actualmente los materiales más utilizados son el concreto, el Polietileno de Alta Densidad (PEAD), el PVC, el fibrocemento o el metal. Y los tipos pueden variar dependiendo de su uso, por ejemplo, los reservorios en acero galvanizado son abiertos y son una excelente solución para el riego de jardines o para sistemas de agua potable (Figura 30).



*Figura 30 Reservorio en Acero Galvanizado para riego. Tomado de: (Santos, 2015)*

Para zonas urbanas es recomendable el uso de reservorios subterráneos y de menores dimensiones, debido a la falta de espacio. Según la especificación técnica ETA 0701, es recomendable la instalación de reservorios subterráneos en lugares con temperaturas bajas, de esta forma, se previene el congelamiento del agua almacenada y se aprovecha la protección geotérmica del suelo (ANQIP, 2009). Uno de los materiales más utilizados para este tipo de reservorios es el PEAD, debido a su variedad y disponibilidad comercial, su superficie interna lisa facilita las operaciones de mantenimiento y en caso de fugas, por medio del calor se puede derretir y moldear el material, conforme sea necesario (Santos, 2015). Uno ejemplo de este tipo de reservorios se muestra en la Figura 31.



*Figura 31 Reservorio en PEAD. Tomado de: (goldenfibra, 2012)*

El tamaño del reservorio está asociado a diversos factores como la precipitación local, el consumo de agua no potable, la duración de los periodos de sequía, el área de captación, y el presupuesto del proyecto (Sacadura, 2011).

- **Bomba**

Debido a que la mayoría de los reservorios se encuentran en cotas inferiores a la red, es necesario que el sistema tenga una bomba para garantizar la presión necesaria de la red. Algunos reservorios ya tienen una bomba sumergida incluida, la cuál debe ser removible para permitir un buen mantenimiento, algunos ejemplos de bombas sumergibles se muestran en la Figura 32.



*Figura 32 Bombas Sumergibles. Tomado de: (Santos, 2015)*

Otros sistemas funcionan con una bomba instalada fuera del reservorio, este tipo de bombas deben respetar los niveles de ruido establecidos por la ley, y estar protegidas de temperaturas extremas y en un lugar ventilado (ANQIP, 2009). Estas bombas deben ser dimensionadas dependiendo del caudal requerido y estarán conectadas a un sistema de control para evitar fallas de abastecimiento o presión.

- **Red de agua no potable**

La red de agua no potable es la encargada de abastecer cada uno de los aparatos en que se utilizará el agua, como, por ejemplo, las descargas sanitarias y riega. Esta red debe tener un medidor de caudal para controlar su funcionamiento y economía. Esta red en la mayoría de los casos va paralela a la red de agua potable que abastece los mismos sistemas. En otros casos solo hay una red y en caso de falla, el reservorio se abastece con agua potable.

- **Red de agua potable**

Todos los sistemas de aprovechamiento de aguas pluviales deben ser dotados con un sistema de abastecimiento alternativo, de forma a asegurar el abastecimiento continuo de agua, cuando no haya suficiente agua pluvial en el reservorio (ANQIP, 2009). En la mayoría de los casos esta red es independiente del sistema SAAP, sin embargo, puede haber una conexión directa al reservorio para combatir posibles fallas por falta de agua pluvial.

- **Sistema de control o Rain Water Control**

Los sistemas de bombeo deben estar equipados con una unidad de control (Figura 33), que permite operar las bombas y protegerlas en los periodos de sequía, proteger el motor por un posible sobrecalentamiento y sobrecarga eléctrica e informar en caso de falla del sistema (Santos, 2015). Las unidades de control permiten también el funcionamiento automático del SAAP, es decir, permite el paso automático para la red pública de abastecimiento, en caso de que el agua pluvial del reservorio sea insuficiente (ANQIP, 2009). Un ejemplo de RainWater control es presentado en la siguiente ilustración:



*Figura 33 Rain Water Controller para SAAP. Tomado de: (RainHarvest, 2011)*

- **Red de drenaje de aguas pluviales**

Es la red que se encarga de conducir el agua pluvial que no es aprovechada, como el agua del first flush y la del Overflow.

### **2.3.2.3 Sistemas de aprovechamiento de Aguas Residuales**

Se consideran aguas grises a aquellas procedentes de los desagües de bañeras, lavamanos, lavaplatos, lavavajillas o lavadoras. Estas aguas se recolectan mediante una red destinada exclusivamente para ello y se almacena en unos depósitos donde reciben un tratamiento específico que permite su posterior utilización (Hidalgo, 2015).

El agua “gris” tratada no dispone de la calidad de agua potable, pero aún cumple la calidad necesaria para que se utilice en las cisternas de los inodoros (que llegan a consumir hasta el 30% del agua suministra a una edificación), para el riego y hasta para lavar la ropa. Las aguas grises contienen sólo un 10% del nitrógeno que contienen las aguas negras. Este componente

es el más serio y difícil de retirar como agente de polución que afecta el agua potable. Algunos usos que se le puede dar a este tipo de agua son:

- **Riego de jardines:** el fosforo, potasio y nitrógeno que contienen las aguas grises, son fuente de polución para lagos, ríos y aguas de terreno. Adicionalmente, son fuentes de nutrición para plantas y abonos.
- **Agua de limpieza en espacios exteriores:** para esta actividad, se requiere un tratamiento inicial, que puede ser efectuado mediante equipos de depuración.
- **Llenado de cisternas de inodoros:** es la utilización más directa y fácil, dado el bajo nivel de depuración que requieren. Con esta medida, se podría ahorrar alrededor de 50 litros/personas/día, es decir, entre un 20 y un 30% del consumo diario.

### 2.3.3 Gestión de Residuos

La construcción es una de las industrias que más residuos genera mundialmente, desde la fase de producción y transporte de materiales, pasando por la fase de construcción, hasta la demolición de edificaciones; siendo estas dos últimas, las que más residuos generan. Es por ello, necesario implementar las siguientes medidas para la reducción de residuos (Costa *et al.*, 2014):

- Promover la utilización de materiales que generen menor cantidad de residuos y evitar materiales compuestos, que impiden su separación;
- Preferir el desmantelamiento a la demolición, debido a que con la primera medida es posible reutilizar materiales en futuras construcciones, y facilita el reciclaje de materiales constructivos;
- Preferir conexiones mecánicas a conexiones químicas, pues, facilitan su separación y reciclaje.

Para promover la reducción de residuos en la fase de operación, es indispensable planear el edificio con eco-puntos domésticos al interior de cada apartamento, en caso de que existe sistema de recolección de residuos puerta a puerta, el edificio deberá tener además un lugar para la separación y almacenaje de residuos (Mateus, 2016).

### 3 METOLOGIA DE ESTUDIO

Este estudio está dividido en dos fases. En una primera fase se evaluará el nivel de sostenibilidad de un edificio residencial multifamiliar en Portugal mediante la metodología SBTTool<sup>PT</sup>-H. En una segunda fase, se implementarán mejoras que optimicen el nivel de sostenibilidad del edificio, sin afectar en gran medida los costos de construcción.

La metodología SBTTool<sup>PT</sup>-H tiene como objetivo respaldar a los proyectistas desde las etapas iniciales de diseño de edificios residenciales sostenibles y permitir la evaluación y certificación de la sostenibilidad de edificios existentes, nuevos o renovados, situados principalmente en zonas urbanas. Esta metodología fue adaptada al contexto portugués de la construcción de edificios, desde el punto de vista ambiental, sociocultural y económico (Mateus, 2016).

Las siguientes prioridades fueron definidas en el desarrollo de la metodología SBTTool<sup>PT</sup> (Mateus and Bragança, 2011):

- Desarrollar una lista de parámetros lo suficientemente grande para abarcar los impactos más importantes de los edificios y al mismo tiempo, práctica en su uso;
- Desarrollar una metodología de evaluación basada en el estado de arte actual y en los estándares de normalización en curso;
- Establecer un balance adecuado entre las tres dimensiones de sostenibilidad: ambiental, social y económica;
- Limitar y excluir los indicadores subjetivos o cualitativos que son de difícil evaluación;
- Generar un resultado de evaluación y un certificado que sea de fácil interpretación tanto para los usuarios, como para los clientes o diseñadores.

#### 3.1 Fronteras de evaluación

La metodología SBTTool<sup>PT</sup>-H está orientada a evaluar a la escala del edificio o un conjunto de edificios. Sin embargo, esta metodología contempla aspectos que, a pesar de no estar directamente relacionado con las decisiones de los proyectistas, pueden influenciar



significativamente la calidad de vida de los ocupantes y los impactos ambientales durante la fase de utilización del edificio, como, por ejemplo: los lugares de entrenamiento y servicios y el transporte público cercano.

Las fronteras físicas incluyen el edificio en sí, sus fundaciones y los trabajos exteriores en el terreno de implantación. Adicionalmente, tiene en cuenta los sistemas climatización, y se excluyen los impactos de electrodomésticos como la nevera o la estufa. Las fronteras del periodo de tiempo, incluyen todas las fases del ciclo de vida de un edificio nuevo o rehabilitado.

### 3.2 Indicadores, Parámetros y Categorías

La lista desarrollada incluye 24 indicadores de sostenibilidad, 25 parámetros a evaluar distribuidos en 9 categorías que están agrupadas en las tres dimensiones de sostenibilidad (ambiental, social y económica), como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6 Indicadores, parámetros y categorías de la metodología SBTTool<sup>PT</sup>-H. Adaptada de:(Mateus, 2016)

Dimensiones	Categorías	Indicadores	Parámetros	ID
DA - Ambiental	C1 - Alteraciones climáticas y calidad del aire exterior	Impacto ambiental asociado al ciclo de vida de los edificios	Valor agregado de las categorías de impacto ambiental del ciclo de vida del edificio por m <sup>2</sup> de área útil de suelo y por año	P1
		Densidad urbana	Porcentaje utilizado del índice de utilización líquido disponible	P2
			Índice de impermeabilización	P3
	C2 - Uso del suelo y biodiversidad	Reutilización del suelo previamente edificado o contaminado	Porcentaje del área de intervención previamente contaminada o edificada	P4
		Uso de plantas autóctonas	Porcentaje de áreas verdes ocupadas por plantas autóctonas	P5
		Efecto de isla de calor	Porcentaje de área en planta con reflectancia igual o superior al 60%	P6
	C3 - Energía	Energía primaria no renovable	Consumo de energía primaria no renovable en la fase de utilización	P7
		Energía producida localmente a partir de fuentes renovables	Cantidad de energía que es producida en el edificio a través de fuentes renovables	P8
		Reutilización de materiales	Porcentaje en costo de materiales reutilizados	P9
	C4 - Materiales y residuos sólidos	Utilización de materiales reciclados	Porcentaje en peso del contenido reciclado del edificio	P10
		Recurso a materiales certificados	Porcentaje en costo de productos de base orgánica que son certificados	P11
		Uso de sustitutos del cemento en el concreto	Porcentaje en masa de materiales sustitutos del cemento en el concreto	P12
		Condiciones de almacenamiento de residuos sólidos durante la fase de utilización del edificio	Potencial de las condiciones del edificio para la promoción de la separación de residuos sólidos	P13
	C5 - Agua	Consumo de agua	Volumen anual de agua consumida <i>per capita</i> en el interior del edificio	P14
		Reutilización y utilización del agua no potable	Porcentaje de reducción del consumo de agua potable	P15
DS - Social	C6 - Confort y salud de los utilizadores	Eficiencia de la ventilación natural en espacios interiores	Potencial de la ventilación natural	P16
		Toxicidad de los materiales de acabado	Porcentaje en peso de materiales de acabado con bajo contenido de COV	P17
		Confort térmico	Nivel de confort térmico media anual	P18
		Confort visual	Media del factor de luz del día medio	P19
	C7 - Accesibilidad	Confort acústico	Nivel medio del aislamiento acústico	P20
		Accesibilidad a los transportes públicos	Índice de accesibilidad a los transportes públicos	P21
		Accesibilidad a las amenidades	Índice de accesibilidad a las amenidades	P22
	C8 - Sensibilización y educación para la sostenibilidad	Formación de los ocupantes	Disponibilidad del contenido del Manual del Utilizador del Edificio	P23
DE - Económica	C9 - Costos del ciclo de vida	Costo de inversión inicial	Valor del costo de inversión inicial por m <sup>2</sup> de área útil	P24
		Costo de utilización	Valor anual de los costos de utilización por m <sup>2</sup> de área útil	P25

### 3.3 Proceso de evaluación

El proceso de evaluación está compuesto por tres fases; la primera, es la cuantificación del desempeño a nivel de cada indicador; la segunda, es la cuantificación del desempeño a nivel de las categorías y cuantificación del nivel de sostenibilidad, y, por último, se genera el certificado de sostenibilidad.

#### 3.3.1 Cuantificación del desempeño de cada indicador

Esta fase comprende la cuantificación y normalización de los 25 parámetros. Cada uno de estos será evaluado teniendo en cuenta los resultados de estudios anteriores, opinión de especialistas procesamiento de bases de datos y herramientas de simulación. En la etapa de normalización es utilizada la ecuación de Diaz-Balteiro (Ecuación 2), donde se fija un valor adimensional que expresa el desempeño del edificio en relación a los desempeños de la mejor práctica, y la práctica convencional:

$$\bar{P}_i = \frac{P_i - P_{i*}}{P_i^* - P_{i*}} \quad (2)$$

En esta ecuación  $\bar{P}_i$  es el resultado de la normalización del parámetro  $i$ ,  $P_i$  es el valor resultante de la cuantificación y,  $P_i^*$  y  $P_{i*}$  son las referencias del parámetro  $i$ , representado respectivamente los niveles de la mejor práctica y la práctica convencional.

Después de tener los valores normalizados, estos, son convertidos a una escala cualitativa (Tabla 7), comprendida entre E (menos sostenible), y A<sup>+</sup> (más sostenible). En la escala cualitativa el nivel A corresponde a la mejor práctica y el nivel D corresponde a la práctica convencional, como se muestra a continuación:

Tabla 7 Escala cualitativa metodología SBTTool<sup>PT</sup>-H. Adaptada de:(Mateus, 2016)

Escala cualitativa	Valor normalizado
A+	$\bar{P} > 1,00$
A	$0,70 < \bar{P} \leq 1,00$
B	$0,40 < \bar{P} \leq 0,70$
C	$0,10 < \bar{P} \leq 0,40$
D	$0,00 < \bar{P} \leq 0,10$
E	$\bar{P} < 0,00$

### 3.3.2 Cuantificación del desempeño a nivel de las categorías, dimensiones y cuantificación del Nivel de Sostenibilidad

Para la obtención de macro indicadores de sostenibilidad, se deben cuantificar en primer lugar las 9 categorías de sostenibilidad, seguidamente, se realiza la cuantificación a nivel de las tres dimensiones de sostenibilidad y, por último, se sintetiza un único valor (Nivel de sostenibilidad – NS), o desempeño global del edificio. En este proceso, puede ser calculado a través de la ecuación 3.

$$I_j = \sum_{i=1}^n w_i x_i \quad (3)$$

Donde,  $I_j$  corresponde al valor del macro indicador y resulta de la ponderación de cada indicador, categoría o dimensión ( $I_i$ ) con el respectivo peso ( $w_i$ ) en la evaluación de sostenibilidad. La suma de los pesos utilizados en la obtención de cada uno de los niveles deberá ser igual a 1.

### 3.3.3 Certificado de sostenibilidad

El certificado de sostenibilidad de la metodología SBTool<sup>PT</sup>-H adaptó un enfoque similar al del certificado energético de edificios y electrodomésticos. Este certificado (Figura 34), está compuesto por tres campos: 1 - identificación del edificio, que reúne información como, por ejemplo, el tipo de edificio, el lugar de implantación, etc.; 2 - Etiqueta de sostenibilidad, donde se presenta el nivel de sostenibilidad del edificio y su desempeño a nivel de las tres dimensiones de sostenibilidad; 3 - Desempeño de cada categoría, donde se presenta el nivel de desempeño de cada una de las 9 categorías, resaltando los aspectos que pueden ser mejorados en el edificio.



Figura 34 Rótulo Certificado de Sostenibilidad SBTool<sup>PT</sup>-H. Tomado de: (Mateus, 2016)

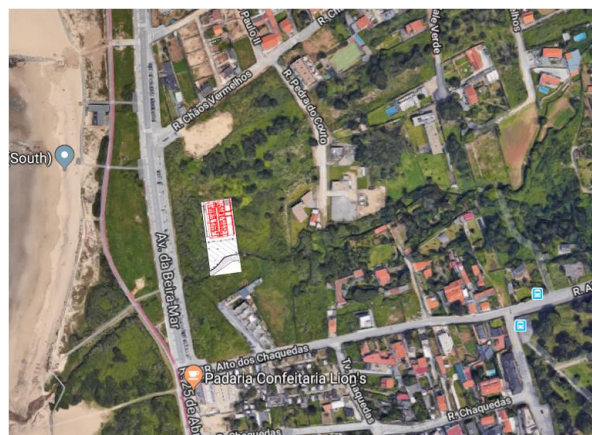
Adicionalmente, se utilizó el software Design Builder para evaluar el parámetro 18 de la metodología SBTool<sup>PT</sup>-H. DesignBuilder es un software especializado en la simulación ambiental y energética de edificios. Permite evaluar el nivel de confort, los consumos de energía y las emisiones de carbono del edificio en estudio. Es una herramienta de alto desempeño para el diseño, la consultoría y la certificación energética.



## 4 CASO DE ESTUDIO: Edificio Residencial Multifamiliar en Vila Nova de Gaia

### 4.1 Presentación del caso de estudio

El edificio en estudio, es un edificio multifamiliar compuesto por cuatro pisos, localizado en la Freguesia de Canidelo, consejo de Vila Nova de Gaia, a una altitud de 9m, con una distancia a la costa inferior a los 5km, como se muestra en la Figura 35.



*Figura 35 Localización Edificio en estudio*

El edificio cuenta con fachadas en la orientación Norte, Sur, Este y Oeste (Figura 36), y su fachada principal se encuentra ubicada en la orientación Este. Está constituido por 18 apartamentos con tipologías T2 y T3.



*Figura 36 Modelo en Revit, Edificio en estudio*

## **4.2 Evaluación sostenible mediante la metodología SBTool<sup>PT</sup>-H**

### **4.2.1 P1 – Valor agregado de las categorías de impacto ambiental del ciclo de vida por m<sup>2</sup> de área útil de pavimento y por año**

Este parámetro promueve la utilización de materiales y equipos de climatización y producción de aguas sanitarias que presenten un bajo impacto sobre el medio ambiente, en todo su ciclo de vida. Los materiales como el concreto provocan altos impactos a nivel ambiental, debido a la cantidad de energía necesaria para la fabricación de sus componentes y a los residuos generados en la fase de demolición.

El desempeño ambiental del edificio en evaluación durante su ciclo de vida, es obtenido a través de la comparación de su valor agregado de las categorías de impacto ambiental de ciclo de vida por m<sup>2</sup> de área útil de pavimentos por año ( $P_{LCA}$ ), con el valor obtenido de la solución convencional y con el de la mejor práctica actual. Los parámetros ambientales considerados son GWP (Potencial del Calentamiento Global), ODP (Potencial de la Destrucción de la Capa de Ozono), AP (Potencial de Acidificación), POCP (Potencial de Oxidación Química), EP (Potencial de Eutrofización) y FFDP (Energía no renovable Incorporada).

Debido a que el edificio presenta un sistema constructivo tradicional en Portugal, donde la estructura es un sistema porticado de vigas y columnas en concreto armado, el edificio tiene un comportamiento igual a la práctica convencional, por lo tanto, el valor de P1 es 0, y en la escala cualitativa tiene clase D.

#### 4.2.2 P2 – Porcentaje Utilizado del índice de utilización líquido disponible

El desempeño del edificio a nivel de este parámetro se expresa a través del porcentaje utilizado del índice de utilización líquido disponible ( $P_{AUL}$ ), que resulta del cociente entre el índice de utilización líquido del edificio y el índice máximo disponible según el PDM (Plan Director Municipal) del lugar.

Para ello, se calcula el índice de utilización líquido del edificio en cuestión ( $IUL$ ). El índice de utilización líquido es el cociente entre el área bruta total y el área de la parcela, en que:

**Área Bruta Total:** Valor expresado en  $m^2$ , resultante de la sumatoria de las áreas de todos los pisos, medidas por el lado externo de las paredes exteriores con exclusión de los áticos no habitables, áreas destinadas a estacionamiento, áreas técnicas, terrazas, balcones, jardines, andenes, y otros espacios libres de uso público cubiertos por la edificación.

Los pisos referentes a la planta del sótano y cubierta no son tenidos en cuenta, debido a los requerimientos descritos anteriormente. Así, la planta baja, la planta 1 y 2 tienen las áreas brutas mostradas en la Tabla 8.

*Tabla 8 Área Bruta Edificio en estudio*

Área Bruta total	
Edificio en estudio	
Planta Baja	577.41m <sup>2</sup>
Piso 1	581.10m <sup>2</sup>
Piso 2	581.10m <sup>2</sup>
Total	1,739.62m <sup>2</sup>



**Área de la Parcela:** Área del terreno, marginada por la vía pública, susceptible de construcción o de urbanización (Figura 37). El área de la parcela del edificio es de 2427m<sup>2</sup>.

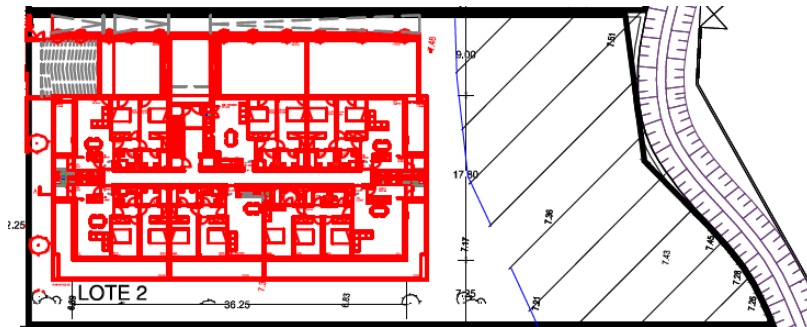


Figura 37 Planta de Localización y de Implantación

**Índice de Utilización Líquido:** Es el cociente entre la Área Bruta Total y la Área da Parcela, calculado a través de la ecuación 4.

$$IUL = \frac{1739.62}{2427} = 0.72 \quad (4)$$

**Índice de Utilización Líquido Máximo:** El ( $IUL_{max}$ ), se encuentra en el PDM de Vila Nova de Gaia (Figura 38), donde se define el área en estudio como suelo urbano, con la siguiente categoría y subcategoría de calificación del uso del suelo: Áreas de Expansión Urbana de Uso General: Áreas de Expansión Urbana Tipología Mixta de tipo II, con un índice de construcción bruto máximo de 0,8.

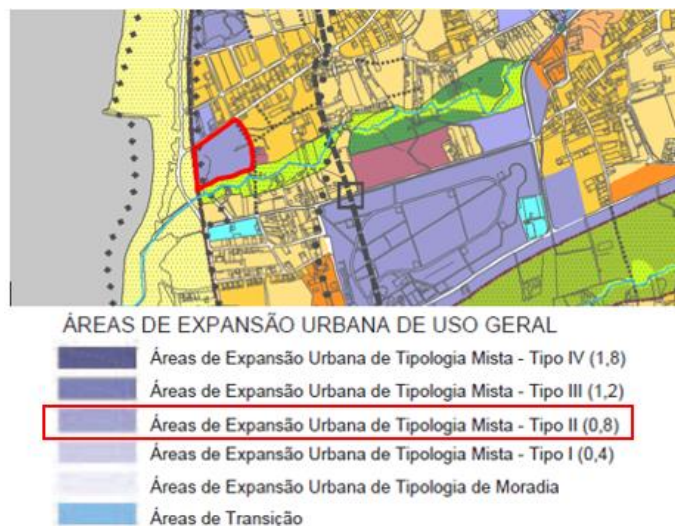


Figura 38 Clasificación del uso del suelo. Adaptado de: (PDM, 2009)

**Porcentaje utilizado del índice de utilización disponible:** El ( $P_{AUL}$ ), es el cociente entre el índice de utilización líquido y el índice de utilización máximo, calculado a través de la ecuación 5.

$$P_{AUL} = \frac{0.72}{0.8} = 90\% \quad (5)$$

Por último, el valor normalizado del parámetro P2 es 1.00, y en la escala de evaluación cualitativa tiene clase A.

### 4.2.3 P3 – Índice de impermeabilización

El desempeño del edificio a el nivel de este parámetro se evalúa en función del índice de impermeabilización ( $P_{IMP}$ ). Este índice resulta del cociente entre la sumatoria de las áreas del lote ocupadas por la edificación y las áreas pavimentadas con materiales impermeables, incluyendo andenes o jardines, y el área del terreno o superficies de referencia de operación urbanísticas, expresado en m<sup>2</sup> por m<sup>2</sup>.

**Área total de terreno en proyección horizontal:** ( $A_{TOT}$ ), corresponde a el área total de la parcela que ya fue calculada en el parámetro anterior, y tiene un valor de 2427 m<sup>2</sup>.

**Área de superficies del terreno impermeabilizadas en proyección horizontal:**( $A_{IMP}$ ), corresponde a la sumatoria de todas las áreas de implantación del terreno más los elementos anexos.

Por lo tanto, el área impermeable corresponde a la diferencia entre el área total de la parcela (2427 m<sup>2</sup>) y las áreas permeables que son las áreas verdes en proyección horizontal (1261m<sup>2</sup>). Así, el edificio en estudio tiene un  $A_{IMP}$  de 1166m<sup>2</sup>.

**Índice de impermeabilización:** ( $P_{IMP}$ ), este índice es calculado a través de la ecuación 6.

$$P_{IMP} = \frac{A_{IMP}}{A_{TOT}} \times 100\% \quad (6)$$

Así, el índice de impermeabilización es del 48%, donde la mejor tiene un 30% de índice de impermeabilización, y la práctica convencional tiene un 60% de  $P_{IMP}$ . Por último, el valor normalizado del parámetro P3 es de 0.40, y en la escala de evaluación cualitativa tiene clase C.

#### 4.2.4 P4 – Porcentaje del área de intervención previamente contaminada o edificada

El desempeño del edificio a nivel de este parámetro se evalúa a través del valor del Porcentaje del Área previamente Contaminada o Edificada ( $P_{ACE}$ ).

**Área total de intervención:** ( $A_{INT}$ ), corresponde a la sumatoria del área de implantación del edificio, andenes y jardines exteriores, y demás áreas donde se altera la modelación natural del terreno.

**Áreas previamente contaminadas o edificadas:** ( $A_{PCO}$ ), corresponde a la sumatoria de las áreas que satisfacen por lo menos una de las siguientes condiciones:

- El área en estudio está situada en la base de pisos de edificios pre-existentes o edificaciones demolidas en los últimos 2 años.
- El área en estudio que esté totalmente cubierta por otras construcciones como, por ejemplo, pavimentos deportivos, áreas de estacionamiento, andenes, u otras construcciones semejantes que hayan sido demolidas en los últimos 2 años.
- El área en estudio se encuentra contaminada por residuos industriales, que tienen que ser descontaminados antes de la construcción.

El terreno en estudio antes de la construcción del edificio se encontraba sin ningún tipo de intervención, en su estado natural, por lo tanto, el  $P_{ACE}$  es de 0%. La mejor práctica tiene 90% de áreas previamente contaminadas o edificadas, mientras que la práctica convencional tiene 0%. Por último, el valor normalizado del parámetro P4 es de 0, y en la escala de evaluación cualitativa tiene clase D.

#### 4.2.5 P5 – Porcentaje de áreas verdes ocupadas por plantas autóctonas

El desempeño del edificio a nivel de este parámetro se evalúa a través del valor del porcentaje de áreas verdes ocupadas por plantas autóctonas ( $P_{AUT}$ ), que resulta del cociente entre el área verde destinada a plantas autóctonas y el área verde total.

**Áreas destinadas a espacios verdes:** ( $A_{EV}$ ), corresponde a la sumatoria de las zonas verdes, calculada anteriormente, el total de  $A_{EV}$  es de 1261m<sup>2</sup>.

**Áreas destinadas a especies autóctonas:** ( $A_{EA}$ ), el edificio en estudio no utiliza plantas autóctonas en las áreas verdes, por lo tanto, el  $A_{EA}$  es de 0m<sup>2</sup>.

**Porcentaje de espacios verdes ocupados por especies vegetales autóctonas:** ( $P_{AUT}$ ), es calculado a través de la ecuación 7.

$$P_{AUT} = \frac{A_{EA}}{A_{EV}} \times 100\% \quad (7)$$

Así, el  $P_{AUT}$  es de 0%. La mejor práctica tiene 90% de porcentaje de área previamente contaminada o edificada, mientras que la práctica convencional tiene 30%. Por lo tanto, el valor normalizado de parámetro P5 es de -0.2, y en la escala de evaluación cualitativa tiene clase E.

#### **4.2.6 P6 – Porcentaje del área en planta con reflectancia igual o superior al 60%**

El desempeño del edificio a nivel de este parámetro se evalúa a través del valor del porcentaje del área em planta con reflectancia igual o superior al 60% ( $P_{RFL}$ ) y resulta del cociente entre la sumatoria de las áreas de espacios verdes del edificio en proyección horizontal ( $A_{EV}$ ) con el área construida en proyección horizontal (pavimentos exteriores no cubiertos y coberturas) con reflectancia igual o superior al 60% ( $A_{RFL}$ ) y el área total de la parcela del terreno en proyección horizontal ( $A_{TOT}$ ).

**Área construida en proyección horizontal con reflectancia igual o superior al 60%:** ( $A_{RFL}$ ), corresponde a la sumatoria de las áreas de pavimentos no cubiertos y coberturas con una reflectancia igual o superior a 60%.

- Pavimentos no cubiertos: Estos pavimentos son construidos en concreto, y según la tabla tomada de la guía de evaluación SBTool<sup>PT</sup>-H, el valor de la reflectancia es de 33%.

- Cubierta: La cubierta del edificio en estudio tiene un acabado exterior en grava, y según la tabla de la guía de evaluación SBTool<sup>PT</sup>-H, el valor de la reflectancia para agregados de color claro es de 35%.

Así, los pavimentos no cubiertos y la cobertura del edificio tienen una reflectancia menor al 60%, por lo tanto, el  $A_{RFL}$  es de 0 m<sup>2</sup>.

**Porcentaje del área en planta con reflectancia igual o superior al 60%:** ( $P_{RFL}$ ), es calculado a través de la ecuación 8.

$$P_{RFL} = \frac{A_{EA} + A_{RFL}}{A_{TOT}} \times 100\% \quad (8)$$

Así, el  $P_{RFL}$  es de 51.56%. La mejor practica tiene un 90% de  $P_{RFL}$ , mientras que la práctica convencional tiene un 40%. Por lo tanto, el valor normalizado de parámetro P6 es de 0.24, y en la escala de evaluación cualitativa tiene clase C.

#### **4.2.7 P7 – Consumo de energía primaria no renovable en la fase de utilización**

El desempeño del edificio a nivel de este parámetro se evalúa a través del valor estimado de Energía Primaria no Renovable ( $P_{ENR}$ ), que será consumida durante la fase utilización del edificio, según la metodología del REH.

La práctica convencional corresponde al valor máximo reglamentar para las necesidades anuales globales de energía primaria para climatización y para la producción de aguas sanitarias  $N_t$  en (kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>. año), la mejor práctica corresponde al 25% de  $N_t$  en (kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>. año) y la solución en estudio corresponde al valor de las necesidades anuales globales de energía primaria para climatización y para la producción de aguas sanitarias  $N_{tc}$  en (kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>. año).

El desempeño global del edificio es determinado a través de la media ponderada del desempeño obtenido para cada fracción (Apartamento), en función de su área útil, como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9 Cálculo del parámetro 7

T	Nº F	Ap (m <sup>2</sup> )	Ntc (kgep/m <sup>2</sup> .ano)	Nt (kgep/m <sup>2</sup> .ano)	Melhor prática	Prática convencional	PENR
T2	APA01	72.77	18.80	52.38	13.10	52.38	18.80
T2	APA02	77.5	20.16	57.1	14.28	57.10	20.16
T3	APA03	107.3	19.48	53.76	13.44	53.76	19.48
T2	APA04	71.58	19.12	51.04	12.76	51.04	19.12
T2	APA05	73.97	25.33	58.83	14.71	58.83	25.33
T2	APA06	73.97	23.72	60.6	15.15	60.60	23.72
T2	APA1.1	74.83	17.77	47.37	11.84	47.37	17.77
T2	APA1.2	78.19	18.41	49.66	12.42	49.66	18.41
T3	APA1.3	108.35	17.64	47.49	11.87	47.49	17.64
T2	APA1.4	71.58	18.07	46.05	11.51	46.05	18.07
T2	APA1.5	75.16	22.97	51.82	12.96	51.82	22.97
T2	APA1.6	75.16	22.26	54.84	13.71	54.84	22.26
T2	APA2.1	74.83	23.2	58.28	14.57	58.28	23.20
T2	APA2.2	78.19	24.17	59.8	14.95	59.80	24.17
T3	APA2.3	108.35	23.96	58.72	14.68	58.72	23.96
T2	APA2.4	71.58	23.62	56.83	14.21	56.83	23.62
T2	APA2.5	75.16	29.52	62.63	15.66	62.63	29.52
T2	APA2.6	75.16	27.16	62.41	15.60	62.41	27.16
Valores ponderados em função do n.º de apartamentos e da área útil					13.72	54.89	<b>21.86</b>

Por lo tanto, la mejor práctica tiene 13.72 (kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>. año), la práctica convencional tiene 54.89 (kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>. año) y el edificio en estudio tiene 21.86 (kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>. año). Por lo tanto, el valor normalizado para el parámetro P7 es de 0.8, y en la escala de evaluación cualitativa tiene clase A.

#### 4.2.8 P8 – Cantidad de energía que es producida en el edificio a través de fuentes renovables

El desempeño del edificio a nivel de este parámetro se evalúa a través del valor estimado de la cantidad de energía producida a través de fuentes renovables ( $P_{ER}$ ). Actualmente, los sistemas que utilizan energía producida a partir de fuentes renovables, que son convencionalmente aplicados en los edificios, son los colectores solares térmicos.

**Cantidad de energía producida anualmente en el edificio a través de fuentes renovables:** ( $P_{ER}$ ), es calculado a través de la ecuación 9.

$$P_{ER} = \frac{E_{solar} + E_{ren}}{A_p} \quad (9)$$

Donde,

$E_{solar}$  – Contribución de sistemas de colectores solares para calefacción de aguas sanitarias;

$E_{ren}$  – Contribución de cualquier otra forma de energía renovable (solar fotovoltaica, biomasa, eólica, geotérmica, etc.) así como cualquier forma de recuperación de calor de sistemas o fluidos residuales;

$A_p$  – Área útil del pavimento.

Según el pre-certificado energético emitido por la ADENE, la contribución de sistemas de colectores solares para la producción de aguas sanitarias ( $E_{solar}$ ), para las fracciones en estudio de tipología T2 (3 ocupantes), es de 1128kWh/año, y para las fracciones de tipología T3 (4 ocupantes), es de 1802 kWh/año.

**Energía útil consumida por los sistemas convencional de producción de aguas residuales:**

( $QA$ ) en (kW. h<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>. año) por m<sup>2</sup> de área útil, de acuerdo con la metodología referida en el Despacho n. 15793-I/2013, y calculado a través de la ecuación 10.

$$QA = \frac{Q_a}{0.95 \times A_p} \quad (10)$$

Donde,

$Q_a$  – Energía útil consumida por los sistemas convencionales para la producción de agua sanitarias, en (kW. h/año), calculada a través de la ecuación 11.

$A_p$  – Área útil del pavimento.

$$Q_a = \frac{M_{AQS} \times 4187 \times 35 \times nd}{3600000} \quad (11)$$

Donde,

$M_{AQS}$  – Consumo medio diario (litros);

$nd$  – Número anual de días de consumo, que para el edificio en estudio se consideran 365 días.

De acuerdo al despacho D15793-I/2013, en los edificios residenciales, el consumo medio diario de referencia, calculado a través de la ecuación 12.

$$M_{AQS} = 40. n. f_{eh} \quad (12)$$

Donde,

$n$  – Número convencional de ocupantes de cada fracción, definido en función de la tipología de la fracción, se debe considerar 2 ocupantes en el caso de la tipología T0, y n+1 ocupantes en las tipologías Tn con n>0;

$f_{eh}$  – Factor de eficiencia hídrica, aplicable a las duchas con certificación o rotulo de eficiencia hídrica. Para duchas con rótulo A o superior,  $f_{eh} = 0.9$ , y los casos restantes el valor de  $f_{eh} = 1$ .

El consumo medio diario para la tipología T2 y T3 es de 120 litros y 160 litros, respectivamente. Y, la energía útil consumida por los sistemas convencionales de producción de aguas sanitarias es mostrada en la Tabla 10.

*Tabla 10 Energía consumida para la calefacción de aguas residuales*

Tipología	Qa (kW.h/año)
T2	1783
T3	2377

**Energía primaria:** ( $N_{tc}'$ ) en (kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>.año) equivalente a 1.2 veces las necesidades anuales nominales globales estimadas de energía primaria, calculada a través de la ecuación 13.

$$N_{tc}' = 1.2 \left( \frac{N_{ic}}{1} \times 2.5 + \frac{N_{vc}}{2.8} \times 2.5 + \frac{Q_a}{(0.95 \times A_p)} \times 1.0 \right) \quad (13)$$

Donde,

$N_{ic}$  – Necesidades nominales anuales de energía útil para la calefacción del ambiente;

$N_{vc}$  – Necesidades nominales anuales de energía útil para la refrigeración del ambiente;

$Q_a$  – Energía útil consumida por los sistemas convencionales para la producción de aguas sanitarias;

$A_p$  – Área útil del pavimento (m<sup>2</sup>).



Tabla 11 Cálculo del parámetro 8

T	NºF	Ap (m <sup>2</sup> )	Nic (kWh/m <sup>2</sup> .año)	Nvc (kWh/m <sup>2</sup> .año)	Qa (kWh/año)	ERen (kWh/año)	Esolar (kWh/año)	Ntc' (kgep/m <sup>2</sup> .año)	PER_* (kWhEP/m <sup>2</sup> .año)	PER (kWh/m <sup>2</sup> .año)
T2	APA01	72.77	8.33	7.90	1783		1128.00	64.4	12.90	15.50
T2	APA02	77.5	14.10	5.44	1783		1128	77.2	12.11	14.55
T3	APA03	107.3	16.23	7.21	2377		1802	84.4	11.66	16.79
T2	APA04	71.58	10.48	6.12	1783		1128	69.5	13.11	15.76
T2	APA05	73.97	19.87	7.57	1783		1128	98.2	12.69	15.25
T2	APA06	73.97	19.94	4.93	1783		1128	95.5	12.69	15.25
T2	APA1.1	74.83	6.46	8.41	1783		1128	58.5	12.54	15.07
T2	APA1.2	78.19	9.79	6.87	1783		1128	65.5	12.00	14.43
T3	APA1.3	108.35	11.75	8.62	2377		1802	72.2	11.55	16.63
T2	APA1.4	71.58	7.4	7.36	1783		1128	61.5	13.11	15.76
T2	APA1.5	75.16	14.61	9.04	1783		1128	83.5	12.49	15.01
T2	APA1.6	75.16	17.58	5.08	1783		1128	88.1	12.49	15.01
T2	APA2.1	74.83	16.28	7.75	1783		1128	87.2	12.54	15.07
T2	APA2.2	78.19	19.79	6.56	1783		1128	95.2	12.00	14.43
T3	APA2.3	108.35	23.12	7.92	2377		1802	105.6	11.55	16.63
T2	APA2.4	71.58	17.19	6.93	1783		1128	90.5	13.11	15.76
T2	APA2.5	75.16	26.38	8.31	1783		1128	118.0	12.49	15.01
T2	APA2.6	75.16	25.25	5.6	1783		1128	111.7	12.49	15.01
<b>Valores ponderados em função do n.º de apartamentos e da área útil</b>								<b>85.067</b>	<b>12.351</b>	<b>15.465</b>

La mejor práctica corresponde a valor de la energía primaria ( $N_{tc}'$ ) en (kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>. año), la práctica convencional tiene el valor del 50% de la energía útil consumida por los sistemas convencional de producción de aguas sanitarias (QA) en (kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>. año), y la solución en estudio corresponde al valor de la energía producida anualmente en el edificio a través de fuentes renovables ( $P_{ER}$ ) en (kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>. año).

Así, el valor de la mejor práctica es de 85.07 (kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>. año), la práctica convencional tiene un valor de 12.35 (kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>. año), y el edificio en estudio tiene un valor 15.47 (kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>. año), como se muestra en la Tabla 11. Por lo tanto, el valor normalizado del parámetro P8 es de 0.04, y en la escala de evaluación cualitativa tiene clase D.

#### 4.2.9 P9 – Porcentaje en costo de materiales reutilizados

El desempeño del edificio a nivel de este parámetro se evalúa a través del valor del porcentaje en costo de materiales reutilizados ( $P_{CREU}$ ), que resulta del cociente entre el valor de los materiales que son reutilizados ( $C_{REU}$ ) y el valor del presupuesto de construcción ( $C_{TOT}$ ).

El edificio en estudio no hace reutilización de materiales, por lo tanto, el porcentaje en costo de materiales reutilizados ( $P_{CREU}$ ) es 0%. El valor de la mejor práctica es de 15% y el de la práctica convencional es de 0%. Por lo tanto, el valor normalizado del parámetro P9 es de 0, y en la escala de evaluación cualitativa tiene clase D.

#### **4.2.10 P10 – Porcentaje en peso del contenido reciclado del edificio**

El desempeño del edificio a nivel de este parámetro se evalúa a través del porcentaje en peso del contenido reciclado del edificio ( $P_{CRE}$ ), que resulta de la media ponderada por la masa del valor normalizado del contenido reciclado del edificio, en función de las referencias específicas de contenido reciclado de cada material utilizado.

El edificio en estudio no utiliza materiales reciclados, por lo tanto, el porcentaje en peso del contenido reciclado del edificio es 0%. El valor normalizado del parámetro P10 es 0, y en la escala de evaluación cualitativa tiene clase D.

#### **4.2.11 P11 – Porcentaje en costo de productos de base orgánica que son certificados**

El desempeño del edificio a nivel de este parámetro se evalúa a través del valor del porcentaje en costo de productos de base orgánica certificados ( $P_{CER}$ ), que resulta del cociente del costo total de productos en madera o base orgánica certificados ( $C_{CER}$ ) y el costo total de los productos de madera o de base orgánica previstos para la construcción ( $C_{PBO}$ ).

El edificio en estudio no cuenta con productos de base orgánica certificados, por lo tanto, el  $P_{CER}$  es de 0%. La mejor práctica tiene un  $P_{CER}$  de 5% y la práctica convencional un  $P_{CER}$  de 0%. Así, el valor normalizado del parámetro P11 es de 0, y en la escala de evaluación cualitativa tiene clase D.

#### **4.2.12 P12 – Porcentaje en masa de materiales sustitutos del cemento en el concreto**

El desempeño del edificio a nivel de este parámetro se evalúa a través del valor del porcentaje en masa de productos sustitutos del cemento en el concreto ( $P_{SUB}$ ), que resulta del cociente entre la masa total de ligantes utilizados en la producción del concreto ( $M_{LIG}$ ) y masa de ligantes sustitutos del cemento en la producción del concreto ( $M_{SUB}$ ).

El concreto utilizado en la construcción del edificio en estudio utiliza 22% de cenizas volantes como ligante en su composición. Por lo tanto, el porcentaje en masa de materiales sustitutos del cemento en el concreto  $P_{SUB}$  es de 22%. La mejor practica tiene 30% y la práctica convencional tiene 0% de  $P_{SUB}$ . Por lo tanto, el valor normalizado del parámetro P12 es de 0.73, y en la escala de evaluación cualitativa tiene clase A.

#### **4.2.13 P13 – Potencial de las condiciones del edificio para la promoción de la separación de residuos sólidos**

El desempeño del edificio a nivel de este parámetro se evalúa a través del valor del potencial de las condiciones del edificio para la promoción de la separación de residuos sólidos ( $P_{RSU}$ ), que resulta de la sumatoria de un conjunto de créditos que son obtenidos a través del cumplimiento de una serie de criterios relacionados con las condiciones interiores y exteriores existentes para el depósito y almacenamiento de residuos domésticos.

El edificio no tiene locales internos adecuados para el depósito de residuos reciclables, pero la zona cuenta con un sistema público de recolección de residuos reciclables (eco-puntos). Donde los contenedores se encuentran situados a una distancia de la puerta del edificio superior a 50m e inferior a 500 (**10 créditos**).

La mejor práctica tiene 50 créditos en el potencial de las condiciones del edificio para la promoción de la separación de residuos sólidos ( $P_{RSU}$ ), y la práctica convencional tiene 10 créditos. Por último, el valor normalizado del parámetro P13 es de 0, y en la escala de evaluación cualitativa tiene clase D.

#### 4.2.14 P14 – Volumen anual de agua consumido *per cápita* en el interior del edificio

El desempeño del edificio a nivel de este parámetro se evalúa a través del volumen anual de agua consumido per cápita en el interior del edificio ( $P_{CA}$ ), que resulta de la sumatoria del cálculo del volumen de agua consumido anualmente, por cada habitante del edificio, en cada uno de los dispositivos usados, en función de la eficiencia de los mismos y de los estándares de consumo medio.

Los dispositivos utilizados para cada fracción son:

- Inodoros con descarga 7.5 (litros/descarga);
- Grifos de agua convencionales (1 litro/uso);
- Grifos de agua para el lavado de loza convencionales (12 litros/uso);
- Duchas (12-15 litros/min);
- Lavadora convencional (75 litros/uso).

En todos los dispositivos, el Volumen Anual de Agua consumida, es calculado a través de la ecuación 14.

$$\begin{aligned}
 & \text{Volumen Anual de agua consumida} \\
 & = \text{Consumo por utilización}(L) \times \text{Proporción en la habitación}(1) \\
 & \times \text{No. de utilizadores por año} \times \text{No. de utilizaciones/día.hab}
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

**Previsión del volumen de agua consumido per cápita en el interior del edificio:** ( $P_{CA}$ ), es de 44.71 ( $m^3/hab. año$ ). La mejor práctica tiene un valor de  $P_{CA}$  de 22 ( $m^3/hab. año$ ) y la práctica convencional tiene un valor de 44 ( $m^3/hab. año$ ). Por lo tanto, el valor normalizado del parámetro P14 es de -0.03 y en la escala de evaluación cualitativa tiene un valor de E.

#### 4.2.15 P15 – Porcentaje de reducción del consumo de agua

El desempeño del edificio a nivel de este parámetro se evalúa a través del porcentaje de reducción del consumo de agua potable ( $P_{RCA}$ ), que resulta del cociente entre la sumatoria del volumen de aguas grises reutilizadas ( $V_{AC}$ ) con la sumatoria del volumen de aguas lluvias utilizadas ( $V_{APL}$ ), y el volumen total de agua consumida en el interior del edificio.

El edificio en estudio no cuenta con sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias o aguas grises, por lo tanto, el porcentaje de reducción del consumo de agua potable es 0% igual a valor de la práctica convencional. La mejor práctica corresponde a una situación en que el 100% del volumen de agua consumido por los inodoros es proveniente del reciclaje de aguas grises o de la reutilización de agua lluvias, y es calculado a través de la ecuación 15.

$$P_{RCA}^* = \frac{V_{BR}}{P_{CA}} \times 100\% \quad (15)$$

Donde,

$V_{BR}$  – Valor estimado del consumo de agua anual per cápita en los inodoros ( $m^3/hab. año$ );

$P_{CA}$  – Valor estimado del consumo de agua anual per cápita en el interior del edificio ( $m^3/hab. año$ ).

Por lo tanto, el valor normalizado del parámetro P15 es de 0, y en la escala de evaluación cualitativa tiene clase D.

#### 4.2.16 P16 – Potencial de ventilación natural

El desempeño del edificio a nivel de este parámetro se evalúa a través del valor del potencial de ventilación natural ( $P_{VN}$ ), que resulta de la sumatoria de una serie de créditos que son obtenidos a través del cumplimiento de un conjunto de criterios que maximizan la eficiencia de la ventilación natural, presentados a continuación:

1. Requisito legal: En todos los espacios habitables de las fracciones es cumplido la tasa de renovación nominal mínima de 0.4 renovaciones por hora previstas en el REH (**Pre-requisito**).
2. Tipo de ventilación existente: Según el pre-certificado térmico en cada fracción solo recurre a la ventilación natural (**10 créditos**).
3. Aspectos relacionados con las plantas de arquitectura: para ello se calcula el porcentaje del área habitable donde es posible la ventilación cruzada ( $P_{Ah}$ ), que es calculada a través de la ecuación 16.

$$P_{Ah} = \frac{Ah_{vc}}{Ah_{tot}} \times 100\% \quad (16)$$

Donde,

$Ah_{vc}$  – Corresponde al área de todos los compartimientos habitables que pueden ser atravesados por una corriente de aire que circula entre dos fachadas paralelas, con longitud hasta 5 veces la altura libre del techo, y de todos los compartimientos habitables con aberturas para el exterior en al menos dos fachadas adyacentes que presenten dimensiones en planta inferiores a 4.5m x 4.5m. En la Figura 39, se evidencia tanto la ventilación cruzada como la unilateral.

$Ah_{tot}$  – Corresponde al área habitable total.

El  $Ah_{vc}$  del edificio en estudio es de 411.95m<sup>2</sup>, mientras que el  $Ah_{tot}$  es de 1443.63m<sup>2</sup>, por lo tanto, el  $P_{Ah}$  es de 29% (**20 créditos**).



Figura 39 Vista en planta de los tipos de ventilación

4. Área de aberturas para el exterior: El área útil del pavimento es de 1443.63m<sup>2</sup>, mientras que el área de las aberturas para el exterior es de 344.3m<sup>2</sup>, por lo tanto, el área de aberturas para el exterior es igual o superior al 10% del área útil del pavimento (**20 créditos**).
5. Tipo de marcos utilizados en los vanos: Los vanos no tienen rejillas de ventilación incorporadas en los marcos y las puertas no son oscilo batientes (**0 créditos**).

Por lo tanto, el  $P_{VN}$  es de 50 créditos, la mejor práctica tiene 60 créditos y la práctica convencional tiene 30 créditos. Así, el valor normalizado del parámetro P16 es de 0.67 y en la escala de evaluación cualitativa tiene clase B.

#### **4.2.17 P17 – Porcentaje en peso de materiales de acabado con bajo contenido de COV**

El desempeño del edificio en lo respecta a la toxicidad de los materiales de acabado es evaluado a través del porcentaje en peso de materiales de acabado con bajo contenido de COV ( $P_{COV}$ ), que resulta del cociente entre la cantidad (en masa), de materiales de revestimiento que contienen bajo contenido de COV (Compuestos Orgánicos Volátiles), y la cantidad (en masa) total de materiales que contienen esos compuestos.

El edificio no cuenta con materiales con bajo contenido de COV, por lo tanto, el  $P_{COV}$  es de 0%. La mejor práctica tiene 90% y la práctica convencional 0%. Así, el valor normalizado del parámetro P17 es de 0 y en la escala de evaluación cualitativa tiene clase D.

#### **4.2.18 P18 – Nivel de confort térmico medio anual**

El confort térmico del edificio es calculado a través del valor del nivel de confort térmico medio anual ( $P_{CT}$ ), que resulta de la media ponderada de la suma del nivel de confort térmico del edificio durante la estación de calefacción ( $P_{CTI}$ ) y de enfriamiento ( $P_{CTV}$ ), en función de la duración de cada estación.

El nivel de confort térmico para la estación de calefacción ( $P_{CTI}$ ), define como referencia de la práctica convencional, el valor de la temperatura operativa correspondiente a la categoría III, lo que significa, que la temperatura operativa de los espacios habitables tiene que ser superior a los 18°C en por lo menos 95% de las horas de la estación de calentamiento. Para la mejor práctica se admite el valor mínimo de 21°C, lo que corresponde a la mejor categoría (Categoría I).

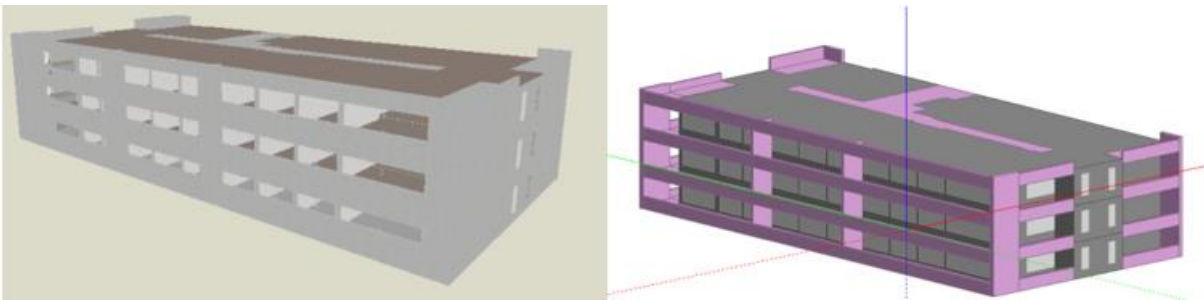
El nivel de confort térmico para la estación de enfriamiento ( $P_{CTV}$ ), es determinado con base en la diferencia entre la temperatura operativa óptima y la temperatura operativa que se verifica

en los espacios habitables. Se definió para la práctica convencional la diferencia máxima correspondiente a la categoría III, lo que significa, que la diferencia entre la temperatura operativa óptima y la temperatura operativa de los espacios habitables sea inferior a 4°C en por lo menos 95% de las horas de esta estación. Para la mejor práctica se admitió una diferencia de 2°C durante el mismo periodo de tiempo (Categoría I).

Este parámetro fue evaluado teniendo en cuenta los siguientes escenarios: el primero, evalúa la arquitectura pasiva del edificio, es decir, se determina el nivel de confort térmico cuando los sistemas de calefacción y enfriamiento están apagados; el segundo escenario, corresponde a la situación donde los sistemas de calefacción y enfriamiento son utilizados cuando sea necesario.

### **Determinación del nivel de confort térmico durante la estación de calefacción**

**Temperatura operativa mínima:** ( $\Theta_{omin95}$ ), es la temperatura que es excedida en por lo menos 95% de las horas de la estación de calefacción y es obtenida a través de la herramienta de simulación dinámica DesignBuilder (Figura 40).



*Figura 40 Simulación Edificio Multifamiliar en DesignBuilder*

Las temperaturas obtenidas de la simulación para cada uno de los escenarios mencionados anteriormente se encuentran en el Anexo 1. Y la temperatura  $\Theta_{omin95}$  obtenida cuando los sistemas están apagados es de 14.3°C y cuando están encendidos es de 18°C.

Para la mejor práctica, la temperatura operativa que es excedida en por lo menos 95% de las horas de la estación de calentamiento es de 21°C, y para la práctica convencional es de 18 °C. Así, el  $\overline{P_{CTI}}$  para el primer escenario es de -1.2 y para el segundo escenario el  $\overline{P_{CTI}}$  es de 0.

### **Determinación del nivel de confort térmico durante la estación de enfriamiento**



**Temperatura Media Exterior acumulada:** ( $\Theta_{rm}$ ), es calculada para cada uno de los días de la estación de enfriamiento, con base en la información climática del lugar, aplicando la ecuación 17.

$$\Theta_{rm} = (\Theta_{ed-1} + 0.8\Theta_{ed-2} + 0.6\Theta_{ed-3} + 0.5\Theta_{ed-4} + 0.4\Theta_{ed-5} + 0.3\Theta_{ed-6} + 0.2\Theta_{ed-7})/3.8 \quad (17)$$

Donde,

$\Theta_{rm}$  – Es la temperatura media exterior acumulada del día en causa;

$\Theta_{ed-1}$  – Es la temperatura media diaria exterior del día anterior al día en causa;

$\Theta_{ed-2}$  – Es la temperatura media diaria exterior de los días antes del día en causa;

$\Theta_{ed-n}$  – Es la temperatura media diaria exterior del día n anterior al día en causa.

**Temperatura operativa óptima:** ( $\Theta_{opt}$ ), es determinada para cada uno de los días de la estación de enfriamiento, a través de la ecuación 18.

$$\Theta_{opt} = 0.33 \times \Theta_{rm} + 18.8 \quad (18)$$

**Temperatura operativa:** ( $\Theta_o$ ), es la temperatura obtenida a través de la herramienta de simulación dinámica para cada una de las horas del periodo del año correspondiente a la estación de enfriamiento.

**Diferencia de temperatura:** ( $\Delta_o$ ), correspondiente a la diferencia entre la temperatura operativa ( $\Theta_o$ ) es la correspondiente a la temperatura operativa optima ( $\Theta_{opt}$ ) para cada una de las horas del periodo del año correspondientes a la estación de enfriamiento. Calculado a través de la ecuación 19.

$$\Delta_o = |\Theta_o - \Theta_{opt}| \quad (19)$$

En el Anexo 1, se encuentran calculadas el 5% de las diferencias de temperatura de la estación de enfriamiento más altas, para cada uno de los escenarios donde el sistema de aire acondicionado se encuentra apagado. La Figura 41, muestra las diferencias de temperatura que no son excedidas en por lo menos 95% de las horas analizadas.

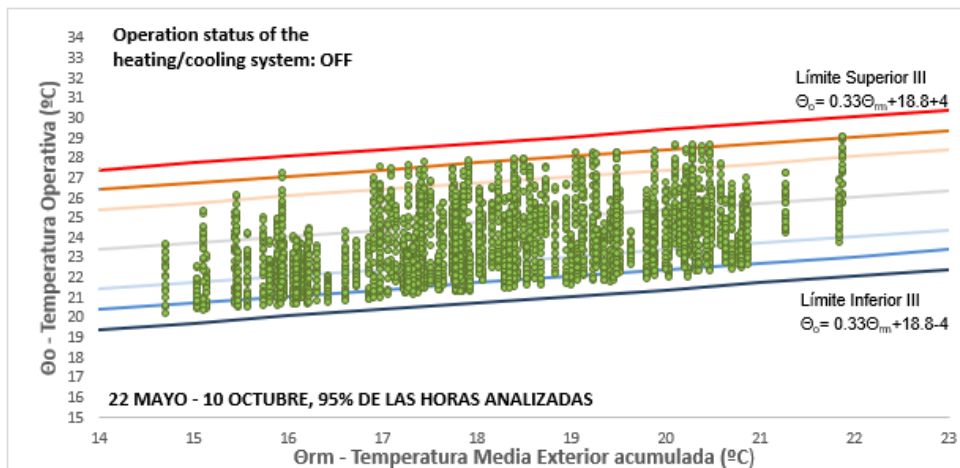


Figura 41 Temperatura media exterior vs Temperatura operativa, sistema apagado

Como se observa en las gráficas, el delta de temperatura no ultrapasa los límites de la categoría III. Así, el  $(\Delta_{095})$ , cuando el sistema de aire acondicionado se encuentra apagado, es de 3.33 °C. En la mejor práctica la diferencia de temperatura que no es excedida en por lo menos 95% de las horas de esta estación es de 2°C, y para la práctica convencional es de 4°C. Por lo tanto, el valor de  $\overline{P_{CTV}}$  es de 0.37.

**Determinación del nivel de confort térmico medio anual**

**Duración de la estación de calefacción:**  $(d_{ei})$ , de acuerdo al pre-certificado térmico y al Despacho n.º15793-F/2013, la estación de calefacción tiene una duración de 6.3 meses, e inicia el 11 de octubre hasta el 21 de mayo.

**Nivel de confort térmico anual:**  $(P_{CT})$ , corresponde a la media ponderada de la sumatoria de los niveles de confort obtenidos para la estación de calefacción y enfriamiento, en función de la duración de cada estación, y es calculado a través de la ecuación 20:

$$\overline{P_{CT}} = \frac{\overline{P_{CTI}} \times d_{ei} - \overline{P_{CTV}} \times 4}{d_{ei} + 4} \tag{20}$$

Por lo tanto, en nivel de confort anual para el escenario 1 es de -0.62°C, y cuando los sistemas están encendidos el nivel de confort anual es de 0.14. Y en la escala de evaluación cualitativa tiene clase C.

#### 4.2.19 P19 – Media del Factor de Luz del Día Medio

El desempeño de cada fracción a nivel de este parámetro es evaluado a través de la media ponderada del valor normalizado del Factor de Luz del Día Medio obtenido para cada compartimiento ( $\overline{P_{FLDMm}}$ ). Este factor es analizado en las siguientes zonas habitables: cocinas, bibliotecas, salas de estar, sala y cuartos. En los edificios multifamiliares se consideran todos los compartimientos habitables mencionados anteriormente que componen las fracciones del edificio.

El método simplificado para el cálculo del Factor de Luz del Día Medio ( $FLDM$ ), fue propuesto por Littlefair (1998), y es calculado a través de la ecuación 21.

$$\overline{FLDM} = \frac{M \cdot W \cdot \theta \cdot T}{A(1 - R)^2} \quad (21)$$

Donde,

$W$ - área total del área acristalada de las ventanas o claraboyas;

$A$ - área total de todas las superficies interiores de los compartimientos (techo, entrepiso, paredes y ventanas);

$R$ - Media ponderada de las reflectancias de las superficies interiores de los compartimientos, en función del área. Tiene un valor de 0.5;

$M$ - Factor de corrección referente a la suciedad del vidrio, en este caso tiene un valor de 1 en los vidrios verticales que pueden ser limpiados fácilmente;

$T$ - Factor de transmisión de la luz visible del vidrio, con un valor de 0.7 para vidrios dobles;

$\theta$ - Ángulo del cielo visible. Corresponde al ángulo formado por los planos inferior y superior que delimitan el área visible del cielo a partir del centro de la ventana del compartimiento (Figura 42).

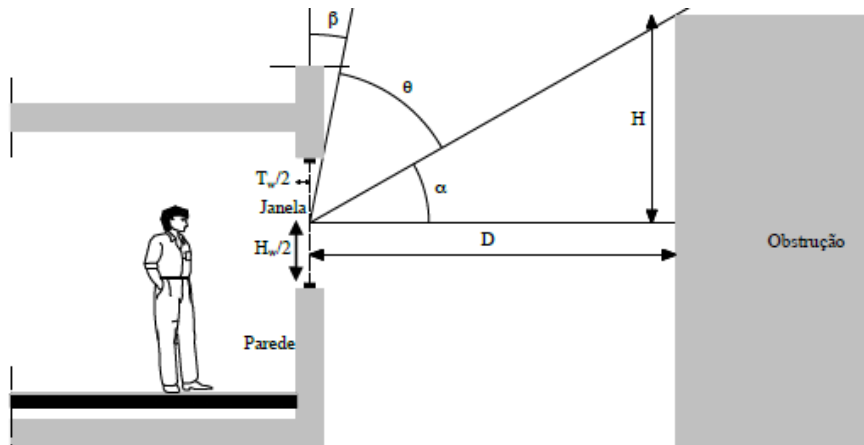


Figura 42 Gráfica del cielo visible

$$\theta = 90 - \alpha - \beta \quad ( 22 )$$

Donde,

$\alpha$ - Según el Despacho 15793-K/2013, es de 20° en el caso de edificios aislados localizados fuera de las zonas urbanas.

El Factor de Luz del Día Medio de la mejor práctica ( $FLDM^*$ ), es de 3% para todas las zonas habitables (cuartos, salas y cocinas), y para la práctica convencional ( $FLDM_*$ ), es de 0.5% para los cuartos, 1% y 2% para las salas y cocinas, respectivamente. Los resultados de la solución en estudio son presentados en la Tabla 12 y Tabla 13.

Tabla 12 Cálculo  $FLDM$  para cuartos

	Cuarto 1,14,27	Cuarto 2,15,28	Cuarto 3,16,29	Cuarto 4,17,30	Cuarto 5,18,31	Cuarto 6,19,32	Cuarto 7,20,33	Cuarto 8,21,34	Cuarto 9,22,35	Cuarto 10,23,36	Cuarto 11,24,37	Cuarto 12,25,38	Cuarto 13,26,39
M	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
W	3.18	3.12	4.26	5.26	5.19	5.13	5.24	5.12	5.11	3.19	4.21	4.21	4.13
alfa	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
beta	16.23	16.15	69.19	69.18	69.18	69.18	69.18	69.18	69.18	14.76	14.69	14.98	14.76
teta	53.77	53.85	0.81	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	55.24	55.31	55.02	55.24
$\Theta$	0.94	0.94	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.96	0.97	0.96	0.96
T	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
área	16.35	12.45	12.45	16.35	16.55	12.80	17.65	12.80	13.00	13.00	16.30	16.26	12.50
perimetro	17.30	14.56	14.69	16.80	17.46	14.77	19.79	14.77	14.66	14.94	17.34	17.35	14.68
pé direito	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
A	75.94	61.30	61.64	74.69	76.75	62.53	84.77	62.52	62.66	63.36	75.94	75.89	61.69
R	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
FLDM	10.99%	13.39%	0.27%	0.28%	0.27%	0.33%	0.25%	0.33%	0.33%	13.57%	14.98%	14.91%	18.08%
FLDM	6.71%												
FLDM*	3.00%												
FLDM <sub>*</sub>	0.50%												
FLDM	1.20												

Tabla 13 Cálculo del FLDM para salas y cocinas

	Sala 1,7,13	Sala 2,8,14	Sala 3,9,15	Sala 4,10,16	Sala 5,11,17	Sala 6,12,18	Cocina 1,2,5,6,9,10	Cocina 3,7,11	Cocina 4,8,12
M	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
W	12.12	11.55	6.60	14.78	11.78	4.26	1.479	1.50	1.50
alfa	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
beta	11.69	68.39	69.18	69.18	10.17	13.94	9.46	9.46	9.46
teta	58.31	1.61	0.82	0.82	59.83	56.06	60.54	60.54	60.54
Θ	1.02	0.03	0.01	0.01	1.04	0.98	1.06	1.06	1.06
T	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
área	23.00	23.00	31.00	32.00	21.00	28.55	14.6	12.00	11.00
perímetro	21.01	21.06	26.55	23.49	19.96	24.09	17.20	18.87	17.77
pé direito	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
A	98.53	98.65	128.37	122.71	91.91	117.33	72.20	71.18	66.43
R	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
FLDM	35.05%	0.92%	0.21%	0.48%	37.47%	9.94%	6.06%	6.22%	6.68%
FLDM	12.11%						6.29%		
FLDM*	3.00%						3.00%		
FLDM.	1.00%						2.00%		
FLDM	1.20						1.20		

### Determinación de la Media Ponderada del Valor Normalizado del Factor de Luz del Día

**Medio:**  $(\overline{P_{FLDMm}})$ , determinado a través de la ecuación 23.

$$(\overline{P_{FLDMm}}) = \frac{\sum \overline{FLDM} \times A_i}{\sum A_i} \quad (23)$$

Donde,

$\overline{FLDM}$  – Es el valor normalizado del FLDM del compartimiento i;

$A_i$  – Área del compartimiento i.

El valor normalizado del parámetro P19 es de 1.2 y en la escala de evaluación cualitativa tiene clase A<sup>+</sup>.

#### 4.2.20 P20 – Nivel Medio de aislamiento acústico

La evaluación del comportamiento acústico de un edificio es realizada a través del cálculo del nivel medio del confort acústico ( $\overline{P_{CA}}$ ) del edificio. El ( $\overline{P_{CA}}$ ) evalúa el comportamiento global medio del edificio en términos del aislamiento acústico, teniendo como base la comparación del aislamiento acústico previsto para cada elemento constructivo como el mínimo legal establecido por la RRAE y con el mayor nivel de aislamiento que se consigue alcanzar se fuesen implementadas las mejores prácticas posibles.

La cuantificación de este parámetro va depender del aislamiento acústico implementado en el edificio frente a diferentes condiciones, como se muestra a continuación:

- a) El nivel de confort acústico a sonidos de conducción aérea entre cuartos y zonas de estar y el exterior;
- b) El nivel de confort acústico a sonidos de conducción aérea entre compartimientos de una fracción y cuartos o zonas de estar de otra fracción;
- c) El nivel de confort acústico a sonidos de conducción aérea entre locales de circulación comunes del edificio y cuartos o zonas de estar de una fracción;
- d) El nivel de confort acústico a sonidos de conducción aérea entre locales del edificio destinado al comercio, industria, servicios o diversión y cuartos o zonas de estar de una fracción;
- e) El nivel de confort acústico a sonidos de percusión entre un entrepiso de una fracción o locales de circulación comunes del edificio y cuartos o zonas de estar de otra fracción;
- f) El nivel de confort acústico a sonidos de percusión entre locales del edificio destinados a comercio, industria, servicios o diversión y cuartos o zonas de estar de una fracción;
- g) El nivel de confort acústico relativo a nivel de la evaluación del ruido de equipos colectivos.

El edificio tiene un comportamiento acústico convencional, por lo tanto, el parámetro P20 tiene un valor de 0, y en la escala cualitativa tiene clase D.

#### **4.2.21 P21 – Índice de accesibilidad a los transportes públicos**

El desempeño del edificio a nivel de este parámetro es evaluado a través del índice de accesibilidad a los transportes públicos ( $P_{ATP}$ ), que depende fundamentalmente de la distancia del edificio a las paradas de transportes públicos, número de líneas disponibles, tipos de transportes públicos y su respectiva frecuencia.

**Tipo de zona urbana:** El edificio se encuentra en la Avenida Beira Mar Lote No. 2, en la Freguesia de Canidelo en el Consejo de Vila Nova de Gaia. Según la guía de evaluación de SBTTool<sup>PT</sup>-H, el edificio está localizado en una zona 3, que corresponde a una pequeña ciudad, villa o suburbio de la ciudad de media o gran dimensión.

$(D_{TPi})$ : Es la distancia en planta desde la entrada principal del edificio hasta cada una de las paradas servidas por trenes, metros y buses. Solo se consideran las paradas situadas hasta una distancia de 500m y las estaciones o paradas de trenes situadas hasta 1000m de distancia. A continuación, se presenta la línea de buses más cercana al lugar:

**Línea 906:** La distancia en planta desde la puerta del edificio hasta la parada de bus, es de 450. Como se muestra en la Figura 43.

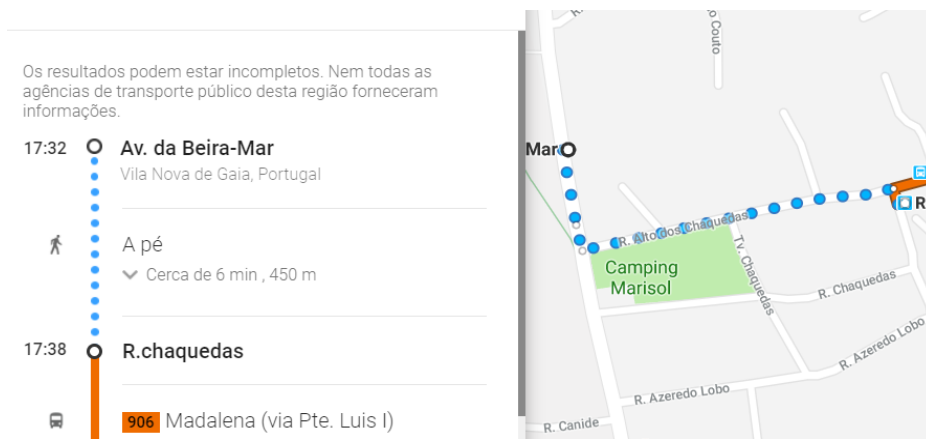


Figura 43 Distancia en metros hasta la parada de bus. Tomado de: (googlemaps, 2017)

$(T_{Pi})$ : Es el tiempo de recorrido hasta cada parada de transporte público, y es calculado dividiendo la distancia  $(D_{TPi})$  por la velocidad media de un peatón  $(80m/min)$ . Así el  $T_{Pi}$  es de 5.63 min.

$(n_j)$ : Es el número de servicios que parten o llegan durante las horas pico de los días útiles, que corresponden a los periodos del día comprendidos entre las 7:00-9:00 a.m. y entre las 5:00-7:00 p.m. Como se muestran en la Figura 44, el número de servicios dentro de las horas pico son 11.

Horário na Paragem R.CHAQUEDAS		SMSBUS RCH1																			
ÚTEIS	NORMAL	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	h
	Não vigora em Agosto	49	21	14	25	01	23	28	28	28	28	01	18	18	17	08	13		22	52	minutos
			51	36		43	58	58	58	58		31	38	38	41	33	52				

Figura 44 Número de servicios Línea 906. Tomado de: (STCP, 2012)

$(T_{Ej})$ : Es el tiempo de espera para cada línea de transporte público, calculado a través de la ecuación 24:

$$T_{Ej} = 0.5 \times \frac{60}{\left(\frac{n_j}{4}\right)} \tag{24}$$

( $T_{Tj}$ ): Es el tiempo total de acceso, que es calculado sumando el tiempo de recorrido ( $T_{Pi}$ ), con el tiempo de espera ( $T_{Ej}$ ) y con el factor de potencialidad de atraso ( $T_{Aj}$ ) que para los buses es de 2min y para los trenes o metro de 0.75min.

( $F_{EEEj}$ ): Es la frecuencia equivalente a la entrada del edificio, calculada a través de la ecuación 25.

$$F_{EEEj} = \frac{30}{T_{Tj}} \tag{25}$$

( $I_{At}$ ): Es el índice de accesibilidad, calculado a través de la ecuación 26.

$$I_{At} = F_{EEEj}^{max} + 0.5 \times \text{sumatoria de los otros } F_{EEEj} \tag{26}$$

Tabla 14 Cálculo parámetro 21

Parada	Línea 906
Dtpi	450.00
TPI	5.63
nj	11
Tej	10.91
Ttj	18.53
FEEEj	1.62
IAt	1.62

Los resultados obtenidos para la línea de buses 906, se muestran en la Tabla 14. Así, el índice de accesibilidad a los transportes públicos es de 1.62. Para la zona 3, la mejor práctica tiene un índice de 7.5 y la práctica convencional un índice de 2. Por lo tanto, el valor normalizado del parámetro P21 es de -0.07, y en la escala de evaluación cualitativa tiene clase E.

#### 4.2.22 P22 – Índice de accesibilidad a lugares de entrenamiento y servicios

El desempeño del edificio a nivel de este parámetro es evaluado a través del índice de accesibilidad a lugares de entrenamiento y servicios ( $P_{AA}$ ), que depende fundamentalmente del número y tipo de lugares de entrenamiento y servicios existentes y de la respectiva distancia a la entrada principal del edificio.



**Tipo de zona urbana:** Como fue dicho en el parámetro anterior, el edificio en estudio se encuentra en la zona 3.

**Subdivisión de lugares de entrenamiento y servicios por clases:** En la Tabla 15, se muestran cada una de los lugares de entrenamiento y servicios cercanos al edificio en estudio.

*Tabla 15 Clasificación de los lugares de entrenamiento y servicios*

Clase 1	Clase 2	Clase 3
Puntos de recolección de residuos (residuos indiferenciados)	Carnicería	Centro deportivo/Gimnasio
	Farmacia	Restaurante
	Banco	Bomberos
Eco-puntos	Zona de servicios industriales/comercio	Centro Recreativo
Panadería	Centro médico/Consultorio	Iglesia
Supermercado	Café/Snack-Bar	Correo
Espacios Exteriores Públicos	Jardin Infantil	Ciclovía
	Escuela Primaria	Escuadrón de Policía
	Escuela Secundaria	Centro Comercial

El desempeño del edificio es evaluado calculando la distancia entre la entrada principal del edificio y todos los lugares de entrenamiento y servicios relevantes que se encuentran en las inmediaciones hasta una distancia de 2500m. El índice de accesibilidad a lugares de entrenamiento y servicios ( $P_{AA}$ ), y es la sumatoria de los créditos de cada amenidad de acuerdo con la Tabla 16.

*Tabla 16 Créditos para cada amenidad de acuerdo a la distancia hasta el edificio*

Clase	Distancia (m)					
	300	500	1000	1500	2000	2500
<b>1</b>	10	9	6	3	1	1
<b>2</b>	8	7	5	3	1	1
<b>3</b>	4	3	2	1	1	0

Por lo tanto, los lugares de entrenamiento y servicios que se encuentran a menos de 2500m son las mostradas en la Tabla 17, Tabla 18 y Tabla 19.

**Clase 1:**

Tabla 17 Cálculo de créditos Clase 1

Amenidades	Nombre	Distancia (m)	Créditos
Puntos de recolección de residuos		150	10
Eco-puntos		110	10
Panderia	Padaria Confeitaria Lion's	160	10
Supermercado	Continente Bom Dia	500	9
Espacios Exteriores Públicos	Praia de Canide	16	10
<b>Total créditos clase 2</b>			<b>49</b>

**Clase 2:**

Tabla 18 Cálculo de créditos Clase 2

Amenidades	Nombre	Distancia (m)	Créditos
Carnicería	Continente Bom dia	500	7
Farmacia	Wells - Continente Bom dia	500	7
Banco	Multibanco - Continente Bom dia	500	7
Zona de servicios industriales/comercio	Camping Marisol	280	8
Centro médico/Consultório	Unidade de cuidados de saúde personalizados da Madalena	2800	0
Café/Snack - Bar	Padaria Confeitaria Lion's	160	8
Jardín Infantil	Jardim de Infância do Meiral	2500	1
Escuela Primaria	Escola Básica de Viso	1500	3
Escuela Secundaria	Escola Secundária Inês de Castro	2500	1
<b>Total créditos clase 2</b>			<b>42</b>

**Clase 3:**

Tabla 19 Cálculo de créditos Clase 3

Amenidades	Nombre	Distancia (m)	Créditos
Centro deportivo/Gimnasio	Parque de Campismo da Madalena	500	3
Restaurante	Restaurante Treze	200	4
Bomberos	Bomberos Voluntários Coimbrões	3800	0
Centro Recreativo	Parque de Campismo da Madalena	500	3
Iglesia	Capelinha de Santo António das Almas	2300	0
Correo	CTT	3000	0
Ciclovía		10	4
Escuadrón de Policia	Canidelo	2500	0
Centro Comercial	Lojas de comercio	1000	2
<b>Total créditos clase 2</b>			<b>16</b>

En total los lugares de entrenamiento y servicios, suman 107 créditos. Para la zona 3, la mejor práctica tiene 131 créditos, mientras que la práctica convencional tiene 119 créditos. Por lo

tanto, el valor normalizado del parámetro P22 es de -0.2, y en la escala de evaluación cualitativa tiene clase E.

#### **4.2.23 P23 – Disponibilidad y contenido del Manual del Utilizador del Edificio**

El desempeño de este parámetro es evaluado a través de un índice ( $P_{MU}$ ), cuyo valor depende de la disponibilidad del manual del utilizador del edificio. El edificio en estudio no tiene un manual del utilizador, por lo tanto, el índice  $P_{MU}$  es de 0 créditos. La mejor práctica tiene 75 créditos y la práctica convencional tiene 15 créditos. Por lo tanto, el valor normalizado del parámetro P23 es de -0.2, y en la escala de evaluación cualitativa tiene clase E.

#### **4.2.24 P24 – Valor del costo de inversión inicial por m<sup>2</sup> del área útil**

El desempeño del edificio a nivel de este parámetro es evaluado a través del valor del costo de inversión inicial por m<sup>2</sup> de área útil ( $P_{CI}$ ). Este valor corresponde al costo de construcción (costo de capital) el valor de venta al público e incluye todos los gastos asociados al edificio hasta la conclusión de la fase de construcción.

**Valor del costo de inversión inicial correspondiente a la mejor práctica:** ( $P_{CI}^*$ ), este valor es determinado realizando un estudio de mercado de modo a verificar los costos por m<sup>2</sup> que se practican en el área envolvente al local de implantación (Tabla 20), para ello, se analizaron 10 apartamentos para cada tipología (T2 y T3), y el valor del  $P_{CI}^*$  corresponde a la media de las 3 evaluaciones de menor costo. Por lo tanto, tienen un costo de 987.29 (€/m<sup>2</sup>) y 974.06 (€/m<sup>2</sup>) para las tipologías T2 y T3, respectivamente. Y el  $P_{CI}^*$  es de 979.47 (€/m<sup>2</sup>).

Tabla 20 Costo de inversión inicial por m<sup>2</sup> para las tipologías T2 y T3 (10 fracciones)

T2 (€/m <sup>2</sup> )	T3 (€/m <sup>2</sup> )
€ 847.54	€ 870.37
€ 1,029.41	€ 1,007.04
€ 1,084.91	€ 1,044.78
€ 1,470.59	€ 1,075.27
€ 1,534.88	€ 1,193.33
€ 1,538.46	€ 1,482.76
€ 1,596.33	€ 1,520.00
€ 1,812.50	€ 1,637.68
€ 2,016.13	€ 1,637.68
€ 2,016.81	€ 1,755.32

**Valor del costo de inversión inicial correspondiente a la práctica convencional:** ( $P_{CI*}$ ), este valor es determinado haciendo la media ponderada de los 10 apartamentos analizados (Tabla 21), para cada una de las tipologías (T2 y T3). Por lo tanto, tienen un costo de 1494.76 (€/m<sup>2</sup>) y 1322.42 (€/m<sup>2</sup>) para las tipologías T2 y T3, respectivamente. Y el  $P_{CI*}$  es de 1392.85 (€/m<sup>2</sup>).

**Valor del costo de inversión inicial correspondiente a la solución en estudio:** ( $P_{CI}$ ), este valor corresponde al valor del mercado (precio de venta al público con impuestos), de cada m<sup>2</sup> de área útil del edificio o fracción. Debido a que no hay información del precio de venta al público de las fracciones o apartamentos, se optó por utilizar el valor de la práctica convencional, que es de 1392.85 (€/m<sup>2</sup>). Así, el valor normalizado del P24 es de 0, y en la escala de evaluación cualitativa tiene clase D.

#### 4.2.25 P25 – Valor actual de los costos de utilización por m<sup>2</sup> del área útil

El desempeño del edificio a nivel de este parámetro es evaluado a través del valor actual de los costos de utilización por m<sup>2</sup> de área útil ( $P_{CU}$ ), considerando los costos correspondientes al consumo de energía para climatización y producción de aguas sanitarias, al consumo de agua potable, la producción de aguas residuales y la producción de residuos domésticos. El desempeño del edificio en estudio es obtenido a través de la comparación de su valor de  $P_{CU}$  con el valor correspondientes a la práctica convencional y a la mejor práctica.

##### A. Cuantificación de las referencias para el valor actual de los costos de utilización

### A.1 Valor actual de los costos de utilización de la mejor practica

**Costo Anual del Consumo Energético correspondiente a la mejor práctica:** ( $CE_{MP}$ ), corresponde al 25% del costo anual del consumo energético de la práctica convencional.

**Costo energético anual asociado a la práctica convencional:** ( $CE_{PC}$ ) en ( $\text{€/m}^2 \cdot \text{año}$ ), calculado a través de la ecuación 27.

$$CE_{PC} = N_i \times T_{EE} + \frac{N_v \times T_{EE}}{2.8} + \frac{QA \times T_{EE}}{0.95} \quad (27)$$

Donde,

$T_{EE}$  – Es el costo de 1kW.h de electricidad en tarifa doméstica simple con IVA incluido ( $\text{€/kW.h}$ ). Sin tener en cuenta los costos correspondientes a la potencia.

Según la empresa EDP el costo de 1kW.h de electricidad para un apartamento de tipología T2 o T3 (Potencia 5.75 kVA), es de 0.1617 ( $\text{€/kW.h}$ ), y con el IVA del 23% es de 0.199 ( $\text{€/kW.h}$ ). Para calcular el  $CE_{PC}$  y el  $CE_{MP}$  del edificio es determinado a través de la media ponderada del  $CE_{PC}$  y  $CE_{MP}$  de cada fracción en función de su área, como se muestra en la Tabla 21.

Tabla 21 Cálculo de los costos energéticos anuales de la mejor práctica y la práctica convencional

Tipología	No.	Au (m2)	Ni (kW.h/m2.a)	Nv (kW.h/m2.a)	Qa (kWh/año)	QA (kWh/m2.año)	CE.PC (€/m2.año)	CE.MP (€/m2.año)
T2	APA01	72.77	23.45	9.13	1783.00	24.50	10.44	2.61
T2	APA02	77.50	32.16	9.13	1783.00	23.01	11.86	2.97
T3	APA03	107.30	28.91	9.13	2377.00	22.15	11.04	2.76
T2	APA04	71.58	21.01	9.13	1783.00	24.91	10.04	2.51
T2	APA05	73.97	32.83	9.13	1783.00	24.10	12.22	3.06
T2	APA06	73.97	35.23	9.13	1783.00	24.10	12.70	3.18
T2	APA1.1	74.83	17.66	9.13	1783.00	23.83	9.15	2.29
T2	APA1.2	78.19	22.34	9.13	1783.00	22.80	9.87	2.47
T3	APA1.3	108.35	20.71	9.13	2377.00	21.94	9.36	2.34
T2	APA1.4	71.58	14.21	9.13	1783.00	24.91	8.69	2.17
T2	APA1.5	75.16	23.88	9.13	1783.00	23.72	10.36	2.59
T2	APA1.6	75.16	27.98	9.13	1783.00	23.72	11.18	2.80
T2	APA2.1	74.83	35.20	9.13	1783.00	23.83	12.64	3.16
T2	APA2.2	78.19	36.14	9.13	1783.00	22.80	12.61	3.15
T3	APA2.3	108.35	35.99	9.13	2377.00	21.94	12.40	3.10
T2	APA2.4	71.58	28.88	9.13	1783.00	24.91	11.61	2.90
T2	APA2.5	75.16	38.57	9.13	1783.00	23.72	13.29	3.32
T2	APA2.6	75.16	38.28	9.13	1783.00	23.72	13.23	3.31
<b>Valores Ponderados</b>		<b>82.18</b>	<b>28.59</b>	<b>9.13</b>	<b>1916.31</b>	<b>23.47</b>	<b>11.25</b>	<b>2.81</b>

El  $CE_{PC}$  y el  $CE_{MP}$  son 11.25 (€/m<sup>2</sup>.año) y 2.81 (€/m<sup>2</sup>.año), respectivamente.

**Costo Anual del Consumo de agua Potable y de la Producción de aguas Residuales y de Residuos Sólidos Urbanos correspondientes a la mejor práctica:  $CA_{MP}$**  en (€/m<sup>2</sup>.año), es calculado a través de la ecuación 28.

$$CA_{MP} = V_{AMP} \times (T_{AP} + T_{AR} + T_{RS}) \tag{28}$$

Donde,

$V_{AMP}$  – Es el volumen total de agua potable consumida por m<sup>2</sup> de área útil de pavimento en (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.año), calculado a través de la ecuación 29.

$$V_{AMP} = \frac{\left[ P_{CA}^* \times \left( 1 - \frac{P_{RCA}^*}{100} \right) \times n \right]}{A_U} \tag{29}$$

Donde,

$P_{CA}^*$  – Es el consumo anual de agua correspondiente a la mejor práctica, 22 (m<sup>3</sup>/hab.año);

$P_{RCA}^*$  – Es el porcentaje de reducción del consumo de agua potable correspondiente a la mejor práctica, 34.29%;

$n$  – número convencional de ocupantes en función de la tipología de la fracción;

$A_U$  – Es el área útil de pavimento de la fracción (m<sup>2</sup>).

$T_{AP}$  – Es la tarifa de agua potable del sistema público de abastecimiento de agua. Según la empresa Aguas de Gaia, EM, S.A., el servicio tiene dos tarifas que se presentan a continuación (Martins, 2017):

Consumo doméstico: precio del metro cúbico ( $m^3$ /mes):

Escalón de 0 a 5 $m^3$ .....	0.45€
Escalón > 5 a 10 $m^3$ .....	0.70€
Escalón > 10 a 20 $m^3$ .....	1.60€
Tarifa de disponibilidad mensual.....	3.95€

$T_{AR}$  – Es el costo anual correspondiente al drenaje de las aguas residuales. Según la empresa Agua de Gaia, EM, S.A., el servicio tiene dos tarifas, que son:

Consumo doméstico: precio del metro cúbico ( $m^3$ /mes):

Escalón de 0 a 5 $m^3$ .....	0.50€
Escalón > 5 a 10 $m^3$ .....	0.75€
Escalón > 10 $m^3$ .....	0.90€
Tarifa de disponibilidad mensual.....	4.00€

$T_{RS}$  – Es el costo anual correspondiente a la recolección de sólidos urbanos. Según la empresa Aguas de Gaia, EM, S.A., el servicio tiene dos tarifas que se presentan a continuación:

Consumo doméstico ( $m^3$ /mes) .....	0.70€
Tarifa de disponibilidad mensual .....	0.50€

Todos los precios están sujetos al IVA del 6%.

Tabla 22 Cálculo Costos de consumo de agua potable anuales mejor práctica

Tipología	No.	Au (m2)	n	V,AMP (m3/m2.año)	V,AMP (m3/mes)	1er. Escalão (m3/mes)	2do. Escalão (m3/mes)	T,AP (€/mês)	T,AR (€/mês)	T,RS (€/mes)	Taxa de Rec. Hídricos	CA,MP (€/mês)	CA,MP (€/m2.año)
T2	APA01	72.77	3	0.60	3.61	3.61	0.00	5.58	5.81	5.23	0.09	17.71	2.92
T2	APA02	77.50	3	0.56	3.61	3.61	0.00	5.91	6.16	5.54	0.09	15.68	2.43
T3	APA03	107.30	4	0.54	4.82	4.60	0.22	6.49	6.79	6.44	0.12	18.10	2.02
T2	APA04	71.58	3	0.61	3.61	3.61	0.00	5.91	6.16	5.54	0.09	15.68	2.63
T2	APA05	73.97	3	0.59	3.61	3.61	0.00	5.91	6.16	5.54	0.09	15.68	2.54
T2	APA06	73.97	3	0.59	3.61	3.61	0.00	5.91	6.16	5.54	0.09	15.68	2.54
T2	APA1.1	74.83	3	0.58	3.61	3.61	0.00	5.91	6.16	5.54	0.09	15.68	2.51
T2	APA1.2	78.19	3	0.55	3.61	3.61	0.00	5.91	6.16	5.54	0.09	15.68	2.41
T3	APA1.3	108.35	4	0.53	4.82	4.60	0.22	6.49	6.79	6.44	0.12	18.10	2.00
T2	APA1.4	71.58	3	0.61	3.61	3.61	0.00	5.91	6.16	5.54	0.09	15.68	2.63
T2	APA1.5	75.16	3	0.58	3.61	3.61	0.00	5.91	6.16	5.54	0.09	15.68	2.50
T2	APA1.6	75.16	3	0.58	3.61	3.61	0.00	5.91	6.16	5.54	0.09	15.68	2.50
T2	APA2.1	74.83	3	0.58	3.61	3.61	0.00	5.91	6.16	5.54	0.09	15.68	2.51
T2	APA2.2	78.19	3	0.55	3.61	3.61	0.00	5.91	6.16	5.54	0.09	15.68	2.41
T3	APA2.3	108.35	4	0.53	4.82	4.60	0.22	6.49	6.79	6.44	0.12	18.10	2.00
T2	APA2.4	71.58	3	0.61	3.61	3.61	0.00	5.91	6.16	5.54	0.09	15.68	2.63
T2	APA2.5	75.16	3	0.58	3.61	3.61	0.00	5.91	6.16	5.54	0.09	15.68	2.50
T2	APA2.6	75.16	3	0.58	3.61	3.61	0.00	5.91	6.16	5.54	0.09	15.68	2.50
<b>Valores Ponderados</b>		<b>82.18</b>	<b>3</b>	<b>0.57</b>	<b>3.88</b>	<b>3.84</b>	<b>0.05</b>	<b>6.02</b>	<b>6.28</b>	<b>5.73</b>	<b>0.10</b>	<b>16.33</b>	<b>2.42</b>

La Tabla 22, muestra que el  $CA_{MP}$  es de 2.42 (€/m<sup>2</sup>. año).

**Costos de Utilización correspondientes a la mejor práctica:** ( $P_{CU}^*$ ) en (€/m<sup>2</sup>. año), es calculado a través de la ecuación 30.

$$P_{CU}^* = RA_{MP} \times \frac{(1 + i)^n - 1}{i \times (1 + i)^n} \quad (30)$$

Donde,

$RA_{MP}$  – Es la suma del  $CE_{MP}$  y el  $CA_{MP}$  en (€/m<sup>2</sup>. año);

$i$  – Es la tasa Euribor a 12 meses en vigor al momento de la evaluación, cuyo valor es de -0.1915 (Emmi, 2018);

$n$  – Es la duración prevista para el ciclo de vida del edificio, para el edificio en estudio se estiman 50 años.

Por lo tanto, el valor de  $RA_{MP}$  es de 5.24 (€/m<sup>2</sup>. año) y el  $P_{CU}^*$  es de 275.12 (€/m<sup>2</sup>).

## A.2 Valor actual de los costos de utilización correspondientes a la práctica convencional

**Costo Anual del Consumo Energético correspondiente a la práctica convencional:**  $CE_{PC}$  es de 11.25 (€/m<sup>2</sup>. año).



**Costo Anual del Consumo de Agua Potable y de la Producción de Aguas Residuales y de Residuos sólidos Urbanos correspondientes a la práctica convencional:**  $CA_{PC}$  en ( $\text{€}/\text{m}^2 \cdot \text{año}$ ), es calculado a través de la ecuación 31.

$$CA_{PC} = V_{APC} \times (T_{AP} + T_{AR} + T_{RS}) \quad (31)$$

Donde,

$V_{APC}$  – Es el volumen anual total de agua potable consumida por  $\text{m}^2$  de área útil de pavimento en ( $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{año}$ ), calculado a través de la ecuación 32.

$$V_{APC} = \frac{\left[ P_{CA*} \times \left( 1 - \frac{P_{RCA*}}{100} \right) \times n \right]}{A_U} \quad (32)$$

Donde,

$P_{CA*}$  – Es el consumo anual de agua correspondiente a la práctica convencional, 44 ( $\text{m}^3/\text{hab. año}$ );

$P_{RCA*}$  – Es el porcentaje de reducción del consumo de agua potable correspondiente a la práctica convencional, 0%;

$n$  – Es el número convencional de ocupantes en función de la tipología de la fracción.

$A_U$  – Es el área útil de pavimento de la fracción ( $\text{m}^2$ ).

Las tarifas  $T_{AP}$ ,  $T_{AR}$  y  $T_{RS}$ , son las mismas tarifas de la mejor práctica.

Tabla 23 Costos de consumo de agua anual práctica convencional

Tipología	No.	Au (m2)	n	V,APC (m3/m2.año)	V,APC (m3/mes)	1er. Escalón	2do. Escalón	3er. Escalón	T,AP (€/mes)	T,AR (€/mes)	T,AP (€/mes)	Taxa de Rec.	CA,PC (€/mes)	CA,PC (€/m2.año)
T2	APA01	72.77	3	1.81	11.00	4.60	6.00	0.40	10.86	11.16	10.40	0.28	34.66	5.72
T2	APA02	77.50	3	1.70	11.00	4.60	6.00	0.40	10.86	11.16	10.40	0.28	34.66	5.37
T3	APA03	107.30	4	1.64	14.67	4.60	6.00	4.07	16.73	14.46	12.97	0.38	47.20	5.28
T2	APA04	71.58	3	1.84	11.00	4.60	6.00	0.40	10.86	11.16	10.40	0.28	34.66	5.81
T2	APA05	73.97	3	1.78	11.00	4.60	6.00	0.40	10.86	11.16	10.40	0.28	34.66	5.62
T2	APA06	73.97	3	1.78	11.00	4.60	6.00	0.40	10.86	11.16	10.40	0.28	34.66	5.62
T2	APA1.1	74.83	3	1.76	11.00	4.60	6.00	0.40	10.86	11.16	10.40	0.28	34.66	5.56
T2	APA1.2	78.19	3	1.69	11.00	4.60	6.00	0.40	10.86	11.16	10.40	0.28	34.66	5.32
T3	APA1.3	108.35	4	1.62	14.67	4.60	6.00	4.07	16.73	14.46	12.97	0.38	47.20	5.23
T2	APA1.4	71.58	3	1.84	11.00	4.60	6.00	0.40	10.86	11.16	10.40	0.28	34.66	5.81
T2	APA1.5	75.16	3	1.76	11.00	4.60	6.00	0.40	10.86	11.16	10.40	0.28	34.66	5.53
T2	APA1.6	75.16	3	1.76	11.00	4.60	6.00	0.40	10.86	11.16	10.40	0.28	34.66	5.53
T2	APA2.1	74.83	3	1.76	11.00	4.60	6.00	0.40	10.86	11.16	10.40	0.28	34.66	5.56
T2	APA2.2	78.19	3	1.69	11.00	4.60	6.00	0.40	10.86	11.16	10.40	0.28	34.66	5.32
T3	APA2.3	108.35	4	1.62	14.67	4.60	6.00	4.07	16.73	14.46	12.97	0.38	47.20	5.23
T2	APA2.4	71.58	3	1.84	11.00	4.60	6.00	0.40	10.86	11.16	10.40	0.28	34.66	5.81
T2	APA2.5	75.16	3	1.76	11.00	4.60	6.00	0.40	10.86	11.16	10.40	0.28	34.66	5.53
T2	APA2.6	75.16	3	1.76	11.00	4.60	6.00	0.40	10.86	11.16	10.40	0.28	34.66	5.53
<b>Valores Ponderados</b>		<b>82.18</b>	<b>3</b>	<b>1.74</b>	<b>11.82</b>	<b>4.60</b>	<b>6.00</b>	<b>1.22</b>	<b>12.18</b>	<b>11.90</b>	<b>10.98</b>	<b>0.30</b>	<b>37.48</b>	<b>5.50</b>

La Tabla 23, muestra que el  $CA_{PC}$  es de 5.50 (€/m<sup>2</sup>. año).

**Valor Actual de los Costos de Utilización:**  $(P_{CU*})$ , es calculada de la misma manera que la práctica convencional y tiene un valor de 879.45 (€/m<sup>2</sup>).

### A.3 Valor actual de los costos de utilización correspondientes a la solución en estudio

**Costo Anual del Consumo Energético correspondiente a la solución en estudio:**  $(CE_{SE})$  en (€/m<sup>2</sup>. año), es calculado a través de la ecuación 33.

$$CE_{SE} = \frac{N_{ic} \times T_i}{\eta_i} + \frac{N_{vc} \times T_v}{\eta_v} + \left( \frac{QA}{\eta_v} - \frac{E_{solar}}{A_p} \right) \times T_a - E_{ren} \times T_{ren} \quad (33)$$

Donde,

$N_{ic}, N_{vc}, QA$  – Son las necesidades nominales anuales de energía útil para calefacción y enfriamiento del ambiente y producción de aguas sanitarias, respectivamente en (kW.h/m<sup>2</sup>. año);

$\eta_i, \eta_v, \eta_a$  – Son las eficiencias nominales de los equipos utilizados para los sistemas de calefacción, enfriamiento y preparación de aguas sanitarias, respectivamente.

$T_i, T_v, T_a$  – Es el costo actual de 1kW.h de electricidad, o de la energía equivalente, utilizada, respetivamente, en los equipos del sistema de calefacción, enfriamiento del ambiente y producción de aguas sanitarias (€/kW.h).

Según el pre-certificado térmico, fue previsto un aire acondicionado marca LG modelo MU4M25 con potencia para la calefacción de 7.3 kW y COP de 4.2, y una potencia de enfriamiento de 7.0 con un EER de 4.0. Y para la producción de aguas sanitarias, tendrá como apoyo un calentador de la marca Vulcano para modelo Sensor Green WTD27 AME con una potencia de 18 kW y un rendimiento de 101%.

El costo de 1kW.h de electricidad en tarifa doméstica simple con IVA incluido es de 0.199 (€/kW.h), y corresponde a los valores de  $T_i$  e  $T_v$ . El calentador de apoyo para la preparación de aguas sanitarias utiliza gas natural, y según la empresa EDP este tipo de energía tiene un costo fijo de 0.1012 (€/día), y un costo 0.0578 (€/kW.h), más IVA (23%). Los valores actuales de los costos de utilización de cada fracción se muestran en la Tabla 24.

Tabla 24 Cálculo costos energéticos anuales, solución en estudio

Tipología	No.	Au (m <sup>2</sup> )	Nic (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Nvc (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Esolar (kW.h/año)	QA (kWh/m <sup>2</sup> .año)	Gas Natural (kW.h/m <sup>2</sup> .año)	Custo Gas (€/m <sup>2</sup> .año)	CE,SE (€/m <sup>2</sup> .año)
T2	APA01	72.77	8.33	7.90	1128.00	24.50	8.76	1.25	2.03
T2	APA02	77.50	14.10	5.44	1128.00	23.01	8.22	1.17	2.11
T3	APA03	107.30	16.23	7.21	1802.00	22.15	5.14	0.79	1.92
T2	APA04	71.58	10.48	6.12	1128.00	24.91	8.90	1.27	2.07
T2	APA05	73.97	19.87	7.57	1128.00	24.10	8.62	1.23	2.54
T2	APA06	73.97	19.94	4.93	1128.00	24.10	8.62	1.23	2.42
T2	APA1.1	74.83	6.46	8.41	1128.00	23.83	8.52	1.21	1.94
T2	APA1.2	78.19	9.79	6.87	1128.00	22.80	8.15	1.16	1.97
T3	APA1.3	108.35	11.75	8.62	1802.00	21.94	5.09	0.78	1.77
T2	APA1.4	71.58	7.40	7.36	1128.00	24.91	8.90	1.27	1.98
T2	APA1.5	75.16	14.61	9.04	1128.00	23.72	8.48	1.21	2.35
T2	APA1.6	75.16	17.58	5.08	1128.00	23.72	8.48	1.21	2.29
T2	APA2.1	74.83	16.28	7.75	1128.00	23.83	8.52	1.21	2.37
T2	APA2.2	78.19	19.79	6.56	1128.00	22.80	8.15	1.16	2.42
T3	APA2.3	108.35	23.12	7.92	1802.00	21.94	5.09	0.78	2.27
T2	APA2.4	71.58	17.19	6.93	1128.00	24.91	8.90	1.27	2.43
T2	APA2.5	75.16	26.38	8.31	1128.00	23.72	8.48	1.21	2.87
T2	APA2.6	75.16	25.25	5.60	1128.00	23.72	8.48	1.21	2.68
<b>Valores Ponderados</b>		<b>82.18</b>	<b>15.92</b>	<b>7.14</b>	<b>1279.27</b>	<b>23.47</b>	<b>7.77</b>	<b>1.12</b>	<b>2.23</b>

El  $CE_{SE}$  es de 2.23 (€/m<sup>2</sup>.año).

**Costo Anual del Consumo de Agua Potable y de la Producción de Agua Residuales y de Residuos Sólidos Urbanos Correspondiente a la solución en estudio:** ( $CA_{SE}$ ) en ( $€/m^2 \cdot año$ ), es calculado a través de la ecuación 34.

$$CA_{SE} = V_{ASE} \times (T_{AP} + T_{AR} + T_{RS}) \tag{34}$$

Donde,

$V_{ASE}$  – Es el volumen anual total de agua potable consumida por  $m^2$  del área útil de pavimento en ( $m^3/m^2 \cdot año$ ), calculado a través de la ecuación 35.

$$V_{ASE} = \frac{\left[ P_{CA} \times \left( 1 - \frac{P_{RCA}}{100} \right) \times n \right]}{A_U} \tag{35}$$

Donde,

$P_{CA}$ - Es el consumo anual de agua correspondiente a la solución en estudio, 44.71 ( $m^3/hab. año$ );

$P_{RCA}$  - Es el porcentaje de reducción del consumo de agua potable correspondiente a la solución en estudio, 0%.

Las tarifas de  $T_{AP}$ ,  $T_{AR}$ ,  $T_{RS}$  son las mismas tarifas de la mejor práctica. Los resultados para cada fracción se muestran en la Tabla 25.

*Tabla 25 Cálculo Costos de consumo de agua potable, solución en estudio*

Tipología	No.	Au (m2)	n	V,ASE (m3/m2.año)	V,ASE (m3/mes)	1er. Escalão	2do. Escalão	3er. Escalão	T,AP (€/mês)	T,AR (€/mês)	T,AP (€/mês)	Taxa de Rec.	CA,SE (€/mês)	CA,SE (€/m2.año)
T2	APA01	72.77	3	1.84	11.18	4.60	6.00	0.58	11.15	11.32	10.52	0.29	35.27	5.82
T2	APA02	77.50	3	1.73	11.18	4.60	6.00	0.58	11.15	11.32	10.52	0.29	35.27	5.46
T3	APA03	107.30	4	1.67	14.90	4.60	6.00	4.30	17.11	14.67	13.13	0.38	48.01	5.37
T2	APA04	71.58	3	1.87	11.18	4.60	6.00	0.58	11.15	11.32	10.52	0.29	35.27	5.91
T2	APA05	73.97	3	1.81	11.18	4.60	6.00	0.58	11.15	11.32	10.52	0.29	35.27	5.72
T2	APA06	73.97	3	1.81	11.18	4.60	6.00	0.58	11.15	11.32	10.52	0.29	35.27	5.72
T2	APA1.1	74.83	3	1.79	11.18	4.60	6.00	0.58	11.15	11.32	10.52	0.29	35.27	5.66
T2	APA1.2	78.19	3	1.72	11.18	4.60	6.00	0.58	11.15	11.32	10.52	0.29	35.27	5.41
T3	APA1.3	108.35	4	1.65	14.90	4.60	6.00	4.30	17.11	14.67	13.13	0.38	48.01	5.32
T2	APA1.4	71.58	3	1.87	11.18	4.60	6.00	0.58	11.15	11.32	10.52	0.29	35.27	5.91
T2	APA1.5	75.16	3	1.78	11.18	4.60	6.00	0.58	11.15	11.32	10.52	0.29	35.27	5.63
T2	APA1.6	75.16	3	1.78	11.18	4.60	6.00	0.58	11.15	11.32	10.52	0.29	35.27	5.63
T2	APA2.1	74.83	3	1.79	11.18	4.60	6.00	0.58	11.15	11.32	10.52	0.29	35.27	5.66
T2	APA2.2	78.19	3	1.72	11.18	4.60	6.00	0.58	11.15	11.32	10.52	0.29	35.27	5.41
T3	APA2.3	108.35	4	1.65	14.90	4.60	6.00	4.30	17.11	14.67	13.13	0.38	48.01	5.32
T2	APA2.4	71.58	3	1.87	11.18	4.60	6.00	0.58	11.15	11.32	10.52	0.29	35.27	5.91
T2	APA2.5	75.16	3	1.78	11.18	4.60	6.00	0.58	11.15	11.32	10.52	0.29	35.27	5.63
T2	APA2.6	75.16	3	1.78	11.18	4.60	6.00	0.58	11.15	11.32	10.52	0.29	35.27	5.63
<b>Valores Ponderados</b>		<b>82.18</b>	<b>3</b>	<b>1.77</b>	<b>12.01</b>	<b>4.60</b>	<b>6.00</b>	<b>1.41</b>	<b>12.48</b>	<b>12.07</b>	<b>11.11</b>	<b>0.31</b>	<b>38.13</b>	<b>5.60</b>

El  $CA_{SE}$  es de 5.60 ( $€/m^2 \cdot año$ ).

**Valor Actual de los Costos de Utilización correspondientes a la solución en estudio:** ( $P_{CU}$ ), es calculado de la misma manera que la mejor práctica, y tiene un valor de 411.11 ( $\text{€}/\text{m}^2$ ). Por lo tanto, el valor normalizado del parámetro P25 es de 0.78, y en la escala de evaluación cualitativa tiene un valor de A.

#### 4.2.26 Resultados obtenidos del desempeño global del edificio

Teniendo el desempeño del edificio a nivel de cada parámetro, se obtiene el desempeño a nivel de cada categoría, como se muestra en la Tabla 26.

Tabla 26 Cuantificación del desempeño del edificio por categorías

Categoría	Parámetro	Evaluación del parámetro	Peso del parámetro (%)	Valor ponderado
C1	P1	0.00	100	0.00
Desempeño de la categoría				<b>0</b>
C2	P2	0.99	38	0.38
	P3	0.40	5	0.02
	P4	0.00	6	0.00
	P5	-0.20	24	-0.05
	P6	0.24	27	0.06
Desempeño de la categoría				<b>0.41</b>
C3	P7	0.80	50	0.40
	P8	0.04	50	0.02
Desempeño de la categoría				<b>0.42</b>
C4	P9	0.00	25	0.00
	P10	0.00	25	0.00
	P11	0.00	28	0.00
	P12	0.73	18	0.13
P13	0.00	4	0.00	
Desempeño de la categoría				<b>0.13</b>
C5	P14	-0.03	64	-0.02
	P15	0.00	36	0.00
Desempeño de la categoría				<b>-0.02</b>
C6	P16	0.67	12	0.08
	P17	0.00	12	0.00
	P18	0.14	32	0.05
	P19	1.20	25	0.30
	P20	0.00	19	0.00
Desempeño de la categoría				<b>0.43</b>
C7	P21	-0.07	55	-0.04
	P22	-0.20	45	-0.09
Desempeño de la categoría				<b>-0.13</b>
C8	P23	-0.20	100	-0.20
Desempeño de la categoría				<b>-0.20</b>
C9	P24	0.00	50	0.00
	P25	0.78	50	0.39
Desempeño de la categoría				<b>0.39</b>

Seguidamente, el desempeño del edificio a nivel de cada dimensión de la sostenibilidad, es mostrado en la Tabla 27.

Tabla 27 Cuantificación del desempeño del edificio a nivel de cada dimensión

Dimensión	Categoría	Evaluación de la categoría	Peso de la categoría (%)	Valor ponderado
Ambiental	C1	0	12	0.00
	C2	0.41	19	0.08
	C3	0.42	39	0.16
	C4	0.13	22	0.03
	C5	-0.02	8	0.00
Desempeño de la dimensión				0.27
Social	C6	0.43	60	0.26
	C7	-0.13	30	-0.04
	C8	-0.20	10	-0.02
Desempeño de la dimensión				0.20
Económica	C9	0.39	100	0.39
Desempeño de la dimensión				0.39

Y finalmente, la nota de sostenibilidad se muestra en la Tabla 28.

Tabla 28 Cuantificación de la Nota de Sostenibilidad del edificio

Nota de sostenibilidad	Dimensión	Evaluación de la dimensión	Peso de la dimensión (%)	Valor ponderado
NS	Ambiental	0.27	40	0.11
	Social	0.20	30	0.06
	Económica	0.39	30	0.12
Nota de sostenibilidad del edificio				0.28

Los resultados en la escala cualitativa de cada dimensión y de la nota de sostenibilidad global del edificio, se muestran en la Tabla 29 y Tabla 30.

Tabla 29 Desempeño de cada categoría en la escala cualitativa

DESAGREGAÇÃO DO DESEMPENHO POR CADA CATEGORIA									
	C 1	C 2	C 3	C 4	C 5	C 6	C 7	C 8	C 9
A+									
A									
B		●	●			●			
C				●					●
D	●								
E					●		●	●	

Tabla 30 Nota de Sostenibilidad en la escala cualitativa

NOTA DE SOSTENIBILIDAD				
	NA	NS	NE	NG
A+				
A				
B				
C	●	●	●	●
D				
E				

Leyenda	NA	Nota Ambiental
	NS	Nota Social
	NE	Nota Económica
	NG	Nota Global

Como se puede observar en la Tabla 29, el edificio tiene una nota de sostenibilidad global de 0.28, es decir, que es ligeramente mejor que un edificio convencional. Sin embargo, las categorías C1, C5, C7 y C8, se encuentran igual o por debajo de las referencias convencionales. La nota global de sostenibilidad del edificio va estar determinada principalmente por la puntuación de los parámetros que tienen mayor peso en la nota final. En la Figura 45, se muestra el peso de cada uno de los parámetros evaluados, respecto a la nota de sostenibilidad global.



Figura 45 Gráfica del peso de los parámetros a nivel global

Como se observa en el gráfico, los parámetros con mayor relevancia a nivel global, son los parámetros económicos P24 y P25, que están relacionados con el costo de inversión inicial por m<sup>2</sup> y con los consumos de utilización (servicios de energía y agua potable), los cuales tienen un 30% del peso total. En segundo lugar, se encuentran los parámetros P7 y P8, de tipo ambiental relacionados con el consumo de energía del edificio, los cuales suman el 16% del peso total. En conclusión, aspectos como el consumo de agua y energía, y los costos iniciales, son los

elementos más relevantes a la hora de evaluar el nivel de sostenibilidad de un edificio, debido a que suman casi el 50% del peso a nivel global.

### **4.3 Optimización del Nivel de sostenibilidad del edificio**

La optimización del nivel de sostenibilidad del edificio en estudio, está centrada en mejorar los parámetros más relevantes, mencionados en el literal anterior. Estas mejoras, deben incrementar el nivel de sostenibilidad del edificio, sin afectar en gran medida los costos de construcción.

#### **4.3.1 P8 Cantidad de energía que es producida en el edificio a través de fuentes renovables**

Como se pudo observar en la evaluación de sostenibilidad, el edificio solo genera una parte de la energía necesaria para la producción de aguas sanitarias, a través de energías renovables (paneles solares térmicos). Por lo tanto, este parámetro puede ser mejorado incorporando paneles solares fotovoltaicos que generen la energía necesaria para satisfacer estos dos escenarios:

##### **4.3.1.1 Escenario 1: Energía para satisfacer al 100% los sistemas de climatización y producción de aguas sanitarias**

La primera alternativa es incorporar la cantidad de paneles necesaria que pueda suplir las necesidades energéticas de los sistemas de calefacción, enfriamiento y producción de aguas sanitarias de cada uno de los apartamentos. El consumo anual de energía primaria de cada fracción ( $N_{tc}$ ), se encuentra en el pre-certificado energético en (kWh<sub>ep</sub>/año), que luego es convertida en energía eléctrica (kWh/año), por medio de un factor de conversión de 2.5 (Ministério Da Economia e do Emprego, 2013). La Tabla 31, se muestran los resultados.



Tabla 31 Cálculo de las Necesidades de energía primaria globales del edificio

T	NºF	Ap (m <sup>2</sup> )	Ntc (kWhep/m <sup>2</sup> .año)	Ntc (kWhep/año)	Eren (kWh/año)
T2	APA01	72.77	18.80	1368.08	547.23
T2	APA02	77.5	20.16	1562.40	624.96
T3	APA03	107.3	19.48	2090.20	836.08
T2	APA04	71.58	19.12	1368.61	547.44
T2	APA05	73.97	25.33	1873.66	749.46
T2	APA06	73.97	23.72	1754.57	701.83
T2	APA1.1	74.83	17.7	1324.49	529.80
T2	APA1.2	78.19	18.41	1439.48	575.79
T3	APA1.3	108.35	17.64	1911.29	764.52
T2	APA1.4	71.58	18.07	1293.45	517.38
T2	APA1.5	75.16	22.97	1726.43	690.57
T2	APA1.6	75.16	22.26	1673.06	669.22
T2	APA2.1	74.83	23.2	1736.06	694.42
T2	APA2.2	78.19	24.17	1889.85	755.94
T3	APA2.3	108.35	23.96	2596.07	1038.43
T2	APA2.4	71.58	23.62	1690.72	676.29
T2	APA2.5	75.16	29.52	2218.72	887.49
T2	APA2.6	75.16	27.16	2041.35	816.54
<b>Total</b>			<b>395.29</b>	<b>31558.48</b>	<b>12623.39</b>

Para dimensionar el número de paneles fotovoltaicos de cada fracción, se utilizó la hoja de cálculo suministrada por la SCE.ER, donde se calculó la cantidad de paneles solares, el área total a utilizar y la cantidad de energía que producen.

Tabla 32 Cálculo número de paneles y producción total de energía, escenario 1

Eren (kWh/año)	Simulación SCE.ER				Producción Eren (%)
	No. Paneles	Potencia (W)	Producción (kWh/año)	Área (m2)	
547.23	2	500	672	3	123%
624.96	2	500	672	3	108%
836.08	3	750	1055	4	126%
547.44	2	500	672	3	123%
749.46	2	500	672	3	90%
701.83	2	500	672	3	96%
529.80	2	500	672	3	127%
575.79	2	500	672	3	117%
764.52	2	500	672	3	88%
517.38	2	500	672	3	130%
690.57	2	500	672	3	97%
669.22	2	500	672	3	100%
694.42	2	500	672	3	97%
755.94	2	500	672	3	89%
1038.43	3	750	1055	4	102%
676.29	2	500	672	3	99%
887.49	3	750	1055	4	119%
816.54	3	750	1055	4	129%
<b>12623.39</b>	<b>40.00</b>		<b>13628.00</b>	<b>58.00</b>	<b>109%</b>

Como se observa en la Tabla 32, se necesitan 40 paneles solares y un área de 58m<sup>2</sup> para instalarlos. Con esta alternativa, el porcentaje de energía producida a partir de fuentes renovables cambia de un valor ponderado de 15.47 (kWh/año) a 39.1 (kWh/año). Por lo tanto, el valor normalizado  $\overline{P_{ER}}$  cambio de 0.04 a 0.37, y en la escala de evaluación cualitativa cambia de una clase D a una clase C, como se muestra en la Tabla 33. Con este escenario, los paneles se implementarían en la cubierta como se muestra en la Figura 46.

Tabla 33 Cálculo parámetro P8, Escenario 1

T	NºF	Ap (m <sup>2</sup> )	Nic (kWh/m <sup>2</sup> año)	Nvc (kWh/m <sup>2</sup> año)	Qa (kWh/año)	QA (kWh/m <sup>2</sup> año)	ERen (kWh/m <sup>2</sup> año)	Esolar (kWh/m <sup>2</sup> año)	Ntc' (kWh/m <sup>2</sup> año)	0.5*QA (kWh/m <sup>2</sup> año)	PER (kWh/m <sup>2</sup> año)
T2	APA01	72.77	8.33	7.90	1783	25.79	1680	1128	64.4	12.90	38.59
T2	APA02	77.5	14.10	5.44	1783	24.22	1680	1128	77.2	12.11	36.23
T3	APA03	107.3	16.23	7.21	2377	23.32	2637.5	1802	84.4	11.66	41.37
T2	APA04	71.58	10.48	6.12	1783	26.22	1680	1128	69.5	13.11	39.23
T2	APA05	73.97	19.87	7.57	1783	25.37	1680	1128	98.2	12.69	37.96
T2	APA06	73.97	19.94	4.93	1783	25.37	1680	1128	95.5	12.69	37.96
T2	APA1.1	74.83	6.46	8.41	1783	25.08	1680	1128	58.5	12.54	37.53
T2	APA1.2	78.19	9.79	6.87	1783	24.00	1680	1128	65.5	12.00	35.91
T3	APA1.3	108.4	11.75	8.62	2377	23.10	1680	1802	72.2	11.55	32.14
T2	APA1.4	71.58	7.4	7.36	1783	26.22	1680	1128	61.5	13.11	39.23
T2	APA1.5	75.16	14.61	9.04	1783	24.97	1680	1128	83.5	12.49	37.36
T2	APA1.6	75.16	17.58	5.08	1783	24.97	1680	1128	88.1	12.49	37.36
T2	APA2.1	74.83	16.28	7.75	1783	25.08	1680	1128	87.2	12.54	37.53
T2	APA2.2	78.19	19.79	6.56	1783	24.00	1680	1128	95.2	12.00	35.91
T3	APA2.3	108.4	23.12	7.92	2377	23.10	2637.5	1802	105.6	11.55	40.97
T2	APA2.4	71.58	17.19	6.93	1783	26.22	1680	1128	90.5	13.11	39.23
T2	APA2.5	75.16	26.38	8.31	1783	24.97	2637.5	1128	118.0	12.49	50.10
T2	APA2.6	75.16	25.25	5.6	1783	24.97	2637.5	1128	111.7	12.49	50.10
<b>Valores ponderados en función del n.º de apartamentos y del área útil</b>									<b>85.067</b>	<b>12.351</b>	<b>39.065</b>



Figura 46 Incorporación de los paneles solares en la cubierta, Escenario 1

### 4.3.1.2 Escenario 2: Energía para satisfacer el 75% de la energía consumida en el edificio

La distribución de energía primaria de un apartamento residencial se encuentra dividida como se muestra en la Figura 47.

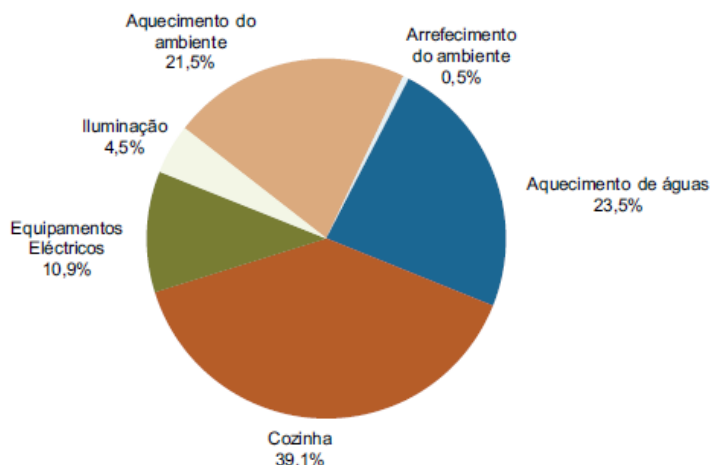


Figura 47 Distribución del consumo de energía en un apartamento. Tomado de: (I.P and DGEG, 2011)

Como se muestra en el gráfico el 45.5% de la energía está destinada a la climatización y el calentamiento de aguas y el 54.5% restante de la energía es debido a la iluminación, dispositivos electrónicos y cocina. A continuación, se muestran los valores del 75% de la energía primaria utilizada anualmente por cada fracción:

Tabla 34 Distribución Energía Primaria en cada fracción

NºF	Climatización y Producción de aguas sanitarias (45.5%) (kWh/año)	Iluminación, Disp. Electrónicos y Cocina (75%) (kWh/año)
APA01	547.23	902.03
APA02	624.96	1030.15
APA03	836.08	1378.16
APA04	547.44	902.38
APA05	749.46	1235.38
APA06	701.83	1156.86
APA1.1	529.80	873.29
APA1.2	575.79	949.11
APA1.3	764.52	1260.19
APA1.4	517.38	852.82
APA1.5	690.57	1138.30
APA1.6	669.22	1103.12
APA2.1	694.42	1144.65
APA2.2	755.94	1246.06
APA2.3	1038.43	1711.69
APA2.4	676.29	1114.76
APA2.5	887.49	1462.89
APA2.6	816.54	1345.94

La Tabla 34, muestra la cantidad energía eléctrica que necesita cada una de las fracciones del edificio. Seguidamente, se calculan la cantidad de paneles fotovoltaicos que suministren dicha cantidad de energía.

Tabla 35 Cálculo número de paneles, escenario 2

Eren (kWh/año)	Simulación SCE.ER				Producción Eren (%)
	No. Paneles	Potencia (W)	Producción (kWh/año)	Área (m2)	
902.03	3	750	1055	4	117%
1030.15	3	750	1055	4	102%
1378.16	4	1000	1428	5	104%
902.38	3	750	1055	4	117%
1235.38	4	1000	1428	5	116%
1156.86	3	750	1055	4	91%
873.29	2	500	672	3	77%
949.11	3	750	1055	4	111%
1260.19	4	1000	1428	5	113%
852.82	2	500	672	3	79%
1138.30	3	750	1055	4	93%
1103.12	3	750	1055	4	96%
1144.65	3	750	1055	4	92%
1246.06	4	1000	1428	5	115%
1711.69	5	1250	1797	4	105%
1114.76	3	750	1055	4	95%
1462.89	4	1000	1428	5	98%
1345.94	4	1000	1428	5	106%
<b>20807.79</b>	<b>60.00</b>		<b>21204.00</b>	<b>76.00</b>	<b>101%</b>

En este segundo escenario, se necesitan 60 paneles solares y un área de 76m<sup>2</sup> para instalarlos (Tabla 35). Con esta alternativa, el porcentaje de energía producida a partir de fuentes renovables cambia de un valor ponderado de 15.47 (kWh<sub>ep</sub>/año) a 52.19 (kWh<sub>ep</sub>/año). Por lo tanto, el valor normalizado  $\overline{P_{ER}}$  cambió de 0.04 a 0.55, y en la escala de evaluación cualitativa cambia de una clase D a una clase B, como se muestra en la Tabla 36. Con este escenario, los paneles se implementarían en la cubierta como se muestra en la Figura 48Figura 39.

Tabla 36 Cálculo parámetro P8, Escenario 2

T	NºF	Ap (m²)	Nic (kWh/m2.año)	Nvc (kWh/m2.año)	Qa (kWh/año)	QA (kWh/m2.año)	ERen (kWh/m2.año)	Esolar (kWh/m2.año)	Ntc' (kWh/m2.año)	0.5*QA (kWh/m2.año)	PER (kWh/m2.año)
T2	APA01	72.77	8.33	7.90	1783	25.79	2637.5	1128	64.4	12.90	51.75
T2	APA02	77.5	14.10	5.44	1783	24.22	2637.5	1128	77.2	12.11	48.59
T3	APA03	107.3	16.23	7.21	2377	23.32	3570	1802	84.4	11.66	50.07
T2	APA04	71.58	10.48	6.12	1783	26.22	2637.5	1128	69.5	13.11	52.61
T2	APA05	73.97	19.87	7.57	1783	25.37	3570	1128	98.2	12.69	63.51
T2	APA06	73.97	19.94	4.93	1783	25.37	2637.5	1128	95.5	12.69	50.91
T2	APA1.1	74.83	6.46	8.41	1783	25.08	1680	1128	58.5	12.54	37.53
T2	APA1.2	78.19	9.79	6.87	1783	24.00	2637.5	1128	65.5	12.00	48.16
T3	APA1.3	108.4	11.75	8.62	2377	23.10	3570	1802	72.2	11.55	49.58
T2	APA1.4	71.58	7.4	7.36	1783	26.22	1680	1128	61.5	13.11	39.23
T2	APA1.5	75.16	14.61	9.04	1783	24.97	2637.5	1128	83.5	12.49	50.10
T2	APA1.6	75.16	17.58	5.08	1783	24.97	2637.5	1128	88.1	12.49	50.10
T2	APA2.1	74.83	16.28	7.75	1783	25.08	2637.5	1128	87.2	12.54	50.32
T2	APA2.2	78.19	19.79	6.56	1783	24.00	3570	1128	95.2	12.00	60.08
T3	APA2.3	108.4	23.12	7.92	2377	23.10	4492.5	1802	105.6	11.55	58.09
T2	APA2.4	71.58	17.19	6.93	1783	26.22	2637.5	1128	90.5	13.11	52.61
T2	APA2.5	75.16	26.38	8.31	1783	24.97	3570	1128	118.0	12.49	62.51
T2	APA2.6	75.16	25.25	5.6	1783	24.97	3570	1128	111.7	12.49	62.51
Valores ponderados en función del n.º de apartamentos y del área útil									85.067	12.351	52.185



Figura 48 Incorporación de paneles solares en la cubierta, Escenario 2

### 4.3.1.3 Escenario 3: Energía para satisfacer el 100% de la energía consumida en el edificio

En este tercer escenario se calculó la cantidad de energía para satisfacer al 100% la energía requerida en el edificio. Para ello, también se utilizó la distribución de energía de la dirección general de Energía y Geología (Figura 47), y los resultados se muestran a continuación.

Tabla 37 Distribución Energía Primaria en cada fracción

NºF	Climatización y Producción de aguas sanitarias (45.5%) (kWh/año)	Iluminación, Disp. Electrónicos y Cocina (54.5%) (kWh/año)	Total de Energía Eléctrica (100%) (kWh/año)
APA01	547.23	655.47	1202.70
APA02	624.96	748.58	1373.54
APA03	836.08	1001.46	1837.54
APA04	547.44	655.73	1203.17
APA05	749.46	897.71	1647.17
APA06	701.83	840.65	1542.48
APA1.1	529.80	634.59	1164.39
APA1.2	575.79	689.68	1265.48
APA1.3	764.52	915.74	1680.26
APA1.4	517.38	619.72	1137.10
APA1.5	690.57	827.17	1517.74
APA1.6	669.22	801.60	1470.82
APA2.1	694.42	831.78	1526.20
APA2.2	755.94	905.47	1661.41
APA2.3	1038.43	1243.83	2282.26
APA2.4	676.29	810.06	1486.35
APA2.5	887.49	1063.04	1950.53
APA2.6	816.54	978.05	1794.59

La Tabla 37, muestra la cantidad energía eléctrica que necesita cada una de las fracciones del edificio. A continuación, se calculan la cantidad de paneles fotovoltaicos que suministren dicha cantidad de energía.

Tabla 38 Cálculo número de paneles, escenario 3

Eren (kWh/año)	Simulación SCE.ER				Producción Eren (%)
	No. Paneles	Potencia (W)	Producción (kWh/año)	Área (m2)	
1202.70	3	750	1055	4	88%
1373.54	4	1000	1428	5	104%
1837.54	5	1250	1797	6	98%
1203.17	4	1000	1428	5	119%
1647.17	5	1250	1797	6	109%
1542.48	4	1000	1428	5	93%
1164.39	3	750	1055	4	91%
1265.48	4	1000	1428	5	113%
1680.26	5	1250	1797	6	107%
1137.10	3	750	1055	4	93%
1517.74	4	1000	1428	5	94%
1470.82	4	1000	1428	5	97%
1526.20	4	1000	1428	5	94%
1661.41	5	1250	1797	6	108%
2282.26	6	1500	2165	8	95%
1486.35	4	1000	1428	5	96%
1950.53	5	1250	1797	6	92%
1794.59	5	1250	1797	6	100%
<b>27743.72</b>	<b>77.00</b>		<b>27536.00</b>	<b>96.00</b>	<b>99%</b>

En este tercer escenario, se necesitan 77 paneles solares y un área de 96m<sup>2</sup> para instalarlos (Tabla 38). Con esta alternativa, el porcentaje de energía producida a partir de fuentes renovables cambia de un valor ponderado de 15.47 (kWh/año) a 63.15 (kWh/año). Por lo tanto, el valor normalizado  $\overline{P}_{ER}$  cambió de 0.04 a 0.7, y en la escala de evaluación cualitativa

cambia de una clase D a una clase A, como se muestra en la Tabla 39. Con este escenario, los paneles se implementarían en la cubierta como se muestra en la Figura 49.

Tabla 39 Cálculo parámetro P8, Escenario 3

T	NºF	Ap (m <sup>2</sup> )	Nic (kWh/m <sup>2</sup> .año)	Nvc (kWh/m <sup>2</sup> .año)	Qa (kWh/año)	QA (kWhep/m <sup>2</sup> .año)	ERen (kWhep/año)	Esolar (kWhep/año)	Ntc' (kWhep/m <sup>2</sup> .año)	0.5*QA (kWhep/m <sup>2</sup> .año)	PER (kWhep/m <sup>2</sup> .año)
T2	APA01	72.77	8.33	7.90	1783	25.79	2637.5	1128	64.4	12.90	51.75
T2	APA02	77.5	14.10	5.44	1783	24.22	3570	1128	77.2	12.11	60.62
T3	APA03	107.3	16.23	7.21	2377	23.32	4492.5	1802	84.4	11.66	58.66
T2	APA04	71.58	10.48	6.12	1783	26.22	3570	1128	69.5	13.11	65.63
T2	APA05	73.97	19.87	7.57	1783	25.37	4492.5	1128	98.2	12.69	75.98
T2	APA06	73.97	19.94	4.93	1783	25.37	3570	1128	95.5	12.69	63.51
T2	APA1.1	74.83	6.46	8.41	1783	25.08	2637.5	1128	58.5	12.54	50.32
T2	APA1.2	78.19	9.79	6.87	1783	24.00	3570	1128	65.5	12.00	60.08
T3	APA1.3	108.4	11.75	8.62	2377	23.10	4492.5	1802	72.2	11.55	58.09
T2	APA1.4	71.58	7.4	7.36	1783	26.22	2637.5	1128	61.5	13.11	52.61
T2	APA1.5	75.16	14.61	9.04	1783	24.97	3570	1128	83.5	12.49	62.51
T2	APA1.6	75.16	17.58	5.08	1783	24.97	3570	1128	88.1	12.49	62.51
T2	APA2.1	74.83	16.28	7.75	1783	25.08	3570	1128	87.2	12.54	62.78
T2	APA2.2	78.19	19.79	6.56	1783	24.00	4492.5	1128	95.2	12.00	71.88
T3	APA2.3	108.4	23.12	7.92	2377	23.10	5412.5	1802	105.6	11.55	66.59
T2	APA2.4	71.58	17.19	6.93	1783	26.22	3570	1128	90.5	13.11	65.63
T2	APA2.5	75.16	26.38	8.31	1783	24.97	4492.5	1128	118.0	12.49	74.78
T2	APA2.6	75.16	25.25	5.6	1783	24.97	4492.5	1128	111.7	12.49	74.78
Valores ponderados en función del n.º de apartamentos y del área útil									85.067	12.351	63.151

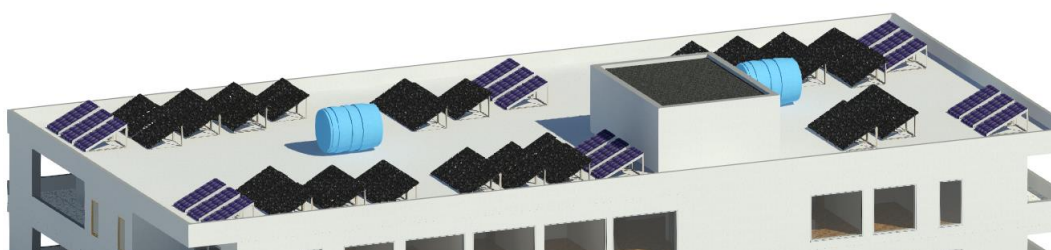


Figura 49 Incorporación paneles solares en la cubierta, Escenario 3

### 4.3.2 P14 - Volumen anual de agua consumido *per cápita* en el interior del edificio

Para mejorar el nivel de sostenibilidad a nivel de este parámetro, fueron implementados equipos más eficientes, de modo a disminuir la cantidad de agua consumida. La ANQIP ha determinado el consumo de agua de cada dispositivo, dependiendo de su eficiencia hídrica, como se muestra a continuación:

- Sistema de descarga:



Tabla 40 Categorías de Eficiencias Hídricas para sanitarios (adaptado de ETA 0804)

Volumen nominal	Tipo de descarga	Categoría de Eficiencia Hídrica
6.0	Doble descarga	A
7.0	Completa	D

- Grifos de agua (Lavamanos):

Tabla 41 Categorías de Eficiencia Hídrica para Lavamanos (Adaptado de ETA 0808)

Caudal (Q) (l/min)	Grifos Lavamanos	Grifos Lavamanos + eco-stop/aireador	Grifos Lavamanos + eco-stop y aireador
2.0 < Q ≤ 4.0	A	A+	A++
4.0 < Q ≤ 6.0	B	A	A+
6.0 < Q ≤ 9.0	C	B	A
9.0 < Q ≤ 12.0	D	C	B

- Grifos de agua (Lavaplatos):

Tabla 42 Categorías de Eficiencia Hídrica para Lavaplatos (Adaptado de ETA 0808)

Caudal (Q) (l/min)	Grifos Lavaplatos	Grifos Lavaplatos + eco-stop/aireador	Grifos Lavaplatos + eco-stop y aireador
4.0 < Q ≤ 6.0	A	A+	A++
6.0 < Q ≤ 9.0	B	A	A+
9.0 < Q ≤ 12.0	C	B	A
12.0 < Q ≤ 15.0	D	C	B

- Duchas:

Tabla 43 Categorías de Eficiencia Hídrica para Duchas (Adaptado ETA 0806)

Caudal (Q) (l/min)	Ducha	Sistema de ducha	Sistema de ducha con grifo termostático/eco-stop	Sistema de ducha con grifo termostático y eco-stop
5.0 < Q ≤ 7.2	A	A	A+	A++
7.2 < Q ≤ 9.0	B	B	A	A+
9.0 < Q ≤ 15.0	C	C	B	A
15.0 < Q ≤ 30.0	D	D	C	B

Teniendo las Eficiencias hídricas y el consumo de cada dispositivo, determinamos el nuevo volumen anual de agua consumido per cápita en el interior del edificio ( $P_{CA}$ ), mostrado en la Tabla 44.

Tabla 44 Cálculo volumen anual de agua consumida

Dispositivo de Utilización	Tipo de dispositivo	Consumo por utilización (litros)	No. De utilizacione s/año	No. De utilizacion es/dia.hab	Vol. Anual de agua consumida (m3/hab.ano)
Sanitario de doble descarga	Doble descarga 6/3 l	4	365	6	8.76
Grifo Lavamanos	Temporizado con Aireador	0.5	365	10	1.83
Grifo Lavaplatos	Con reductor de caudal	6	365	1	2.19
Ducha	Con reductor de caudal	26.5	365	0.7	6.77
Lavadora	De bajo consumo	45	365	0.15	2.46
				<b>PCA</b>	<b>22.01</b>

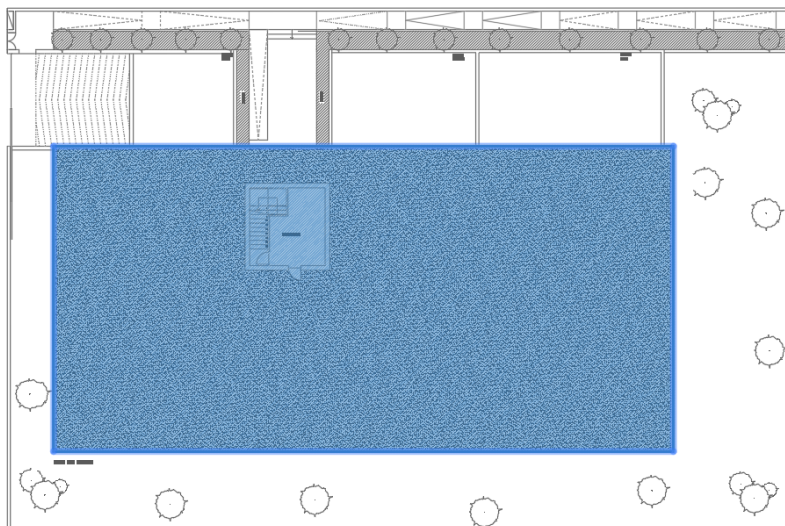
Por último, el nuevo valor normalizado del parámetro P14 es de 1.00 y en la escala de evaluación cualitativa tiene un valor de A.

### 4.3.3 P15 - Porcentaje de reducción del consumo de agua

La propuesta de mejora para este parámetro es la implementación de un Sistema de Aprovechamiento de Aguas Pluviales – SAAP. Para ello, la ANQIP, Asociación Nacional de Calidad de Instalaciones Prediales, desarrollo una serie de especificaciones técnicas (ETA 0701 y ETA 0702), que sirven de guía y brindan información técnica para la instalación de un SAAP en edificios, con fines no potables.

#### 4.3.3.1 Área de captación

El área de captación definida para el caso de estudio es el área de la cubierta que es de 798 m<sup>2</sup>, como se muestra en la Figura 50.



*Figura 50 Área de captación para diseño del SAAP*

### 4.3.3.2 Datos de precipitación

Para el caso de estudio los datos de precipitación fueron recogidos de la estación B. Castelo Burgães. Los datos de precipitación de esta estación fueron obtenidos del Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos, y representan la precipitación mensual desde enero de 1980 hasta diciembre de 2017 (Tabla 45), a excepción de los años 2012 y 2013, el mes de octubre del año 2014, y los meses de abril a septiembre del año 2017, que no fueron considerados por falta de información. Así, fueron considerados 425 meses, es decir, 35 años y 5 meses. Según la ANQIP, los datos de precipitaciones no deben ser inferiores a 10 años y deben ser obtenidos de fuentes oficiales (ANQIP, 2009). En la tabla, se encuentran las precipitaciones medias mensuales para el periodo considerado:

*Tabla 45 Precipitación Media Mensual en Vila Nova de Gaia. Fuente: SNIRH*

<b>Precipitación Media Mensual (mm)</b>	
Enero	203.92
Febrero	147.58
Marzo	117.99
Abril	149.05
Mayo	121.30
Junio	53.86
Julio	23.40
Agosto	35.19
Septiembre	74.90
Octubre	181.37
Noviembre	207.20
Diciembre	223.19

### 4.3.3.3 Volumen de agua suministrado por el SAAP

El consumo de agua que será suministrado por el SAAP, será el volumen total usado en las descargas de los sanitarios de todo el edificio, para ello se estimó el volumen mensual por habitante en (m<sup>3</sup>) y se multiplico por el número de personas que habitaran el edificio, dependiendo de los tipos de apartamentos (T2 y T3). Como fue propuesto en el parámetro 14, para mejorar la sostenibilidad del edificio y reducir el consumo de agua potable, se van a implementar sanitarios más eficientes con descarga doble de (3 y 6 litros), y el volumen mensual de agua consumida, se encuentra en la Tabla 46.

*Tabla 46 Consumo de agua total (m<sup>3</sup>/mes)*

Dispositivo de Utilización	Consumo por utilización (litros)	No. De utilizaciones/ dia.hab	Vol. Mensual de agua consumida (m <sup>3</sup> /hab.mes)	No. De Usuarios	Vol. Mensual de agua consumida (m <sup>3</sup> /mes)
Sanitario de doble descarga	4	6	0.73	57	41.61

### 4.3.3.4 Sistema de Bombeo

Para dimensionar el sistema de bombeo es necesario calcular el caudal acumulado de todos los dispositivos utilizados. Como se muestra en la Tabla 47, se necesita una bomba con un caudal de 14 m<sup>3</sup>/h.

*Tabla 47 Cálculo caudal acumulado*

Dispositivo	Qinst (l/s)	Cantidad	Qacum. (l/s)	Qacum. (m <sup>3</sup> /h)
Sanitarios	0.1	39	3.9	14.04

Para dimensionar la bomba (Figura 52), se requiere saber la altura desde el reservorio subterráneo hasta los reservorios ubicados en la cobertura, que es de aproximadamente 14m. En el Anexo 5 – Parámetro 15, se muestra el tipo de bomba a utilizar y sus especificaciones técnicas.

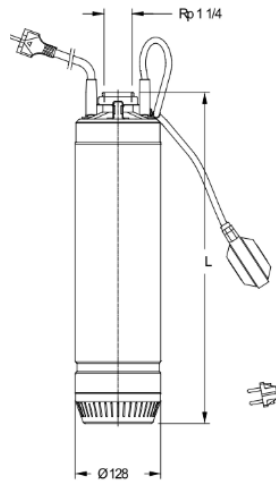


Figura 51 Bomba SC409-C. Tomada de: (Ecodepur, 2012)

#### 4.3.3.5 Dimensionamiento del Reservorio

Para el dimensionamiento del reservorio, fueron considerados los siguientes métodos:

**Método de Rippl:** Este método consiste en la determinación del volumen con base en el área de captación y en la precipitación registrada, considerando que no toda el agua precipitada va ser almacenada y que el consumo mensual de la edificación puede ser variable (Sacadura, 2011).

El volumen utilizable ( $m^3$ ), es el volumen máximo de agua pluvial que podrá ser recolectado en el intervalo de un mes o diariamente, y es calculado a través de la ecuación 36.

$$V = P \times A \times C \times \eta \quad (36)$$

Donde,

$V$  – Volumen mensual o diario de agua pluvial (l);

$P$  – Precipitación media mensual o diaria (mm);

$A$  – Área de captación ( $m^2$ );

$C$  – Coeficiente de escurrimiento superficial;

$\eta$  – Eficiencia del sistema de filtrado.

Una vez calculado el volumen utilizable y teniendo el consumo de agua mensual, se determina el volumen del reservorio como se muestra en la Tabla 48.

Tabla 48 Tabla de Cálculo Método de Rippl

Fecha	Precipitación (mm)	Área de Captación (m2)	Coefficiente de Escurrimiento (C)	Consumo (m3)	Volumen Utilizable (m3)	Diferencia de Volumen Utilizable y Consumo	Diferencia Acumulada (m3)	Volumen del Reservatorio (m3)
1997 - 1998	Octubre	231.5	798	0.54	99757.98	41.61	99716.37	0
	Noviembre	589.8	798	0.54	254156.6	41.61	254115.006	0
	Diciembre	356	798	0.54	153407.5	41.61	153365.91	0
	Enero	228.6	798	0.54	98508.31	41.61	98466.702	0
	Febrero	49.5	798	0.54	21330.54	41.61	21288.93	0
	Marzo	54.7	798	0.54	23571.32	41.61	23529.714	0
	Abril	400.3	798	0.54	172497.3	41.61	172455.666	0
	Mayo	165.1	798	0.54	71144.89	41.61	71103.282	0
	Junio	53.8	798	0.54	23183.5	41.61	23141.886	0
	Julio	27.7	798	0.54	11936.48	41.61	11894.874	0
Agosto	0	798	0.54	0	41.61	-41.61	-41.61	41.61
Septiembre	184.6	798	0.54	79547.83	41.61	79506.222	0	

Por lo tanto, el volumen del reservorio será de 42 m<sup>3</sup>.

**Método de la ANQIP:** este método propone un dimensionamiento simplificado del reservorio, para edificios de pequeña o media dimensión, con consumos relativamente uniformes a lo largo del tiempo. Y es calculado a través de las ecuaciones 37, 38 y 39.

$$V = \text{Min}(V_1 \text{ o } V_2) \tag{37}$$

Con,

$$V_1 = 0.0015 \times P \times A \times N \tag{38}$$

Y,

$$V_2 = 0.003 \times U \times C_{AE} \times N \tag{39}$$

Siendo:

$V_1$  – Volumen utilizable (litros);

$P$  – Pluviosidad media anual en el lugar de instalación (mm)

$A$  – Área de captación (m<sup>2</sup>);

$N$  – Número máximo de días de retención de agua en el reservorio (en general, es de 20 a 30 días);

$V_2$  – Volumen Consumido (litros);

$U$  – Número de usuarios del edificio;

$C_{AE}$  – Consumo anual estimado (litros).

Tabla 49 Cálculo Volumen Reservorio Método de la ANQIP

P (mm)	A (m2)	N (días)	V1 (litros)	U	CAE (litros)	V2	V (m3)
1558	798	30	55947.78	57	499320	2561512	56

Por lo tanto, el volumen del reservorio con este método es de 56 m<sup>3</sup>, como se muestra en la Tabla 49.

**Método Español:** este método determina el volumen del reservorio a través del cálculo de un volumen utilizable, calculado a través de la ecuación 40, y un volumen útil, calculado a través de la ecuación 41.

$$V_{utilizable} = C \times P \times A \times \eta \tag{40}$$

Donde,

*C* – Coeficiente de escurrimiento, que para coberturas con grava es de 0.6;

*P* – Pluviosidad media anual en el lugar de instalación (mm);

*A* – Área de captación (m<sup>2</sup>);

*η* – Eficiencia hidráulica (normalmente 0.90).

Y,

$$V_{\acute{u}til} = \frac{V_{utilizable} + Consumo\ anual\ estimado}{2} \times \frac{30}{365} \tag{41}$$

*Tabla 50 Cálculo Volumen Reservorio Método Español*

C	P (mm)	A (m2)	η	V, Utilizable (litros)	CAE (litros)	V, Útil (litros)	V (m3)
0.6	1558	798	0.9	671373.36	499320	48110.68603	48

Así, el volumen del reservorio es de 48m<sup>3</sup>, como se muestra en la Tabla 50.

**Método Australiano:** el volumen del reservorio es calculado teniendo en cuenta el volumen utilizable y el consumo mensual de agua no potable, calculados a través de la ecuación 42.

$$V_{utilizable} = A \times C \times (P - Desvio\ First\ Flush) \tag{42}$$

Donde,

*A* – Área de captación (m<sup>2</sup>);

*C* – Coeficiente de escurrimiento, que para coberturas con grava es de 0.6;

*P* – Precipitación mensual (mm);

Desvio First First Flush es generalmente de 2mm.

Tabla 51 Cálculo Volumen Reservorio Método Australiano

Fecha	Precipitación (mm)	Área de Captación (m2)	Coefficiente de Escurrimiento ©	Volumen Utilizable (m3)	Consumo (m3)	Vt-1	Vt	Volumen del Reservorio (m3)	
1980 - 1981	Octubre	137.6	798	0.6	64.92528	41.61	0	23.31528	50
	Noviembre	119.8	798	0.6	56.40264	41.61	23.31528	38.10792	50
	Diciembre	112	798	0.6	52.668	41.61	38.10792	49.16592	50
	Enero	7.5	798	0.6	2.6334	41.61	49.16592	10.18932	50
	Febrero	110.6	798	0.6	51.99768	41.61	10.18932	20.577	50
	Marzo	189.8	798	0.6	89.91864	41.61	20.577	50	50
	Abril	98.3	798	0.6	46.10844	41.61	50	50	50
	Mayo	198.3	798	0.6	93.98844	41.61	50	50	50
	Junio	29	798	0.6	12.9276	41.61	50	21.3176	50
	Julio	1.6	798	0.6	-0.19152	41.61	21.3176	0	50
	Agosto	4.8	798	0.6	1.34064	41.61	0	0	50
Septiembre	62.6	798	0.6	29.01528	41.61	0	0	50	

Para el primer mes, se considera que el reservorio está vacío (Vt-1=0), y cuando (Vt-1+Volumen utilizable – Consumo) < 0, entonces Vt=0 (Tabla 51). La eficiencia del sistema es calculada a través de las ecuaciones 43 y 44.

$$E = 1 - P_r \tag{43}$$

$$P_r = N_r / N \tag{44}$$

Donde,

E – Eficiencia;

P<sub>r</sub> – Es la falla;

N<sub>r</sub> – Número de meses en que el reservorio no alcanza el consumo, es decir, cuando Vt=0;

N – Número de meses considerado.

Así, se calculó el volumen del reservorio para diferentes eficiencias como se muestra en la Tabla 52.

Tabla 52 Volúmenes del reservorio vs. Eficiencias. Método Australiano

VOL (m3)	200	180	150	120	100	80	70	60	50	40
Nr	12	15	23	33	48	65	82	93	108	136
Nr	425	425	425	425	425	425	425	425	425	425
Pr	0.03	0.04	0.05	0.08	0.11	0.15	0.19	0.22	0.25	0.32
E	97%	96%	95%	92%	89%	85%	81%	78%	75%	68%

### 4.3.3.6 Resultados del dimensionamiento

Después de calcular el volumen del reservorio con diferentes métodos, los resultados se muestran en la Tabla 53.



*Tabla 53 Resultados Volumen del Reservorio*

<b>Método</b>	<b>Volumen Reservatorio (m<sup>3</sup>)</b>
Rippl	42
ANQIP	56
Español	48
Australiano	50*

\* Con una eficiencia del 75%

A partir de los resultados obtenidos, se puede concluir que los métodos más eficientes son el método de Rippl y el método australiano, ya que utilizan medias mensuales, lo que mejora la precisión del sistema. Adicionalmente, el método australiano es un método iterativo que calcula la eficiencia del sistema, lo que lo hace más objetivo. Por lo tanto, el volumen del reservorio será el volumen calculado por este método, es decir, 50m<sup>3</sup> con una eficiencia de 75%.



*Figura 52 Reservorio en Polietileno de 50m<sup>3</sup>. Fuente: (Aquamatic, 2017)*

Por lo tanto, se pretende instalar un reservorio subterráneo de 40m<sup>3</sup> (Figura 52), y dos reservorios de 5m<sup>3</sup> (Figura 53), en la cubierta del edificio, que serán abastecidos por el reservorio subterráneo, mediante el sistema de bombeo. De esta forma, solo se utilizará el sistema de bombeo para abastecer los reservorios de la cubierta, los cuales, por efecto de la gravedad, suplirán las necesidades de las descargas sanitarias de cada apartamento.



*Figura 53 Reservorios de 5m<sup>3</sup>. Fuente:(Aquamatic, 2017)*

Según el método australiano, la eficiencia de este sistema será del 75%, que es equivalente al coeficiente de satisfacción del sistema de utilización de aguas pluviales  $C_{SAT}$ . Por lo tanto, el

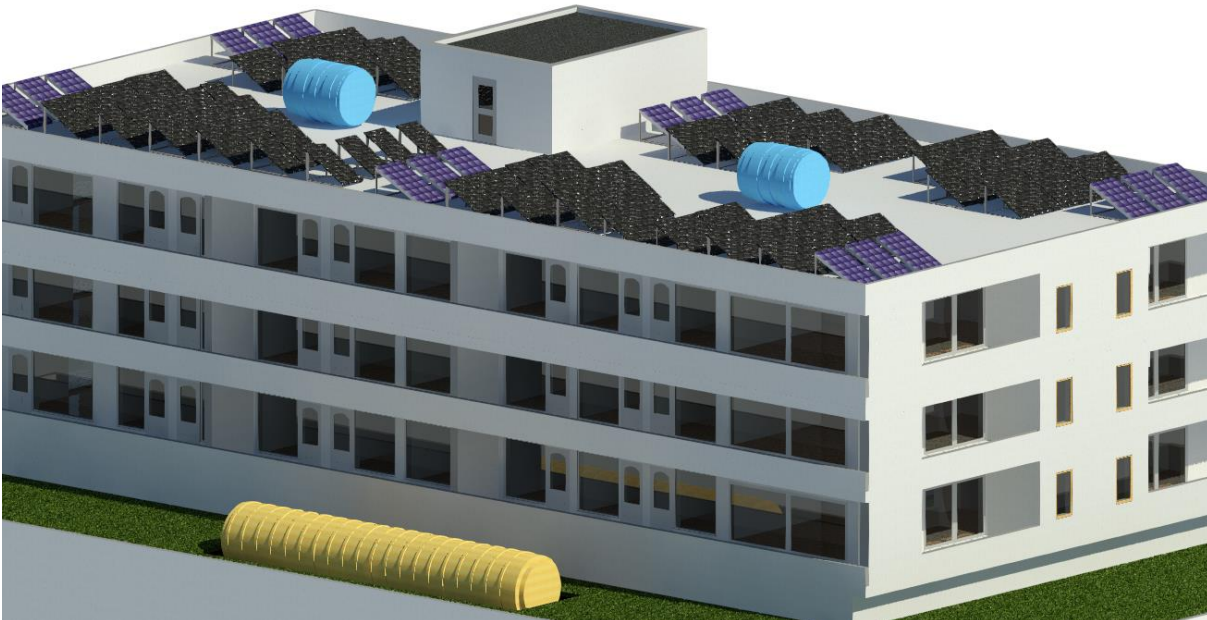
porcentaje de reducción del consumo de agua potable  $P_{RCA}$ , es calculado a través de la ecuación 45.

$$P_{RCA} = \frac{V_{DA} \times C_{SAT}}{P_{CA} \times \text{número de ocupantes}} \times 100 \quad (45)$$

Donde,

$V_{DA}$  – Es la sumatoria del consumo total anual estimado en  $m^3$  de los dispositivos interiores y exteriores abastecidos por el sistema;

Por lo tanto, el porcentaje de reducción del consumo de agua es del 30%. Así, el valor normalizado del parámetro P15 pasó de 0 a 0.75 y en la escala de evaluación cualitativa de una clase D a una clase A. La Figura 54, muestra la integración del sistema SAAP al edificio en estudio.



*Figura 54 Incorporación de Reservorios en la edificación*

#### **4.3.4 P3 – Índice de impermeabilización**

Este parámetro, aunque no tiene un peso considerable en la nota de sostenibilidad global del edificio, su mejoría influencia la optimización del parámetro P6, que tiene un peso mayor a nivel general.

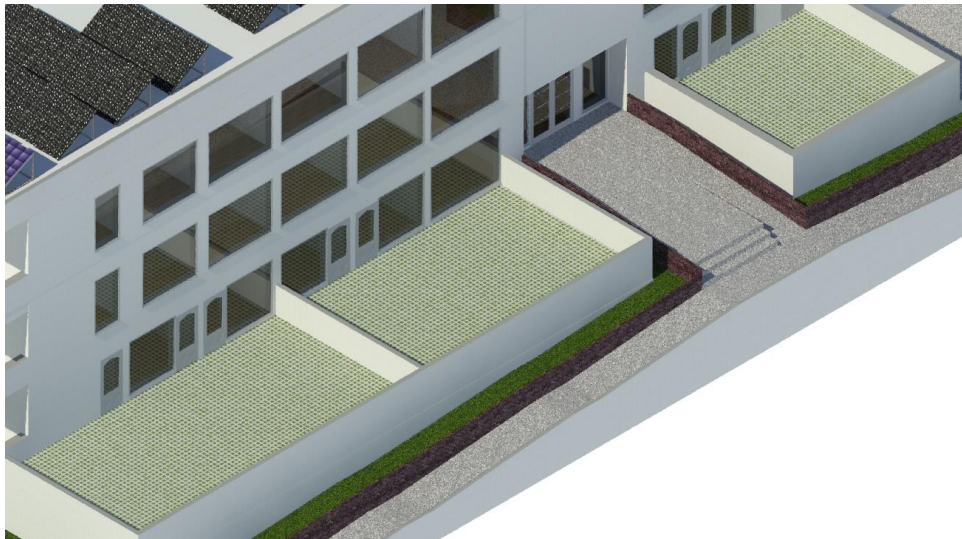
Este parámetro es mejorado con la implementación de más zonas verdes en el área de estudio del edificio. Para ello, se modificarán los pavimentos en concreto de las terrazas de los

apartamentos del primer piso, por adoquines en concreto ecológicos (Figura 55). Este tipo de pavimento, además de incrementar el área permeable, elimina el encharcamiento superficial, previene las inundaciones, reduce el efecto de isla de calor, recarga los acuíferos, entre otras funciones

(tensolite, 2015).



*Figura 55 Adoquines ecológicos implementados en pavimentos. Tomado de:* (tensolite, 2015)  
Con esta alternativa, las zonas impermeables disminuyen de  $1166\text{m}^2$  a  $1079\text{m}^2$ , con un porcentaje de área impermeable del 44%. Así, el valor normalizado del parámetro P3 cambia de un valor de 0.40 a 0.52, y en la escala de evaluación cualitativa, tiene un valor de B. La Figura 56, muestra la incorporación de estos adoquines en las terrazas del primer piso del edificio en estudio.



*Figura 56 Implementación de adoquines ecológicos, en las terrazas del primer piso*

### 4.3.5 P6 - Porcentaje del área en planta con reflectancia igual o superior al 60%

Al aumentar el porcentaje de área verde, el parámetro P6 también es mejorado, pasando de un Porcentaje de área en planta con reflectancia igual o superior al 60%,  $\overline{P_{REFL}}$ , de 51.96% a 55.54% de. Por lo tanto, el valor normalizado cambio a de un valor de 0.24 a 0.31, y en la escala de evaluación cualitativa, tiene un valor C.

### 4.3.6 P5 – Porcentaje de áreas verdes ocupadas por plantas autóctonas

La implementación de plantas autóctonas en gran parte de las áreas verdes del edificio en estudio, ayudan a la biodiversidad del lugar, ya que están adaptadas al clima nacional, necesitando menos cantidad de agua que las plantas exóticas. Al mismo tiempo, requieren de menos manutención, y contribuyen a mejorar el equilibrio ecológico.

Algunos ejemplos de plantas autóctonas que pueden ser utilizadas para los jardines son: el romero, las assembleas, las bocas de lobo, cebolla albarrana de pavo, entre otras (Figura 57).



Figura 57 Tipos de plantas autóctonas. Adaptado de: (SEMENTESDEPORTUGAL, 2016)

Con la implementación de este tipo de plantas en todas las zonas verdes del edificio de estudio, el parámetro P5 pasa de tener un valor normalizado de -0.2 a 1.17, y en la escala de evaluación cualitativa de una clase E a una clase A+.

#### 4.3.7 P13 – Potencial de las condiciones del edificio para la promoción de la separación de residuos sólidos

Este parámetro puede ser mejorado con la incorporación de contenedores en cada uno de los apartamentos, que permitan la separación de los tres tipos de residuos reciclables (papel, vidrio y plástico). Cada uno de los compartimientos debe tener un volumen mayor a 15 litros y el volumen mínimo total de los contenedores debe ser de 18 litros por habitante. Por lo tanto, las fracciones de tipología T2 tendrán un contenedor de mínimo 54 litros y los apartamentos T3 optarán por un contenedor mayor a 72 litros. Adicionalmente, estará previsto un depósito de pilas usadas (Figura 58).



*Figura 58 Izq. Contenedores para reciclaje 3x20 litros. Tomado de: (El corte inglés, 2017).  
Der. Contenedor de pilas usadas. Tomado de: (ENGELS, 2018)*

Con estas alternativas el parámetro P13 pasa de un valor normalizado de 0 a 0.88, y en la escala de evaluación cualitativa pasa de una clase D a una clase A.

#### 4.3.8 P23 – Disponibilidad y contenido del Manual del Utilizador del Edificio

La propuesta para mejorar este parámetro es la creación de un Manual para los propietarios, que disponga de información para que los ocupantes de los apartamentos sepan cómo realizar los procesos de mantenimiento de los elementos constructivos y dispositivos instalados, y así el edificio mantenga el desempeño previsto en todo su ciclo de vida. La Tabla 54, muestra la información que deberá contener el manual del utilizador del edificio en estudio.

Tabla 54 Contenido del Manual del Utilizador del Edificio

Contenido	Créditos
Requisito Legal	Pre-requisito
Comunicación de las medidas adoptadas	15
Información sobre energía	25
Información sobre agua	20
Residuos y reciclaje	13
Información de emergencia	2
<b>Total</b>	<b>75</b>

Con la implementación de este manual, el valor normalizado del parámetro P23 pasa de un valor de -0.2 a 1.00, y en la escala de evaluación cualitativa de una clase E a una clase A.

### 4.3.9 P25 - Valor actual de los costos de utilización por m<sup>2</sup> del área útil

Con las mejoras implementadas en los parámetros de agua y energía, los costos de utilización disminuyen significativamente, lo que incrementa el valor normalizado de este parámetro. En términos de energía, se analizarán los dos escenarios mencionados en el parámetro P8. Y los costos asociados al consumo de agua potable disminuirán debido a la implementación del sistema SAAP.

**Costo Anual del Consumo Energético correspondiente a la solución en estudio:** ( $CE_{SE}$ ) en ( $€/m^2 \cdot año$ ), es calculado a través de la ecuación 46.

$$CE_{SE} = \frac{N_{ic} \times T_i}{\eta_i} + \frac{N_{vc} \times T_v}{\eta_v} + \left( \frac{QA}{\eta_v} - \frac{E_{solar}}{A_p} \right) \times T_a - E_{ren} \times T_{ren} \quad (46)$$

Donde,

$N_{ic}, N_{vc}, QA$  – Son las necesidades nominales anuales de energía útil para calefacción y enfriamiento del ambiente y preparación de aguas sanitarias, respectivamente en ( $kW \cdot h/m^2 \cdot año$ );

$\eta_i, \eta_v, \eta_a$  – Son las eficiencias nominales de los equipos utilizados para los sistemas de calefacción, enfriamiento y preparación de aguas sanitarias, respectivamente.

$T_i, T_v, T_a$  – Es el costo actual de  $1kW \cdot h$  de electricidad, o de la energía equivalente, utilizada, respectivamente, en los equipos del sistema de calefacción, enfriamiento del ambiente y preparación de aguas sanitarias ( $€/kW \cdot h$ ).

Como ya fue dicho, cada fracción utilizará un aire acondicionado marca LG modelo MU4M25 con potencia para la calefacción de 7.3 kW y COP de 4.2, y una potencia de enfriamiento de 7.0 con un EER de 4.0. Adicionalmente, se pretenden instalar paneles solares fotovoltaicos con una potencia de 250W, para cada uno de los escenarios descritos en el parámetro P8. Así, los costos anuales del consumo de energía, se reducen a los siguientes valores:

Tabla 55 Cálculo costos energéticos anuales, Escenario 1, 2 y 3

Au (m2)	Nic (kW.h/m2.año)	Nvc (kW.h/m2.año)	Esolar (kW.h/año)	QA (kWh/m2.año)	Eren1 (45.5%) (kWh/m2.año)	CE,SE1 (€/m2.año)	Eren2 (75%) (kWh/m2.año)	CE,SE2 (€/m2.año)	Eren3 (100%) (kWh/m2.año)	CE,SE3 (€/m2.año)
72.77	8.33	7.90	1128.00	24.50	9.23	0.69	14.50	0.00	14.50	0.00
77.50	14.10	5.44	1128.00	23.01	8.67	0.85	13.61	0.00	18.43	0.00
107.30	16.23	7.21	1802.00	22.15	9.83	0.19	13.31	0.00	16.75	0.00
71.58	10.48	6.12	1128.00	24.91	9.39	0.70	14.74	0.00	19.95	0.00
73.97	19.87	7.57	1128.00	24.10	9.08	1.22	19.31	0.00	24.29	0.00
73.97	19.94	4.93	1128.00	24.10	9.08	1.10	14.26	0.07	19.31	0.00
74.83	6.46	8.41	1128.00	23.83	8.98	0.63	8.98	0.63	14.10	0.00
78.19	9.79	6.87	1128.00	22.80	8.59	0.72	13.49	0.00	18.26	0.00
108.35	11.75	8.62	1802.00	21.94	6.20	0.76	13.18	0.00	16.59	0.00
71.58	7.40	7.36	1128.00	24.91	9.39	0.62	9.39	0.62	14.74	0.00
75.16	14.61	9.04	1128.00	23.72	8.94	1.05	14.04	0.04	19.00	0.00
75.16	17.58	5.08	1128.00	23.72	8.94	0.99	14.04	0.00	19.00	0.00
74.83	16.28	7.75	1128.00	23.83	8.98	1.06	14.10	0.05	19.08	0.00
78.19	19.79	6.56	1128.00	22.80	8.59	1.18	18.26	0.00	22.98	0.00
108.35	23.12	7.92	1802.00	21.94	9.74	0.56	16.59	0.00	19.98	0.00
71.58	17.19	6.93	1128.00	24.91	9.39	1.06	14.74	0.00	19.95	0.00
75.16	26.38	8.31	1128.00	23.72	14.04	0.56	19.00	0.00	23.91	0.00
75.16	25.25	5.60	1128.00	23.72	14.04	0.37	19.00	0.00	23.91	0.00
82.18	15.92	7.14	1279.27	23.47	9.44	0.78	14.69	0.07	19.07	0.00

Como se muestra en la Tabla 55, el costo de energía anual,  $CE_{SE}$ , paso de 2.23 a 0.78 (€/m<sup>2</sup>. año), para el escenario 1, para el escenario 2, pasó de 2.23 a 0.07 (€/m<sup>2</sup>. año) y para el tercer escenario pasó de 2.23 a 0.00 (€/m<sup>2</sup>. año).

**Costo Anual del Consumo de Agua Potable y de la Producción de Agua Residuales y de Residuos Sólidos Urbanos Correspondiente a la solución en estudio: ( $CA_{SE}$ )** en (€/m<sup>2</sup>. año), es calculado con la ecuación 47.

$$CA_{SE} = V_{ASE} \times (T_{AP} + T_{AR} + T_{RS}) \tag{47}$$

Donde,

$V_{ASE}$  – Es el volumen anual total de agua potable consumida por m<sup>2</sup> del área útil de pavimento en (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. año) , calculado con la ecuación 48.

$$V_{ASE} = \frac{[P_{CA} \times (1 - \frac{P_{RCA}}{100}) \times n]}{A_U} \tag{48}$$

Donde,

$P_{CA}$ - Es el consumo anual de agua correspondiente a la solución en estudio, 22.01 (m<sup>3</sup>/hab. año);

$P_{RCA}$  - Es el porcentaje de reducción del consumo de agua potable correspondiente a la solución en estudio, 30% debido a la implementación del sistema de aprovechamiento de agua potable. Las tarifas de  $T_{AP}$ ,  $T_{AR}$ ,  $T_{RS}$  son las mismas tarifas de la mejor práctica. Los resultados para cada fracción se muestran en la Tabla 56.

Tabla 56 Cálculo Costos de consumo de agua potable, solución en estudio

V,ASE (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .ano)	V,ASE (m <sup>3</sup> /mes)	1er. Escalaço	2do. Escalaço	T,AP (€/més)	T,AR (€/més)	T,AP (€/més)	Taxa de Rec.	CA,SE (€/més)	CA,SE (€/m <sup>2</sup> .ano)
0.64	3.85	3.85	0.00	5.68	5.93	5.40	0.10	18.13	2.99
0.60	3.85	3.85	0.00	5.68	5.93	5.40	0.10	18.13	2.81
0.57	5.14	4.60	0.54	6.39	6.70	6.29	0.13	20.69	2.31
0.65	3.85	3.85	0.00	5.68	5.93	5.40	0.10	18.13	3.04
0.62	3.85	3.85	0.00	5.68	5.93	5.40	0.10	18.13	2.94
0.62	3.85	3.85	0.00	5.68	5.93	5.40	0.10	18.13	2.94
0.62	3.85	3.85	0.00	5.68	5.93	5.40	0.10	18.13	2.91
0.59	3.85	3.85	0.00	5.68	5.93	5.40	0.10	18.13	2.78
0.57	5.14	4.60	0.54	6.39	6.70	6.29	0.13	20.69	2.29
0.65	3.85	3.85	0.00	5.68	5.93	5.40	0.10	18.13	3.04
0.61	3.85	3.85	0.00	5.68	5.93	5.40	0.10	18.13	2.89
0.61	3.85	3.85	0.00	5.68	5.93	5.40	0.10	18.13	2.89
0.62	3.85	3.85	0.00	5.68	5.93	5.40	0.10	18.13	2.91
0.59	3.85	3.85	0.00	5.68	5.93	5.40	0.10	18.13	2.78
0.57	5.14	4.60	0.54	6.39	6.70	6.29	0.13	20.69	2.29
0.65	3.85	3.85	0.00	5.68	5.93	5.40	0.10	18.13	3.04
0.61	3.85	3.85	0.00	5.68	5.93	5.40	0.10	18.13	2.89
0.61	3.85	3.85	0.00	5.68	5.93	5.40	0.10	18.13	2.89
<b>0.61</b>	<b>4.14</b>	<b>4.02</b>	<b>0.12</b>	<b>5.84</b>	<b>6.10</b>	<b>5.60</b>	<b>0.11</b>	<b>18.71</b>	<b>2.78</b>

El costo de consumo anual de agua potable,  $CA_{SE}$ , pasó de 5.60 a 2.78 (€/m<sup>2</sup>.año).

**Valor Actual de los Costos de Utilización correspondientes a la solución en estudio:** El  $P_{CU}$ , para el escenario 1 pasó de un valor de 411.11 a 186.92 (€/m<sup>2</sup>), para el escenario 2 pasó de un valor de 411.11 a 149.64 (€/m<sup>2</sup>), y para el tercer escenario pasó de 411.11 a 145.96 (€/m<sup>2</sup>).

Por último, el valor normalizado del parámetro P25, para el primer escenario pasó de 0.78 a 1.14, y para el escenario 2 y 3 pasó de 0.78 a 1.20, y en la escala de evaluación cualitativa pasó de una clase A, a una clase A+, en los tres escenarios propuestos.

#### 4.3.10 Resultados obtenidos del desempeño global del edificio con las mejoras propuestas



Finalmente, el desempeño del edificio fue mejorado implementando diferentes alternativas en los parámetros de mayor relevancia a nivel global, y el resultado de la evaluación de sostenibilidad es mostrado en la Tabla 57.

*Tabla 57 Cuantificación del desempeño del edificio optimizado por categorías*

Categoría	Parámetro	Evaluación del parámetro	Peso del parámetro (%)	Valor ponderado
C1	P1	0.00	100	0.00
<b>Desempeño de la categoría</b>				<b>0</b>
	P2	0.99	38	0.38
	P3	0.52	5	0.03
C2	P4	0.00	6	0.00
	P5	1.20	24	0.29
	P6	0.31	27	0.08
<b>Desempeño de la categoría</b>				<b>0.77</b>
	P7	0.80	50	0.40
C3	P8, Esc. 1	0.37	50	0.19
	P8, Esc. 2	0.55	50	0.28
	P8, Esc. 3	0.70	50	0.35
<b>Desempeño de la categoría, Esc.1</b>				<b>0.59</b>
<b>Desempeño de la categoría, Esc.2</b>				<b>0.68</b>
<b>Desempeño de la categoría, Esc.3</b>				<b>0.75</b>
	P9	0.00	25	0.00
	P10	0.00	25	0.00
C4	P11	0.00	28	0.00
	P12	0.73	18	0.13
	P13	0.88	4	0.04
<b>Desempeño de la categoría</b>				<b>0.17</b>
C5	P14	1.00	64	0.64
	P15	0.75	36	0.27
<b>Desempeño de la categoría</b>				<b>0.91</b>
	P16	0.67	12	0.08
	P17	0.00	12	0.00
C6	P18	0.14	32	0.04
	P19	1.20	25	0.30
	P20	0.00	19	0.00
<b>Desempeño de la categoría</b>				<b>0.42</b>
C7	P21	-0.07	55	-0.04
	P22	-0.20	45	-0.09
<b>Desempeño de la categoría</b>				<b>-0.13</b>
C8	P23	1.00	100	1.00
<b>Desempeño de la categoría</b>				<b>1.00</b>
	P24	0.00	50	0.00
C9	P25, Esc. 1	1.14	50	0.57
	P25, Esc. 2 y 3	1.20	50	0.60
<b>Desempeño de la categoría, Esc. 1</b>				<b>0.57</b>
<b>Desempeño de la categoría, Esc. 2</b>				<b>0.60</b>

Seguidamente, el desempeño del edificio a nivel de cada dimensión de la sostenibilidad, es mostrado en la Tabla 58.

Tabla 58 Cuantificación del desempeño del edificio optimizado a nivel de cada dimensión

Dimensión	Categoría	Evaluación de la categoría	Peso de la categoría (%)	Valor ponderado
Ambiental	C1	0	12	0.00
	C2	0.77	19	0.15
	C3, Esc. 1	0.59	39	0.23
	C3, Esc. 2	0.68	39	0.27
	C3, Esc. 3	0.75	39	0.29
	C4	0.17	22	0.04
	C5	0.91	8	0.07
Desempeño de la dimensión, Esc. 1				<b>0.49</b>
Desempeño de la dimensión, Esc. 2				<b>0.52</b>
Desempeño de la dimensión, Esc. 3				<b>0.55</b>
Social	C6	0.42	60	0.25
	C7	-0.13	30	-0.04
	C8	1.00	10	0.10
Desempeño de la dimensión				<b>0.32</b>
Económica	C9, Esc. 1	0.57	100	0.57
	C9, Esc. 2 y 3	0.60	100	0.60
	Desempeño de la dimensión, Esc. 1			
Desempeño de la dimensión, Esc. 2 y 3				<b>0.60</b>

Por último, el nivel de sostenibilidad global del edificio optimizado es el siguiente:

Tabla 59 Nivel de sostenibilidad global del edificio optimizado

Nota de sostenibilidad	Dimensión	Evaluación de la dimensión	Peso de la dimensión (%)	Valor ponderado
NS	Ambiental, Esc. 1	0.49	40	0.19
	Ambiental, Esc. 2	0.52	40	0.21
	Ambiental, Esc. 3	0.55	40	0.22
	Social	0.32	30	0.09
	Económica, Esc. 1	0.57	30	0.17
	Económica, Esc. 2 y 3	0.60	30	0.18
	Nota de sostenibilidad del edificio, Esc. 1			
Nota de sostenibilidad del edificio, Esc. 2				<b>0.48</b>
Nota de sostenibilidad del edificio, Esc. 3				<b>0.49</b>

Como se observa en la Tabla 59, el nivel de sostenibilidad del edificio subió de un valor normalizado de 0.26 a 0.46 para el primer escenario, de 0.26 a 0.48 para el segundo escenario, y para el tercer escenario subió a un valor de 0.49, y en la escala de evaluación cualitativa pasó de una clase C a una clase B.

#### 4.4 Comparación de los resultados obtenidos

Una vez realizado la evaluación sostenible del edificio y su optimización, los resultados de cada uno de los parámetros y categorías evaluadas son los siguientes:

Tabla 60 Comparación de resultados de los parámetros y categorías evaluadas

Categoría	Parámetro	Evaluación Inicial		Evaluación optimizada	
		Evaluación del parámetro	Escala cualitativa	Evaluación del parámetro	Escala cualitativa
C1	P1	0.00	D	0.00	D
<b>Desempeño de la categoría</b>		<b>0</b>	<b>D</b>	<b>0.00</b>	<b>D</b>
C2	P2	0.99	A	0.99	A
	P3	0.40	B	0.52	B
	P4	0.00	D	0.00	D
	P5	-0.20	E	1.20	A+
	P6	0.24	C	0.31	C
<b>Desempeño de la categoría</b>		<b>0.41</b>	<b>B</b>	<b>0.77</b>	<b>A</b>
C3	P7	0.80	A	0.80	A
	P8	0.04	D	0.37	C
				0.55	B
<b>Desempeño de la categoría</b>		<b>0.40</b>	<b>B</b>	<b>0.59</b>	<b>B</b>
				<b>0.75</b>	<b>A</b>
C4	P9	0.00	D	0.00	D
	P10	0.00	D	0.00	D
	P11	0.00	D	0.00	D
	P12	0.73	A	0.73	A
	P13	0.00	D	0.88	A
<b>Desempeño de la categoría</b>		<b>0.13</b>	<b>C</b>	<b>0.17</b>	<b>C</b>
C5	P14	-0.03	E	1.00	A
	P15	0.00	D	0.75	A
<b>Desempeño de la categoría</b>		<b>-0.02</b>	<b>E</b>	<b>0.91</b>	<b>A</b>
C6	P16	0.67	B	0.67	B
	P17	0.00	D	0.00	D
	P18	0.14	C	0.14	C
	P19	1.20	A+	1.20	A+
	P20	0.00	D	0.00	D
<b>Desempeño de la categoría</b>		<b>0.43</b>	<b>B</b>	<b>0.43</b>	<b>B</b>
C7	P21	-0.07	E	-0.07	E
	P22	-0.20	E	-0.20	E
<b>Desempeño de la categoría</b>		<b>-0.13</b>	<b>E</b>	<b>-0.13</b>	<b>E</b>
C8	P23	-0.20	E	1.00	A
<b>Desempeño de la categoría</b>		<b>-0.20</b>	<b>E</b>	<b>1.00</b>	<b>A</b>
C9	P24	0.00	D	0.00	D
	P25	0.78	A	1.14	A+
				1.20	A+
<b>Desempeño de la categoría</b>		<b>0.39</b>	<b>C</b>	<b>0.57</b>	<b>B</b>
				<b>0.60</b>	<b>B</b>
<b>NOTA DE SOSTENIBILIDAD (NS)</b>		<b>0.28</b>	<b>C</b>	<b>0.46</b>	<b>B</b>
				<b>0.48</b>	
				<b>0.49</b>	

En la Tabla 60, se muestra el desempeño del edificio antes y después de la optimización, donde el nivel de sostenibilidad global aumenta de 0.28 a 0.46 para el primer escenario, de 0.28 a 0.48 para el segundo escenario, y a 0.49 para el tercer escenario, y en la escala de evaluación cualitativa cambia de clase C a clase B. También se observa que hay algunos parámetros que fueron inmodificables debido a las características iniciales del edificio, como, por ejemplo, el sistema constructivo y materiales utilizados en la construcción del mismo (P1, P11, P17), el porcentaje de materiales reciclados o reutilizados en la fase constructiva (P9 y P10), y la ubicación y selección del terreno, que tuvo repercusiones en los parámetros de accesibilidad al transporte público, a los lugares de entrenamiento y servicios (P21 y P22) y el área intervenida

(P4). Estos parámetros representan casi el 30% del peso a nivel global, afectando el desempeño del edificio desde su evaluación inicial. Sin embargo, el edificio pudo aumentar su desempeño logrando mejoras en diferentes aspectos, destacándose principalmente los parámetros de energía, agua y costos de utilización, como se muestra a continuación:

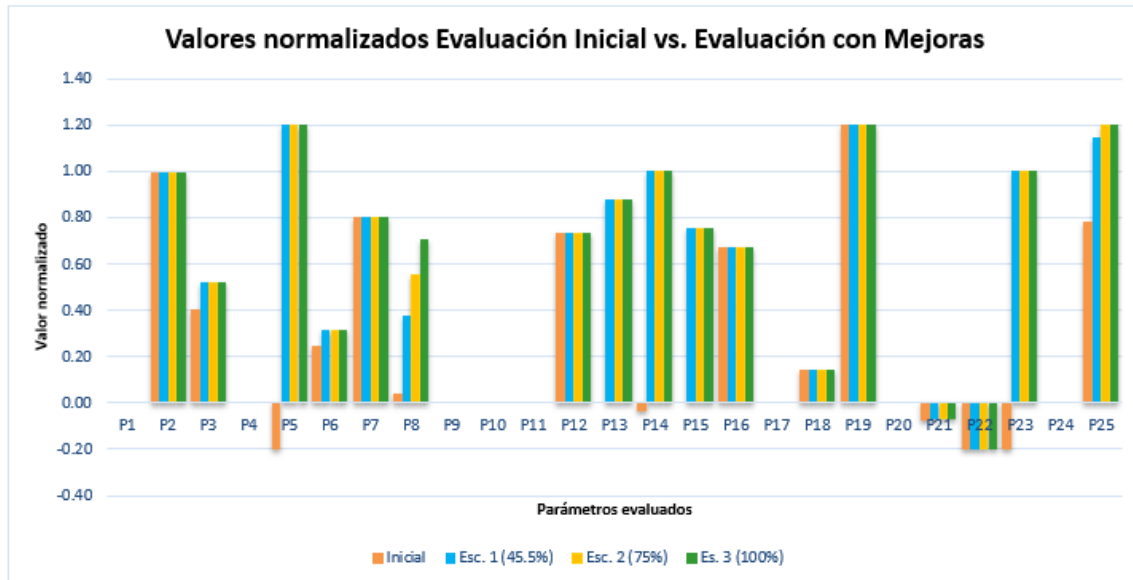


Figura 59 Desempeño parámetros evaluados

La Figura 59, muestra el desempeño de todos los parámetros antes y después de las mejoras, en el gráfico se observa que hay parámetros que tuvieron un buen desempeño desde la evaluación inicial del edificio, destacándose, el parámetro P2, que analiza el índice de utilización líquido disponible, el parámetro P7, que es la cantidad de energía primaria no renovable consumida en la fase de utilización, que obtuvo un buen desempeño debido a que utiliza sistemas para la climatización y producción de aguas sanitarias eficientes, el parámetro P12, que hace referencia al porcentaje de materiales sustitutos del concreto, el parámetro P16, relacionado con la ventilación natural, y el P19, que analiza la media del factor de luz del día medio.

Así mismo, se evidencia la optimización de los parámetros donde se implementaron mejoras, como, por ejemplo, el parámetro P5 que paso de un valor de -0.2 a 1.2, con la incorporación de plantas autóctonas; el parámetro P8, paso de un valor de 0.04 a 0.37 en el escenario 1 y de 0.04 a 0.7 en el escenario 2, debido al uso de paneles solares para generar la energía eléctrica necesaria en cada fracción; el parámetro P13, que pasó de un valor 0 a un valor de 1.0, debido a la incorporación de contenedores domésticos para diferenciar los residuos reciclables; el parámetro P14, que pasó de un valor de -0.3 a 1.00, con la implementación de dispositivos hidráulicos más eficientes (Eficiencia hídrica clase A); el parámetro P15, que pasó de un valor

de 0 a 0.75, con la incorporación de un sistemas SAAP para el abastecimiento de las descargas sanitarias; el parámetro P23, pasó de un valor de -0.2 a 1.00, debido a la implementación de un Manual de Utilizador para los propietarios de cada apartamento; y el parámetro P25, que pasó de un valor de 0.78 a 1.14 para el escenario 1 y de 0.78 a 1.2 para el segundo escenario, como resultado de la mejora en los parámetros relacionados con el agua y la energía. Finalmente, el edificio pasó de un nivel de sostenibilidad de 0.26 a 0.46 para el primer escenario y de 0.28 a 0.49 para el segundo escenario, y en la escala cualitativa pasó de tener clase C a una clase B, debido a las mejoras incorporadas en los parámetros analizados.

#### 4.5 Análisis costo vs. Beneficio

La incorporación de las mejoras propuestas anteriormente, conlleva un incremento en el costo de construcción, sin embargo, estos sobrecostos serán recuperados a lo largo del ciclo de vida del edificio, ya que habrá un ahorro en el consumo anual de agua y energía, reduciendo así los costos de utilización. Los costos de construcción considerados fueron los siguientes:

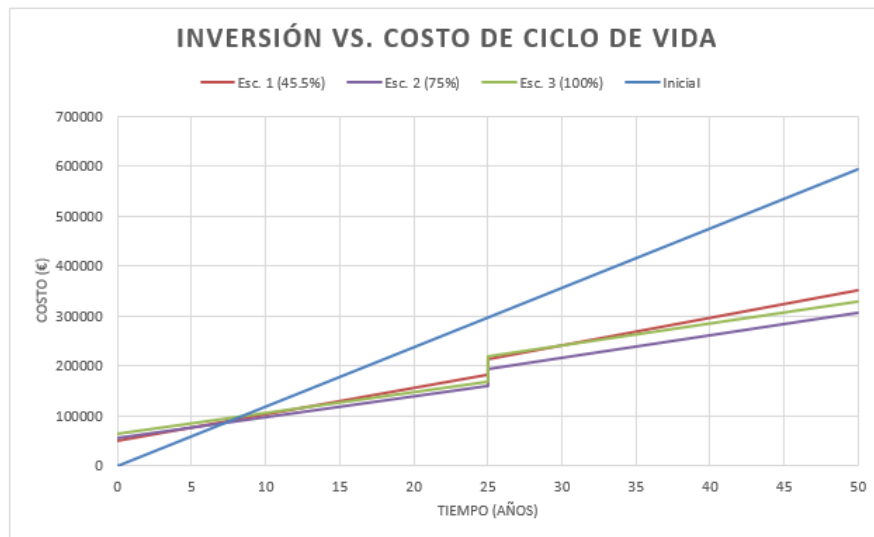
- P8: incorporación de paneles solares fotovoltaicos en cada uno de los escenarios mencionados anteriormente (Anexo 2 – Parámetro 8);
- P13: implementación de contenedores domésticos destinados al reciclaje en cada una de las fracciones (Anexo 3 – Parámetro 13);
- P14: modificación de los dispositivos hidráulicos por dispositivos más eficientes en cada una de las fracciones (Anexo 4 – Parámetro 14);
- P15: implementación de un sistema de aprovechamiento de aguas pluviales (Anexo 5 – Parámetro 15).

El presupuesto para cada uno de los escenarios del parámetro P8, se muestran en la Tabla 61.

*Tabla 61 Inversión inicial*

Item	Precio total Escenario 1	Precio total Escenario 2	Precio total Escenario 3
Paneles Solares Fotovoltaicos + microinversores + estrutura + instalación y transporte	€ 18,374.78	€ 21,739.77	€ 32,061.28
Contenedores domésticos para reciclaje + Contenedor pilas usadas	€ 1,976.81	€ 1,976.81	€ 1,976.81
Modificación de dispositivos convencionales por dispositivos eficientes	€ 6,529.56	€ 6,529.56	€ 6,529.56
Sistema SAAP	€ 24,118.13	€ 24,118.13	€ 24,118.13
<b>Total</b>	<b>€ 50,999.28</b>	<b>€ 54,364.27</b>	<b>€ 64,685.78</b>

En la siguiente gráfica se muestra la relación costo de inversión vs. Beneficio de cada uno de los escenarios estudiados.



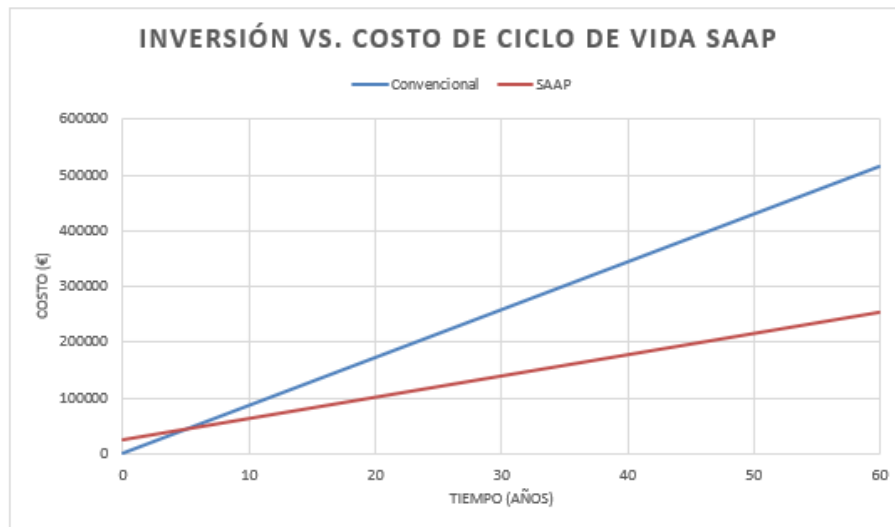
*Figura 60 Relación costo vs. Beneficio*

Como se observa en la Figura 60, con la incorporación de las alternativas mencionadas anteriormente, la reducción de los costos de utilización a lo largo del ciclo de vida del edificio es reducida considerablemente, llegando a un tiempo de retorno de la inversión de 7.6 años para el primer escenario, de 7 años para el escenario 2, y de 8.2 años para el escenario 3. Lo que muestra que este tipo de alternativas, no solo mejoran el desempeño del edificio, sino que, además, conlleva a una reducción en los costos de utilización del 41% para el primer escenario, del 48% para el escenario dos y del 45% para el tercer escenario.

Así mismo, se evaluaron las alternativas de energía y agua por separado para determinar su eficiencia en los costos de inversión inicial:

#### **4.5.1 Agua: Sistema de aprovechamiento de aguas pluviales (SAAP) y modificación de aparatos hidráulicos**

La implementación de estos sistemas requeriría una inversión de aproximadamente 30,647.69€ y el tiempo de retorno sería de aproximadamente 6.3 años como se observa en la Figura 61. Con una reducción de costos de utilización a lo largo del ciclo de vida de aproximadamente 50%.



*Figura 61 Análisis costo vs. Beneficio sistema SAAP*

#### 4.5.2 Energía: Implementación de paneles solares fotovoltaicos

La implementación de este tipo de energía renovable puede ser implementada de acuerdo a los siguientes escenarios:

- Escenario 1: Energía para satisfacer al 100% los sistemas de climatización y producción de aguas sanitarias, que requiere de una inversión inicial de 18,374.78€, seguidamente de una inversión en 25 años de 29,856€ (asumiendo que el costo de los paneles incremente un 2% anualmente), para la restitución de los mismos.
- Escenario 2: Energía para satisfacer el 75% de la energía consumida en el edificio, con una inversión de 21,739.77€, seguidamente de una inversión en 25 años de 35,327.13€ (asumiendo que el costo de los paneles incremente un 2% anualmente), para la restitución de los mismos.
- Escenario 3: Energía para satisfacer al 100% la energía consumida en el edificio, con una inversión de 32,061.28€, seguidamente de una inversión en 25 años de 52,099.58€ (asumiendo que el costo de los paneles incremente un 2% anualmente), para la restitución de los mismos.

La inversión y el tiempo de retorno de cada una de las alternativas mencionadas anteriormente, son mostradas en la Figura 62.

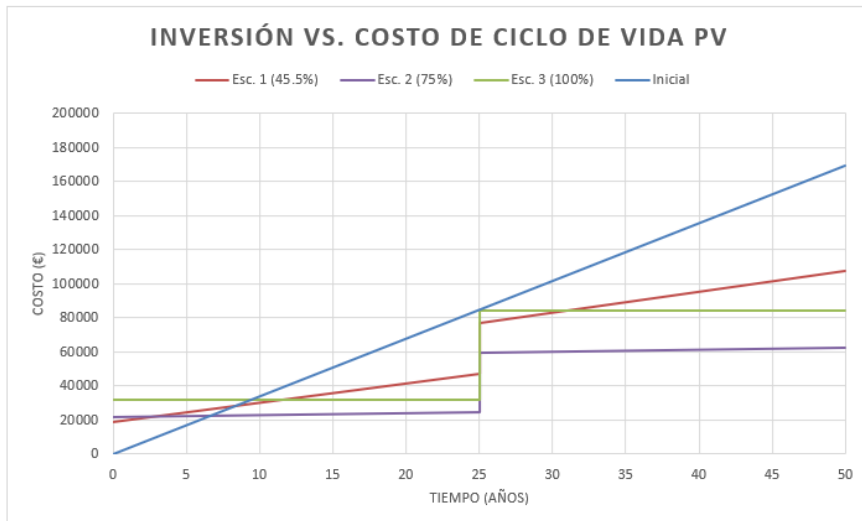


Figura 62 Análisis costo vs. Beneficio PV

Como se observa en el gráfico el tiempo de retorno es de aproximadamente 8.1 años para el primer escenario, de 6.6 años para el segundo escenario y de 9.4 años para el tercer escenario. Así, cualquiera de estas alternativas tiene una muy buena relación costo-beneficio, ya que a pesar de tener una gran inversión inicial los costos de utilización a lo largo del ciclo de vida son reducidos en un 36% para el primer escenario, en un 63% para el segundo escenario y en un 50% para el escenario 3.

Finalmente, se puede observar que el segundo escenario resulta ser el más eficiente en términos económicos, ya que a pesar de no generar el 100% de la energía para cada una de las fracciones, los beneficios económicos a lo largo del ciclo de vida del edificio resultan ser superiores a los de los otros dos escenarios analizados. Por lo tanto, es más rentable invertir en paneles solares fotovoltaicos que generen el 75% de la energía, ya que se tendrá un ahorro final de hasta el 63%, un 13% mayor que el tercer escenario donde se requeriría una inversión inicial mayor.





## 5 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

### 5.1 Conclusiones

La evaluación de la sostenibilidad de un edificio residencial depende de diferentes aspectos que definen en gran medida el desempeño del mismo. Como pudo evidenciarse en este trabajo los aspectos de mayor relevancia en cuanto al nivel de sostenibilidad del edificio en estudio, son los parámetros relacionados con el agua, la energía y los costos. Se pudo verificar que la implementación de alternativas en estos parámetros, mejoran en gran medida el desempeño del edificio a lo largo de su ciclo de vida.

Los sistemas de aprovechamiento de agua pluvial (SAAP) y la integración de dispositivos hidráulicos eficientes, son una gran alternativa a la hora de reducir los consumos de agua potable. En términos de sostenibilidad, con la implementación de estas mejoras, el parámetro P14 asociado a los dispositivos hidráulicos, cambiaría de un valor normalizado de -0.03 a 1.00, que en términos cualitativos cambiaría de una clase E, a una clase A; y el parámetro P15, referente a la implementación del SAAP, cambiaría de un valor normalizado de 0 a 0.75, y pasaría de una clase D, a una clase A en la escala cualitativa. Para el caso en estudio, la inversión inicial es de aproximadamente 30,000€, con un periodo de recuperación de la inversión de 6.3 años, debido a las reducciones de costos asociados al consumo de agua potable. Este tipo de soluciones disminuyen en un 50% los costos de utilización referentes al servicio de agua potable a lo largo del ciclo de vida de la edificación.

La implementación de paneles solares fotovoltaicos, para generar electricidad en cada una de las fracciones, es otra de las propuestas para mejorar el desempeño del edificio en términos de energía. La integración de energías renovables, conlleva una inversión inicial entre los 18,000€ y los 32,000€, dependiendo del porcentaje de energía que se pretende producir; y el tiempo de retorno estimado estará entre los 6.2 y los 9.4 años. Como se pudo observar en este trabajo, el segundo escenario del parámetro P8, fue el más efectivo en términos económicos. Pese a no generar el 100% de la energía necesaria en la edificación, este escenario alcanza un 63% de

ahorro en los costos de utilización a lo largo del ciclo de vida del edificio, que comparado con el escenario 3, representa un 13% adicional de reducciones en costos y un 32% menos de inversión inicial. A su vez, comparado con el escenario 1, se obtiene una reducción adicional del 27% en costos de utilización y un aumento del 18% en la inversión inicial. En términos de sostenibilidad, con la implementación del escenario 2 en el parámetro P8, el valor normalizado cambiaría de 0.04 a 0.55, y en la escala cualitativa pasaría de una clase D, a una clase B.

En términos económicos, la implementación en conjunto de este tipo de alternativas mejora de manera integral el desempeño del edificio. Aunque la inversión inicial adicional estaría entre los 51,000€ y los 64,000€, y el tiempo de retorno estaría entre los 7 y los 8.2 años, las reducciones en los costos de utilización a lo largo del ciclo de vida del edificio serían del 41% al 48%. Como se ha dicho anteriormente, la alternativa número dos fue la más eficiente, con una inversión inicial de 54,300€, 6% mayor a la del primer escenario y 16% menor a la del tercero; una reducción en costos de utilización del 48%, mayor en un 7%, comparado con el primer escenario y en un 3% comparado con el tercero. El tiempo de retorno de este escenario es de 7 años. Con estas alternativas el parámetro P25, referente a los costos de utilización pasaría de un valor normalizado de 0.78 a 1.20, y en la escala de evaluación cualitativa pasaría de una clase A, a una clase A<sup>+</sup>.

Es importante destacar que, a pesar de la incorporación de este tipo de mejoras, el edificio no obtuvo una muy buena clasificación, debido a que tanto en el programa preliminar como en el proyecto no fueron considerados aspectos relacionados con la maximización de la sostenibilidad del edificio. Estando el proyecto ya definido existen mayores limitaciones acerca de la cantidad y tipo de mejoras que se pueden adaptar para aumentar el nivel de sostenibilidad del edificio. A título de ejemplo, se refieren por ejemplo los aspectos relacionados con: el uso de materiales reciclados o reutilizados, la selección de una zona previamente utilizada para la construcción de la edificación, el sistema constructivo y los materiales utilizados, el uso de pinturas sin contenidos de COV o el uso de madera certificada, el diseño arquitectónico bioclimático, el análisis acústico y la ubicación del terreno en relación a los transportes públicos y a los lugares de entrenamiento y servicios urbanos. Estos parámetros suman el 27% del peso global de los parámetros de sostenibilidad, y en su mayoría, obtuvieron un valor normalizado de cero o inferior. Estas restricciones llevaron a que el edificio perdiera 0.28 puntos a nivel global.

Teniendo en consideración el proyecto inicial, el edificio en estudio obtuvo un nivel de sostenibilidad 0.28, lo que corresponde a una clase C en términos cualitativos. Después de la implementación del mejor escenario propuesto (2), su nivel de evaluación subió a una clase B, alcanzando un total de 0.48.

La construcción sostenible debe ser implementada desde las fases de concepción y planeación de un edificio para que éste, pueda tener un mejor desempeño ambiental, social y económico en el futuro. La selección de materiales eco eficientes y locales, y de terrenos cercanos al transporte público y a los lugares de entrenamiento y servicios, la utilización de materiales reciclados o reutilizados en la construcción, la concepción de un edificio que aproveche al 100% el potencial de su arquitectura pasiva, la incorporación de energías renovables y sistemas de aprovechamiento de aguas pluviales y/o grises, y sistemas eficientes de agua y energía, son los aspectos más importantes que se deben analizar e implementar desde las etapas del diseño para que el edificio logre tener un muy buen desempeño y los costos sean reducidos a lo largo de su ciclo de vida.

## **5.2 Trabajos futuros**

Un trabajo futuro sería mejorar el parámetro P18, analizando de forma detallada la arquitectura del edificio a nivel del confort térmico y definir diferentes alternativas que puedan incrementar el desempeño de este parámetro, como, por ejemplo, calcular la relación más eficiente de vidrios/paredes en las fachadas, analizar diferentes tipos de vidrios y su factor solar y definir cuál es el más óptimo para el edificio, analizar los sombreamientos y protecciones solares, entre otros. Otro aspecto a analizar a profundidad, sería el parámetro P8, proponiendo diferentes sistemas que produzcan energía a través de fuentes renovables y calcular su impacto en el desempeño del edificio y en los costos de utilización e inversión. Otra propuesta a futuro, sería calcular los costos de manera más detallada del sistema SAAP propuesto, determinando el costo de la tubería de aguas pluviales, el costo de la implementación del sistema SAAP en el edificio (transporte, excavación, mano de obra). Por último, el parámetro P25 solo tiene en cuenta los costos de energía generados por los sistemas de climatización y producción de aguas sanitarias, por lo tanto, un trabajo a futuro sería implementar a este parámetro, los costos de iluminación, cocina y dispositivos electrónicos a los costos energéticos, para así, determinar qué impacto conllevarían estos incrementos en los costos de utilización.



## 6 REFERENCIAS

Ali, H. H. and Al Nsairat, S. F. (2009) ‘Developing a green building assessment tool for developing countries – Case of Jordan’, *Building and Environment*. Pergamon, 44(5), pp. 1053–1064. doi: 10.1016/J.BUILDENV.2008.07.015.

Almeida, A. M. and Martins, A. G. (2014) ‘Efficient lighting in buildings: The lack of legislation in Portugal’, *Energy Policy*. Elsevier, 67, pp. 82–86. doi: 10.1016/J.ENPOL.2013.11.031.

Aquamatic (2017) *Espaços verdes 2017*.

Bragança, L., Mateus, R. and Koukkari, H. (2010) ‘Building sustainability assessment’, *Sustainability*, 2(7), pp. 2010–2023. doi: 10.3390/su2072010.

Chwieduk, D. (2003) ‘Towards sustainable-energy buildings’, *Applied Energy*. Elsevier, 76(1–3), pp. 211–217. doi: 10.1016/S0306-2619(03)00059-X.

Costa, R. J. G. *et al.* (2014) ‘Reabilitação sustentável de edifícios antigos – Contribuição para os edifícios de balanço energético nulo (nZEB) e otimização do nível de sustentabilidade’, *Revista Engenharia Civil*, 49, pp. 65–80. Available at: [https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/30758/1/RCosta\\_LBraganca\\_RMateus\\_JCBezerra\\_EngCivil.pdf](https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/30758/1/RCosta_LBraganca_RMateus_JCBezerra_EngCivil.pdf).

Courtesy, P. and Smithgroup, O. F. (2007) ‘No Title’.

Ecodepur (2012) ‘Sc 409c 01’, p. 409.

Ecodepur (2018) *SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL: aspectos qualitativos e quantitativos*.

Erix (2018) ‘Catalogo de preços Erix’.

ETA0803 (2014) ‘Especificação Técnica Anqip Eta 0806 Eta 0806’, pp. 2–5.

Fan, Y. and Xia, X. (2018) 'Energy-efficiency building retrofit planning for green building compliance', *Building and Environment*. doi: 10.1016/j.buildenv.2018.03.044.

Forsberg, A. and von Malmborg, F. (2004) 'Tools for environmental assessment of the built environment', *Building and Environment*. Pergamon, 39(2), pp. 223–228. doi: 10.1016/J.BUILDENV.2003.09.004.

Fregonara, E. (2017) 'Methodologies for Supporting Sustainability in Energy and Buildings. The Contribution of Project Economic Evaluation', *Energy Procedia*. Elsevier, 111, pp. 2–11. doi: 10.1016/J.EGYPRO.2017.03.002.

Griffith, B. *et al.* (2005) 'Analysis of the Energy Performance of the Chesapeake Bay Foundation 's Philip Merrill Environmental Center', *Analysis*, (April).

Haapio, A. and Viitaniemi, P. (2008) 'A critical review of building environmental assessment tools', *Environmental Impact Assessment Review*. Elsevier, 28(7), pp. 469–482. doi: 10.1016/J.EIAR.2008.01.002.

Hidalgo, A. A. (2015) 'Reutilización y sostenibilidad : el aprovechamiento de las aguas grises y las aguas pluviales'.

Kibert, C. J. (2008) 'Introduction to Sustainable Construction', *Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery*, 2008, pp. 1–18. Available at: <http://lccn.loc.gov/2015044564>.

Larsson, N. and Macias, M. (2012) 'Overview of the SBTool assessment framework A . Background B . Features of SBTool 2012', (April), pp. 1–12.

Liu, S.-Y. and Ho, Y.-F. (2016) 'Wind energy applications for Taiwan buildings: What are the challenges and strategies for small wind energy systems exploitation?', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Pergamon, 59, pp. 39–55. doi: 10.1016/J.RSER.2015.12.336.

Maceiras Pinilla, A. and Calvo Orosa, C. (2016) 'BREEAM ES VIVIENDA 2011 Edificios residenciales'.

Martins, S. S. (2017) 'Diário da República, 2.<sup>a</sup> série — N.º 113 — 14 de Junho de 2011', *Diário da República*, pp. 25118–25120.

Mateus, R. (2016) 'Guia de Avaliação SBToolPT-H.pdf'.

Mateus, R. and Bragança, L. (2011) 'Sustainability assessment and rating of buildings: Developing the methodology SBToolPT-H', *Building and Environment*. Pergamon, 46(10), pp. 1962–1971. doi: 10.1016/J.BUILDENV.2011.04.023.

Mateus, R. F. M. da S. (2009) 'Avaliação da Sustentabilidade da Construção: propostas para o desenvolvimento de edifícios mais sustentáveis', *Universidade do Minho*, p. 427.

Ministério Da Economia e do Emprego (2013) 'Despacho n.º 15793-D/2013', *Diário da República*, (13), p. 35088.

Moschetti, R., Mazzarella, L. and Nord, N. (2015) 'An overall methodology to define reference values for building sustainability parameters', *Energy and Buildings*. Elsevier, 88, pp. 413–427. doi: 10.1016/J.ENBUILD.2014.11.071.

Moussa, R. A. and Farag, A. A. (2016) 'The Applicability of LEED of New Construction (LEED-NC) in the Middle East', *Procedia Environmental Sciences*. Elsevier, 37, pp. 572–583. doi: 10.1016/J.PROENV.2017.03.044.

PDM (2009) 'Regulamento'.

Pérez-Lombard, L. *et al.* (2009) 'A review of benchmarking, rating and labelling concepts within the framework of building energy certification schemes', *Energy and Buildings*. Elsevier, 41(3), pp. 272–278. doi: 10.1016/J.ENBUILD.2008.10.004.

Pinheiro, M. D. (2006) *Ambiente e Construção Sustentável (in Portuguese Environment and Sustainable Construction)*. doi: 10.13140/2.1.2707.8724.

RCCTE (2006) 'Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), Decreto-Lei n.º 80/2006', *Diário da República - I Série - A - n.º 67*, p. 46(2468-2513).

Rodrigues, J. (2010) 'Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais Dimensionamento e Aspectos Construtivos', p. 112.

Sacadura, F. (2011) 'Universidade nova de lisboa', *Design*, I(Vol I), p. 203.

Santos, T. (2015) 'Santos, Tiago da Silva Aproveitamento de águas pluviais para fins diverso :



caso de estudo : complexo multiusos de Montalegre Dissertação de Mestrado Aproveitamento de águas pluviais para fins diversos . Caso de Estudo : Complexo Multiusos de Montalegre’.

Sartori, I. and Hestnes, A. G. (2007) ‘Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article’, *Energy and Buildings*. Elsevier, 39(3), pp. 249–257. doi: 10.1016/J.ENBUILD.2006.07.001.

Sick, F. and Erge, T. (1996) ‘Photovoltaics in Buildings - A Design Handbook for Architects and Engineers’, p. 280.

Silva, A. I. (2014) ‘Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais em Habitações Unifamiliares: Funcionamento Hidráulico de um Sistema de Drenagem Sifónica’.

Simona, P. L., Spiru, P. and Ion, I. V. (2017) ‘Increasing the energy efficiency of buildings by thermal insulation’, *Energy Procedia*. Elsevier, 128, pp. 393–399. doi: 10.1016/J.EGYPRO.2017.09.044.

Solius (2015) ‘SuperKit Sistema solar termossifão’.

Suzer, O. (2015) ‘A comparative review of environmental concern prioritization: LEED vs other major certification systems’, *Journal of Environmental Management*. Academic Press, 154, pp. 266–283. doi: 10.1016/J.JENVMAN.2015.02.029.

Tan, H., Lei, Y. and Chen, Y. (2016) ‘Renewable Energy Development for Buildings’, *Energy Procedia*. Elsevier, 103, pp. 88–93. doi: 10.1016/J.EGYPRO.2016.11.254.

U.S. Green Building Council (2015) ‘LEED v4 for Homes Design and Construction’, p. 104.

## 7 SITIOS WEB CONSULTADOS

AKI (2014) *TORNEIRA DE LAVABO NEREA* | AKI. Available at: <https://www.aki.pt/casas-de-banho-e-cozinhas/torneiras-wc/torneira-de-lavatorio/torneira-1-comando-lavatorio/torneiradelavabonerea-p15166.aspx> (Accessed: 17 May 2018).

AKI (2016a) *CONJUNTO CHUVEIRO CINCO* | AKI. Available at: <https://www.aki.pt/casas-de-banho-e-cozinhas/flexivel-e-manete-de-duche/conjunto-para-duche/chuveiro--flexivelbarra/conjuntochuveirocinco-p48703.aspx> (Accessed: 17 May 2018).

AKI (2016b) *PACK SANITA 'POLO'* | AKI. Available at: <https://www.aki.pt/casas-de-banho-e-cozinhas/sanitas-e-bides/sanitas-e-autoclismos/sanita-compacta/Packsanita'Polo'-P10529.aspx> (Accessed: 17 May 2018).

ANQIP (2009) 'Especificação Técnica ANQIP ETA 0701 - Versão 4', pp. 1–24. Available at: <http://www.anqip.com/images/stories/comissoes/0701/ETA0701.pdf>.

APREN (2014) *APREN - O que são*. Available at: <http://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/o-que-sao/> (Accessed: 14 May 2018).

Archiexpo (2016) *Janela basculante / em PVC / com ruptura térmica - KWS SERIES 7000 - KAYCAN*. Available at: <http://www.archiexpo.com/pt/prod/kaycan/product-2740-1094533.html> (Accessed: 14 May 2018).

Arquitectura&Energía (2015) *El valor U. La transmitancia térmica en edificación*. Available at: <http://www.arquitecturayenergia.cl/home/el-valor-u-la-transmitancia-termica-en-edificacion/> (Accessed: 14 May 2018).

BIOHEAT (2002) 'Biomasa @BULLET Calefacción sostenible para edificios públicos'. Available at: [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_5664\\_BiomasaCalefSostenibleEEPP\\_2002\\_A\\_37ccd28f.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_5664_BiomasaCalefSostenibleEEPP_2002_A_37ccd28f.pdf).

boaenergia (2015a) *Kit Autoconsumo 1000 W* | Boa Energia. Available at: <http://boaenergia.pt/produto/kit-autoconsumo-1000-w/> (Accessed: 17 May 2018).

boaenergia (2015b) *Kit Autoconsumo 1250 W | Boa Energia*. Available at: <http://boaenergia.pt/produto/kit-autoconsumo-1250-w/> (Accessed: 17 May 2018).

boaenergia (2015c) *Kit Autoconsumo 1500 W | Boa Energia*. Available at: <http://boaenergia.pt/produto/kit-autoconsumo-1500-w/> (Accessed: 17 May 2018).

boaenergia (2015e) *Kit Autoconsumo 500 W | Boa Energia*. Available at: <http://boaenergia.pt/produto/kit-autoconsumo-500-w/> (Accessed: 17 May 2018).

boaenergia (2015f) *Kit Autoconsumo 750 W | Boa Energia*. Available at: <http://boaenergia.pt/produto/kit-autoconsumo-750-w/> (Accessed: 17 May 2018).

bre (2017) *How BREEAM Certification Works – BREEAM*. Available at: <https://www.breeam.com/discover/how-breeam-certification-works/> (Accessed: 14 May 2018).

BREEAM.ES (2013) *¿Por qué certificar?* Available at: <http://www.breeam.es/por-que-certificar> (Accessed: 14 May 2018).

caloryfrio (2015) *Calderas de biomasa y pellets. Las ventajas de la calefacción más ecológica*. Available at: <https://www.caloryfrio.com/calefaccion/calderas/calderas-de-biomasa-ventajas-y-funcionamiento.html> (Accessed: 14 May 2018).

ciudadesdelfuturo (2011) *Rascacielos verdes, una realidad - Ciudades del Futuro*. Available at: <https://ciudadesdelfuturo.es/rascacielos-verdes-una-realidad.php> (Accessed: 14 May 2018).

El corte inglés (2017) *Balde do lixo para reciclar 3x20L El Corte Inglés · Casa e Decoração · El Corte Inglés*. Available at: <https://www.elcorteingles.pt/casa-e-decoracao/A18680803-balde-do-lixo-para-reciclar-3x20l-el-corte-ingles/> (Accessed: 14 May 2018).

ecodepur (2015) *Ecodepur*. Available at: <http://www.ecodepur.pt/es/> (Accessed: 14 May 2018).

EcoInventos (2017) *Sistema de captación de agua de lluvia para usar como agua potable*. Available at: <https://ecoinventos.com/sistema-de-captacion-de-agua-de-lluvia-para-usar-como-agua-potable/> (Accessed: 14 May 2018).

Edificioverde (2012) *Certificación L E E D de Edificios Sustentables*. Available at: [http://www.molinamorel.cl/pdf/leed\\_lascondes.pdf](http://www.molinamorel.cl/pdf/leed_lascondes.pdf) (Accessed: 14 May 2018).

elcorteinglés (2016) *Balde do lixo para reciclar 4x20L Cubek Don Hierro · Casa e Decoração · El Corte Inglés*. Available at: [https://www.elcorteingles.pt/casa-e-decoracao/A20904305-balde-do-lixo-para-reciclar-4x20l-cubek-don-hierro/?utm\\_source=kuantokusta&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=catalogo](https://www.elcorteingles.pt/casa-e-decoracao/A20904305-balde-do-lixo-para-reciclar-4x20l-cubek-don-hierro/?utm_source=kuantokusta&utm_medium=cpc&utm_campaign=catalogo) (Accessed: 17 May 2018).

Emmi (2018) *EMMI - European Money Markets Institute | About Euribor®*. Available at: <https://www.emmi-benchmarks.eu/euribor-org/about-euribor.html> (Accessed: 15 May 2018).

Energíasolar (2018) *Panel fotovoltaico*. Available at: <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/panel-fotovoltaico> (Accessed: 14 May 2018).

ENGELS (2018) *Pilhão 3,5 litros  $\phi$ 120x300 mm em PMMA acrilico transparente 3 mm*. Available at: <https://www.engels.pt/webshop/caixas-e-contentores-com-homologac-ao-adr-un/contentor-para-recolha-de-pilhas/BAT-120300> (Accessed: 17 May 2018).

goldenfibra (2012) *Depósitos de água*. Available at: <http://www.goldenfibra.com/depositos-de-agua/> (Accessed: 15 May 2018).

googlemaps (2017) *de R. 1º de Maio 72, 4400-356 Vila Nova de Gaia a R. Chaquedas, 4400-356 Vila Nova de Gaia - Google Maps*. Available at: <https://www.google.com/maps/dir/41.1114289,-8.661401/R.+Chaquedas,+4400-356+Vila+Nova+de+Gaia/@41.1099219,-8.6622771,16.47z/data=!4m9!4m8!1m0!1m5!1m1!1s0xd247aaa2be96357:0xd6879efffab1214b!2m2!1d-8.657589!2d41.1109678!3e2> (Accessed: 15 May 2018).

GrupoWork (2017) *Construcción Sostenible BREEAM – GrupoWork*. Available at: <http://grupo-work.com/construccion-sostenible-breeam-3/> (Accessed: 14 May 2018).

i-ambiente (2015) *Construir una casa con la orientación óptima para un uso eficiente de la #energía | i-ambiente*. Available at: <http://www.i-ambiente.es/?q=noticias/construir-una-casa-con-la-orientacion-optima-para-un-uso-eficiente-de-la-energia> (Accessed: 14 May 2018).

I.P, I. and DGEG (2011) *Inquérito ao consumo de energia no setor doméstico 2010*. Available at: [https://www.ine.pt/ngt\\_server/attachfileu.jsp?look\\_parentBoui=127228533&att\\_display=n&att\\_download=y](https://www.ine.pt/ngt_server/attachfileu.jsp?look_parentBoui=127228533&att_display=n&att_download=y).

iiSBE (2010) *SBTool / International Initiative for a Sustainable Built Environment*. Available at: <http://www.iisbe.org/sbmethod> (Accessed: 14 May 2018).

LEROYMERLIN (2017) *Leroy Merlin - Guia Ecológico*. Available at: <http://www.leroymerlin.pt/Site/Guia-Ecologico.aspx> (Accessed: 14 May 2018).

LNÁGUAS (2015) *Bombas de Água, Electrobombas e Centrais de Abastecimento de Águas / LN Águas*. Available at: <http://www.lnaguas.pt/> (Accessed: 14 May 2018).

RainHarvest (2011) *Rainwater System Controller - Rainwater Collection and Stormwater Management*. Available at: <https://www.rainharvest.com/rainwater-system-controller.asp> (Accessed: 14 May 2018).

Roca (2016) *Soluções de Banho - Tabela / Catálogo 2017*. Available at: [http://publications.eu.roca.com/42322/427563/?id=3068/4047/16388&lng=pt&\\_ga=2.147640503.1898178665.1526582217-1650455077.1521379174#page=546](http://publications.eu.roca.com/42322/427563/?id=3068/4047/16388&lng=pt&_ga=2.147640503.1898178665.1526582217-1650455077.1521379174#page=546) (Accessed: 17 May 2018).

Sanitana (2017) *Catálogo Tabela Profissional Sanitana 2017*. Available at: <http://www.sanitana.com/pdf/catalogo-tabela-profissional-sanitana-2017/#48> (Accessed: 17 May 2018).

SEMENTESDEPORTUGAL (2016) *Herbáceas & Pequenos Arbustos ornamentais Arquivos - Sementes de Portugal*. Available at: <https://sementesdeportugal.pt/categoria-produto/herbaceas-pequenos-arbustos-ornamentais/> (Accessed: 17 May 2018).

STCP (2012) *Linhas - STCP*. Available at: <http://www.stcp.pt/pt/viajar/linhas/> (Accessed: 15 May 2018).

tensolite (2015) *Tensolite S.A.- Noticias Tensolite - Adoquín ecológico*. Available at: <http://www.tensolite.com.ar/VerNoticia.php?IdNoticia=100&OpcionMenu=4> (Accessed: 17 May 2018).

Vaillant (2016) *Bombas de calor - Geotermia / Vaillant*. Available at: <https://www.vaillant.es/usuarios/te-ayudamos-a-elegir/tecnologias-disponibles/bombas-de-calor/geotermia/> (Accessed: 14 May 2018).

## 8 ANEXOS

### 8.1 Anexo 1 – Parámetro 18

*Tabla 62 5% de las temperaturas operativas más bajas, sistemas apagados*

Sistemas: OFF								
No.	Fecha	Temperatura operativa						
1	1/3/2002 7:00	11.75059	44	1/5/2002 7:00	12.9583	90	1/2/2002 1:00	13.5073
2	1/3/2002 6:00	11.9702	45	1/26/2002 7:00	12.9608	91	1/4/2002 20:00	13.5097
3	1/3/2002 8:00	12.00109	46	1/1/2002 4:00	12.9778	92	1/10/2002 8:00	13.5134
4	1/2/2002 7:00	12.10837	47	1/25/2002 6:00	12.9794	93	2/2/2002 7:00	13.5154
5	1/3/2002 5:00	12.1626	48	1/5/2002 6:00	12.98	94	12/17/2002 5:00	13.5186
6	1/3/2002 9:00	12.28948	49	1/5/2002 5:00	13.0039	95	1/4/2002	13.5207
7	1/4/2002 7:00	12.30063	50	12/17/2002 7:00	13.0162	96	1/30/2002 6:00	13.5247
8	1/2/2002 8:00	12.32399	51	1/5/2002 4:00	13.0247	97	12/31/2002 7:00	13.5434
9	1/2/2002 6:00	12.32464	52	1/2/2002 3:00	13.0299	98	12/19/2002 3:00	13.5584
10	1/1/2002 7:00	12.34129	53	1/3/2002 11:00	13.0397	99	2/2/2002 9:00	13.5619
11	1/3/2002 4:00	12.41707	54	1/5/2002 3:00	13.0449	100	12/18/2002 6:00	13.5628
12	1/4/2002 6:00	12.43525	55	1/5/2002 2:00	13.0852	101	1/3/2002 12:00	13.596
13	1/2/2002 5:00	12.52441	56	1/5/2002 1:00	13.0951	102	12/17/2002 9:00	13.5971
14	1/3/2002 10:00	12.53203	57	1/4/2002 2:00	13.1	103	1/10/2002 11:00	13.6072
15	1/1/2002 8:00	12.55232	58	1/1/2002 10:00	13.1015	104	1/25/2002 10:00	13.6088
16	1/4/2002 5:00	12.55784	59	1/5/2002	13.117	105	1/10/2002 10:00	13.6089
17	1/2/2002 9:00	12.59372	60	1/26/2002 6:00	13.1422	106	1/26/2002 4:00	13.6119
18	1/1/2002 6:00	12.60054	61	1/4/2002 23:00	13.1706	107	1/30/2002 5:00	13.6496
19	1/4/2002 8:00	12.66846	62	1/25/2002 5:00	13.1779	108	1/9/2002 7:00	13.6522
20	1/3/2002 3:00	12.68477	63	1/1/2002 3:00	13.1875	109	1/10/2002 12:00	13.6549
21	1/4/2002 11:00	12.69671	64	1/10/2002 7:00	13.1995	110	1/24/2002 7:00	13.6562
22	1/4/2002 4:00	12.70497	65	1/4/2002 22:00	13.2138	111	1/1/2002 1:00	13.6603
23	1/25/2002 7:00	12.73046	66	1/4/2002 19:00	13.2141	112	1/10/2002 4:00	13.6606
24	1/4/2002 10:00	12.73141	67	1/3/2002 1:00	13.2468	113	12/19/2002 2:00	13.665
25	1/4/2002 12:00	12.73534	68	12/17/2002 8:00	13.2486	114	12/18/2002 11:00	13.6658
26	1/4/2002 18:00	12.73563	69	1/2/2002 2:00	13.2629	115	12/16/2002 8:00	13.6777
27	1/26/2002 9:00	12.75168	70	1/25/2002 9:00	13.2668	116	12/18/2002 5:00	13.6806
28	1/26/2002 8:00	12.75317	71	12/19/2002 7:00	13.2742	117	1/6/2002 9:00	13.6875
29	1/1/2002 5:00	12.77461	72	12/17/2002 6:00	13.2818	118	12/19/2002 8:00	13.6876
30	1/4/2002 17:00	12.77623	73	1/4/2002 21:00	13.2892	119	1/6/2002 8:00	13.691
31	1/2/2002 4:00	12.79266	74	1/26/2002 5:00	13.3147	120	1/1/2002 11:00	13.6911
32	1/4/2002 16:00	12.81536	75	1/4/2002 1:00	13.3148	121	2/2/2002 6:00	13.6989
33	1/1/2002 9:00	12.83726	76	1/10/2002 6:00	13.3416	122	1/29/2002 7:00	13.702
34	1/2/2002 10:00	12.83849	77	12/19/2002 6:00	13.3448	123	12/16/2002 6:00	13.7106
35	1/4/2002 13:00	12.83928	78	2/2/2002 8:00	13.362	124	1/30/2002 8:00	13.7208
36	1/4/2002 15:00	12.84542	79	1/30/2002 7:00	13.3759	125	1/30/2002 4:00	13.7227
37	1/4/2002 14:00	12.87067	80	1/2/2002 11:00	13.3781	126	12/18/2002 12:00	13.7292
38	1/4/2002 3:00	12.8807	81	12/19/2002 5:00	13.408	127	1/25/2002 3:00	13.7319
39	1/4/2002 9:00	12.91199	82	12/18/2002 7:00	13.4207	128	1/23/2002 7:00	13.7389
40	1/5/2002 9:00	12.91337	83	1/1/2002 2:00	13.4287	129	1/3/2002 23:00	13.7449
41	1/5/2002 8:00	12.93777	84	12/16/2002 7:00	13.4612	130	12/18/2002 8:00	13.7455
42	1/25/2002 8:00	12.9466	85	1/25/2002 4:00	13.4694	131	1/10/2002 9:00	13.7493
43	1/3/2002 2:00	12.95393	86	12/19/2002 4:00	13.4851	132	12/31/2002 8:00	13.7628
			87	1/10/2002 5:00	13.4861	133	12/19/2002 1:00	13.7683
			88	1/5/2002 10:00	13.4863	134	1/2/2002 23:00	13.7732
			89	1/3/2002	13.4943	135	1/2/2002	13.7735

Tabla 63 Continuación 5% de las temperaturas operativas más bajas, sistemas apagados

136	12/19/2002 11:00	13.7757	182	12/18/2002 9:00	14.0002	228	12/18/2002 15:00	14.1442
137	12/18/2002 10:00	13.7774	183	12/19/2002 9:00	14.0052	229	1/29/2002 13:00	14.149
138	12/19/2002 10:00	13.7851	184	1/25/2002 2:00	14.0114	230	1/7/2002 6:00	14.1505
139	12/19/2002 12:00	13.7882	185	1/2/2002 12:00	14.0116	231	12/18/2002 14:00	14.1564
140	12/31/2002 6:00	13.7892	186	1/3/2002 22:00	14.0138	232	1/23/2002 5:00	14.1669
141	1/31/2002 7:00	13.7942	187	12/31/2002 5:00	14.0157	233	1/9/2002 9:00	14.1702
142	1/6/2002 7:00	13.7994	188	1/6/2002 5:00	14.0161	234	2/1/2002 10:00	14.1746
143	12/17/2002 4:00	13.7995	189	1/8/2002 6:00	14.0163	235	1/5/2002 13:00	14.1754
144	1/30/2002 10:00	13.8109	190	1/29/2002 11:00	14.0196	236	11/23/2002 9:00	14.1814
145	1/29/2002 6:00	13.823	191	12/16/2002 9:00	14.0213	237	1/26/2002 2:00	14.1827
146	12/18/2002 4:00	13.8251	192	1/11/2002 5:00	14.0245	238	2/3/2002 7:00	14.1862
147	2/2/2002 5:00	13.8325	193	2/1/2002 6:00	14.0348	239	1/11/2002 2:00	14.196
148	1/8/2002 7:00	13.8375	194	1/9/2002 5:00	14.0432	240	1/25/2002 11:00	14.1974
149	2/1/2002 7:00	13.8463	195	1/29/2002 8:00	14.0535	241	1/29/2002 3:00	14.2059
150	1/10/2002 3:00	13.8505	196	1/1/2002 23:00	14.0551	242	12/20/2002 6:00	14.2061
151	1/9/2002 6:00	13.8538	197	1/30/2002 2:00	14.0609	243	12/16/2002 4:00	14.2088
152	12/19/2002 13:00	13.8642	198	1/29/2002 10:00	14.0627	244	1/8/2002 5:00	14.2089
153	1/24/2002 8:00	13.8671	199	12/17/2002 3:00	14.0686	245	12/16/2002 10:00	14.2103
154	12/18/2002 18:00	13.8697	200	1/11/2002 4:00	14.0755	246	2/1/2002 5:00	14.2126
155	1/30/2002 3:00	13.8731	201	12/31/2002 9:00	14.0787	247	2/3/2002 9:00	14.2188
156	12/19/2002	13.8745	202	1/22/2002 7:00	14.0834	248	1/9/2002 10:00	14.2238
157	12/17/2002 10:00	13.876	203	1/29/2002 4:00	14.0847	249	1/10/2002 14:00	14.232
158	1/26/2002 10:00	13.8833	204	2/1/2002 11:00	14.0872	250	1/1/2002 12:00	14.2433
159	1/26/2002 3:00	13.8857	205	12/18/2002 16:00	14.0885	251	1/6/2002 3:00	14.2519
160	1/24/2002 6:00	13.897	206	2/3/2002 8:00	14.0908	252	1/23/2002 9:00	14.2542
161	1/10/2002 13:00	13.8979	207	1/10/2002 2:00	14.0929	253	11/23/2002 7:00	14.2564
162	1/30/2002 11:00	13.9093	208	1/31/2002 5:00	14.095	254	1/9/2002 4:00	14.2608
163	1/6/2002 6:00	13.913	209	11/23/2002 8:00	14.102	255	1/11/2002 1:00	14.2636
164	1/5/2002 11:00	13.9209	210	1/24/2002 5:00	14.1024	256	12/17/2002 12:00	14.2665
165	1/9/2002 8:00	13.9287	211	12/20/2002 7:00	14.1063	257	1/28/2002 7:00	14.267
166	1/29/2002 5:00	13.9302	212	12/18/2002 22:00	14.1076	258	12/18/2002 21:00	14.2672
167	12/16/2002 5:00	13.9315	213	12/18/2002 13:00	14.1088	259	12/8/2002 9:00	14.2692
168	1/5/2002 12:00	13.9377	214	12/19/2002 15:00	14.1143	260	12/31/2002 4:00	14.271
169	1/11/2002 7:00	13.9419	215	2/2/2002 3:00	14.1154	261	12/17/2002 11:00	14.2785
170	12/19/2002 14:00	13.9598	216	1/31/2002 8:00	14.1193	262	1/7/2002 8:00	14.279
171	1/23/2002 6:00	13.9627	217	1/24/2002 9:00	14.1193	263	12/18/2002 19:00	14.2829
172	12/18/2002 3:00	13.9668	218	1/3/2002 13:00	14.1194	264	1/30/2002 1:00	14.2838
173	1/31/2002 6:00	13.9674	219	1/8/2002 8:00	14.1198	265	2/2/2002 2:00	14.2842
174	12/18/2002 17:00	13.9693	220	1/2/2002 22:00	14.1217	266	12/20/2002 5:00	14.2862
175	2/2/2002 4:00	13.9742	221	1/27/2002 9:00	14.1217	267	12/28/2002 9:00	14.2887
176	1/23/2002 8:00	13.9782	222	1/11/2002 3:00	14.1285	268	1/31/2002 4:00	14.289
177	1/7/2002 7:00	13.979	223	1/27/2002 8:00	14.1375	269	1/24/2002 10:00	14.29
178	1/30/2002 9:00	13.9828	224	1/6/2002 4:00	14.1391			
179	12/18/2002 23:00	13.9844	225	2/1/2002 8:00	14.1403			
180	1/11/2002 6:00	13.9878	226	2/1/2002 12:00	14.1405			
181	1/29/2002 12:00	13.9904	227	12/18/2002 2:00	14.1407			

Tabla 64 5% de las temperaturas operativas más bajas, sistemas encendidos

Sistemas: ON					
No.	Fecha	Temperatura operativa			
1	1/25/2002 5:00	16.61675	44	12/8/2002 5:00	17.1856
2	1/3/2002 5:00	16.61777	45	2/16/2002 5:00	17.1901
3	1/26/2002 5:00	16.74716	46	11/22/2002 4:00	17.2049
4	1/2/2002 5:00	16.75216	47	12/10/2002 5:00	17.2065
5	12/17/2002 5:00	16.75236	48	12/18/2002 4:00	17.2173
6	12/16/2002 5:00	16.79301	49	2/2/2002 4:00	17.2176
7	1/3/2002 4:00	16.85197	50	12/28/2002 5:00	17.2204
8	12/31/2002 5:00	16.85206	51	1/8/2002 5:00	17.2415
9	1/25/2002 4:00	16.87285	52	1/30/2002 3:00	17.2434
10	1/1/2002 5:00	16.87676	53	1/2/2002 3:00	17.2519
11	1/4/2002 5:00	16.87737	54	12/30/2002 5:00	17.2524
12	1/23/2002 5:00	16.92183	55	12/19/2002 4:00	17.2581
13	11/23/2002 5:00	16.93868	56	1/4/2002 15:00	17.2603
14	1/10/2002 5:00	16.94328	57	12/17/2002 3:00	17.2608
15	1/30/2002 5:00	16.94634	58	1/29/2002 4:00	17.2723
16	11/22/2002 5:00	16.9528	59	1/28/2002 5:00	17.2729
17	1/24/2002 5:00	16.9562	60	1/22/2002 4:00	17.274
18	1/2/2002 4:00	16.99266	61	12/13/2002 5:00	17.287
19	12/17/2002 4:00	16.99651	62	1/26/2002 3:00	17.2872
20	1/26/2002 4:00	17.01587	63	2/1/2002 4:00	17.2874
21	12/16/2002 4:00	17.0257	64	1/4/2002 3:00	17.2888
22	12/18/2002 5:00	17.03553	65	1/19/2002 5:00	17.2922
23	1/4/2002 17:00	17.03612	66	1/5/2002 5:00	17.3027
24	1/22/2002 5:00	17.04131	67	12/16/2002 3:00	17.3034
25	2/2/2002 5:00	17.04323	68	2/12/2002 5:00	17.3114
26	1/30/2002 4:00	17.04389	69	1/1/2002 3:00	17.3192
27	1/4/2002 4:00	17.05358	70	12/31/2002 3:00	17.3292
28	12/31/2002 4:00	17.06957	71	1/31/2002 4:00	17.33
29	1/29/2002 5:00	17.07185	72	12/23/2002 5:00	17.3421
30	1/1/2002 4:00	17.07343	73	12/9/2002 5:00	17.3454
31	2/1/2002 5:00	17.07897	74	12/18/2002 17:00	17.3519
32	12/19/2002 5:00	17.09589	75	1/9/2002 4:00	17.3528
33	1/3/2002 3:00	17.10904	76	1/10/2002 3:00	17.3551
34	1/10/2002 4:00	17.12167	77	11/20/2002 5:00	17.3697
35	1/25/2002 3:00	17.12354	78	2/3/2002 5:00	17.3755
36	1/31/2002 5:00	17.12554	79	2/8/2002 5:00	17.3763
37	1/4/2002 16:00	17.14055	80	12/7/2002 5:00	17.3946
38	1/9/2002 5:00	17.14224	81	2/15/2002 5:00	17.3976
39	11/23/2002 4:00	17.15423	82	12/10/2002 4:00	17.4008
40	1/23/2002 4:00	17.156	83	1/4/2002 14:00	17.4054
41	12/15/2002 5:00	17.17508	84	12/15/2002 4:00	17.4056
42	1/24/2002 4:00	17.17817	85	11/23/2002 3:00	17.4082
43	11/21/2002 5:00	17.18384	86	1/21/2002 5:00	17.4112
			87	11/21/2002 4:00	17.4147
			88	12/8/2002 4:00	17.4225
			89	1/23/2002 3:00	17.4227
			90	12/28/2002 4:00	17.4241
			91	2/16/2002 4:00	17.4327
			92	12/9/2002 4:00	17.4329
			93	12/1/2002 5:00	17.4348
			94	1/7/2002 5:00	17.4407
			95	2/2/2002 3:00	17.4409
			96	2/23/2002 5:00	17.4452
			97	12/18/2002 3:00	17.447
			98	12/23/2002 4:00	17.448
			99	1/24/2002 3:00	17.4494
			100	1/11/2002 5:00	17.4571
			101	12/20/2002 5:00	17.4574
			102	2/22/2002 5:00	17.4609
			103	12/19/2002 3:00	17.4621
			104	1/5/2002 4:00	17.4633
			105	12/21/2002 5:00	17.4719
			106	11/22/2002 3:00	17.4728
			107	1/8/2002 4:00	17.4739
			108	12/5/2002 5:00	17.4795
			109	12/13/2002 4:00	17.4988
			110	1/29/2002 3:00	17.499
			111	1/25/2002 2:00	17.5061
			112	12/18/2002 16:00	17.509
			113	1/19/2002 4:00	17.512
			114	2/12/2002 4:00	17.5213
			115	1/3/2002 2:00	17.5215
			116	1/28/2002 4:00	17.5245
			117	12/30/2002 4:00	17.5268
			118	1/22/2002 3:00	17.536
			119	2/15/2002 4:00	17.5388
			120	1/20/2002 5:00	17.5397
			121	2/1/2002 3:00	17.5541
			122	1/27/2002 5:00	17.5558
			123	1/4/2002 13:00	17.5587
			124	1/17/2002 5:00	17.5596
			125	1/31/2002 3:00	17.5605
			126	2/3/2002 4:00	17.5654
			127	1/12/2002 5:00	17.5753
			128	11/20/2002 4:00	17.5782
			129	1/18/2002 5:00	17.5791
			130	2/14/2002 5:00	17.5842
			131	12/19/2002 14:00	17.5869
			132	1/30/2002 2:00	17.6005
			133	12/19/2002 15:00	17.6006
			134	2/24/2002 5:00	17.6014
			135	2/8/2002 4:00	17.608



Tabla 65 Continuación 5% de las temperaturas operativas más bajas, sistemas encendidos

136	12/10/2002 3:00	17.6084	182	2/16/2002 3:00	17.7212	228	1/6/2002 4:00	17.8231
137	1/11/2002 4:00	17.6124	183	12/16/2002 2:00	17.7225	229	1/4/2002 11:00	17.8252
138	1/4/2002 12:00	17.613	184	12/11/2002 5:00	17.7262	230	11/19/2002 5:00	17.8306
139	3/1/2002 5:00	17.614	185	12/31/2002 2:00	17.7274	231	12/25/2002 5:00	17.8407
140	1/6/2002 5:00	17.6147	186	1/10/2002 2:00	17.7345	232	11/22/2002 2:00	17.8415
141	1/16/2002 5:00	17.6163	187	1/8/2002 3:00	17.7347	233	1/24/2002 2:00	17.8416
142	1/2/2002 2:00	17.6171	188	12/5/2002 4:00	17.7369	234	1/27/2002 4:00	17.8431
143	1/9/2002 3:00	17.6181	189	12/22/2002 5:00	17.7386	235	12/24/2002 4:00	17.8447
144	2/22/2002 4:00	17.6323	190	2/19/2002 5:00	17.7466	236	12/20/2002 3:00	17.8506
145	12/7/2002 4:00	17.6394	191	2/1/2002 12:00	17.7474	237	2/14/2002 4:00	17.8566
146	11/24/2002 5:00	17.6412	192	1/29/2002 2:00	17.7549	238	11/29/2002 5:00	17.8568
147	2/27/2002 5:00	17.6453	193	2/12/2002 3:00	17.7642	239	1/16/2002 4:00	17.8568
148	12/24/2002 5:00	17.6453	194	12/13/2002 3:00	17.7675	240	11/25/2002 5:00	17.8613
149	12/1/2002 4:00	17.6455	195	12/19/2002 12:00	17.7697	241	2/8/2002 3:00	17.864
150	12/18/2002 15:00	17.6482	196	1/19/2002 3:00	17.7725	242	2/1/2002 13:00	17.8648
151	1/29/2002 12:00	17.6494	197	2/2/2002 2:00	17.7753	243	2/18/2002 5:00	17.8653
152	1/12/2002 4:00	17.6496	198	1/12/2002 3:00	17.7774	244	1/29/2002 11:00	17.8686
153	12/20/2002 4:00	17.6503	199	2/3/2002 3:00	17.7778	245	11/8/2002 5:00	17.8733
154	12/19/2002 13:00	17.6507	200	1/11/2002 3:00	17.7794	246	2/25/2002 5:00	17.8749
155	12/18/2002 12:00	17.656	201	11/23/2002 2:00	17.7815	247	1/10/2002 17:00	17.8803
156	12/23/2002 3:00	17.6614	202	1/11/2002 17:00	17.783	248	12/1/2002 3:00	17.8806
157	12/9/2002 3:00	17.6618	203	1/29/2002 16:00	17.7834	249	11/26/2002 4:00	17.8845
158	1/7/2002 4:00	17.664	204	12/18/2002 14:00	17.7853	250	1/15/2002 4:00	17.8869
159	11/25/2002 17:00	17.664	205	11/26/2002 5:00	17.7871	251	12/18/2002 13:00	17.887
160	1/29/2002 13:00	17.6696	206	12/19/2002 2:00	17.7878	252	12/19/2002 17:00	17.887
161	1/21/2002 4:00	17.6706	207	2/23/2002 4:00	17.7928	253	2/1/2002 11:00	17.8878
162	12/6/2002 5:00	17.6711	208	12/29/2002 5:00	17.7929	254	12/12/2002 5:00	17.8934
163	1/4/2002 2:00	17.672	209	4/7/2002 4:00	17.7942	255	1/10/2002 13:00	17.9044
164	12/17/2002 2:00	17.6738	210	1/29/2002 17:00	17.7955	256	3/29/2002 5:00	17.9056
165	1/5/2002 3:00	17.676	211	3/28/2002 4:00	17.7975	257	12/6/2002 4:00	17.9086
166	1/15/2002 5:00	17.678	212	12/30/2002 3:00	17.7995	258	1/22/2002 2:00	17.9086
167	12/28/2002 3:00	17.6804	213	12/18/2002 2:00	17.7999	259	1/31/2002 2:00	17.9124
168	1/29/2002 15:00	17.6851	214	2/27/2002 4:00	17.8007	260	1/28/2002 16:00	17.9164
169	11/21/2002 3:00	17.6856	215	12/18/2002 11:00	17.8026	261	1/7/2002 3:00	17.9174
170	2/15/2002 3:00	17.6911	216	1/18/2002 4:00	17.8036	262	4/3/2002 4:00	17.9214
171	1/26/2002 2:00	17.6911	217	1/28/2002 3:00	17.8047	263	2/1/2002 2:00	17.9292
172	1/29/2002 14:00	17.6955	218	11/9/2002 5:00	17.8049	264	2/24/2002 4:00	17.9321
173	2/17/2002 5:00	17.6981	219	3/1/2002 4:00	17.8061	265	3/5/2002 5:00	17.933
174	1/1/2002 2:00	17.7008	220	1/23/2002 2:00	17.8098	266	12/7/2002 3:00	17.9334
175	12/21/2002 4:00	17.7018	221	11/24/2002 4:00	17.8113	267	12/9/2002 2:00	17.9342
176	3/28/2002 5:00	17.7026	222	2/26/2002 5:00	17.8136	268	12/11/2002 4:00	17.9342
177	2/20/2002 5:00	17.7052	223	11/20/2002 3:00	17.8146	269	12/29/2002 4:00	17.9366
178	12/15/2002 3:00	17.7084	224	1/17/2002 4:00	17.8156			
179	12/8/2002 3:00	17.7105	225	1/10/2002 12:00	17.8177			
180	1/28/2002 17:00	17.7109	226	1/20/2002 4:00	17.8194			
181	3/30/2002 5:00	17.7209	227	11/25/2002 16:00	17.8219			

Tabla 66 5% de la diferencia de temperaturas más altas, sistemas apagados

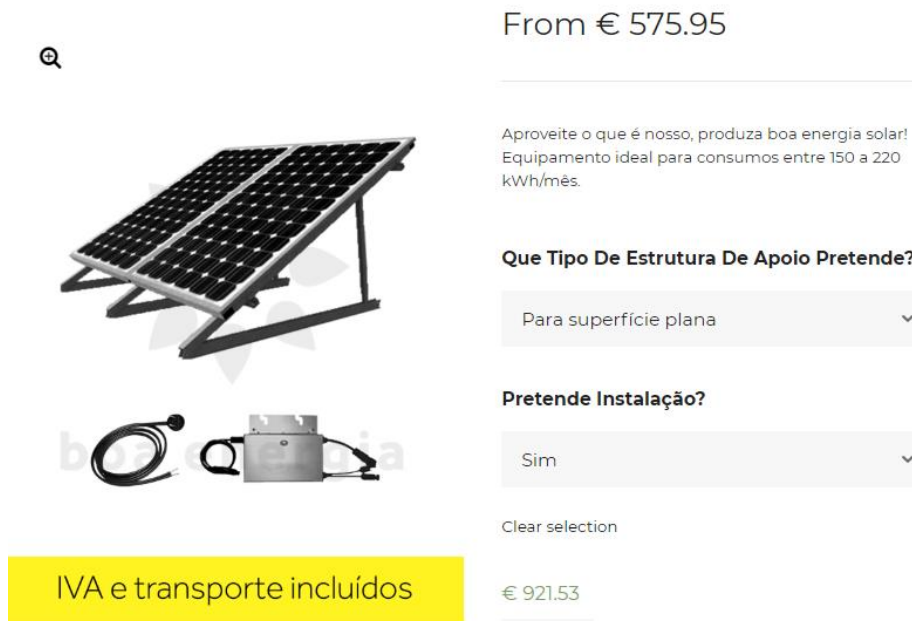
No.	Fecha	(Orm)	Oo	Oopt	Δ
1	7/6/2002 19:00	18.48	30.39	24.90	5.49
2	7/6/2002 20:00	18.48	30.04	24.90	5.15
3	8/10/2002 19:00	20.36	30.67	25.52	5.15
4	7/6/2002 18:00	18.48	30.02	24.90	5.12
5	8/10/2002 18:00	20.36	30.63	25.52	5.11
6	8/10/2002 20:00	20.36	30.35	25.52	4.83
7	7/21/2002 19:00	18.37	29.60	24.86	4.73
8	6/19/2002 18:00	19.02	29.63	25.08	4.56
9	6/19/2002 19:00	19.02	29.61	25.08	4.54
10	7/21/2002 18:00	18.37	29.38	24.86	4.52
11	10/8/2002 6:00	14.68	19.21	23.64	4.43
12	10/6/2002 7:00	16.20	19.78	24.15	4.37
13	7/22/2002 19:00	19.46	29.59	25.22	4.37
14	8/10/2002 17:00	20.36	29.88	25.52	4.36
15	7/6/2002 21:00	18.48	29.20	24.90	4.30
16	8/10/2002 21:00	20.36	29.81	25.52	4.29
17	9/28/2002 7:00	17.80	20.41	24.68	4.26
18	7/21/2002 20:00	18.37	29.12	24.86	4.25
19	7/6/2002 17:00	18.48	29.15	24.90	4.25
20	7/23/2002 18:00	20.45	29.80	25.55	4.25
21	8/31/2002 18:00	19.22	29.37	25.14	4.23
22	7/23/2002 19:00	20.45	29.76	25.55	4.21
23	9/28/2002 6:00	17.80	20.47	24.68	4.21
24	7/22/2002 18:00	19.46	29.42	25.22	4.19
25	10/8/2002 5:00	14.68	19.47	23.64	4.18
26	10/8/2002 7:00	14.68	19.47	23.64	4.17
27	10/6/2002 6:00	16.20	20.01	24.15	4.14
28	9/19/2002 6:00	16.29	20.05	24.18	4.13
29	10/6/2002 8:00	16.20	20.04	24.15	4.11
30	6/18/2002 19:00	17.89	28.79	24.70	4.09
31	5/23/2002 6:00	15.12	19.75	23.79	4.04
32	10/1/2002 6:00	17.05	20.40	24.42	4.02
33	8/11/2002 18:00	21.85	30.03	26.01	4.02
34	10/9/2002 6:00	13.83	19.35	23.36	4.02
35	9/28/2002 5:00	17.80	20.67	24.68	4.01
36	9/28/2002 8:00	17.80	20.67	24.68	4.01
37	9/14/2002 7:00	18.32	20.86	24.85	3.98
38	7/6/2002 16:00	18.48	28.87	24.90	3.97
39	9/19/2002 5:00	16.29	20.21	24.18	3.96
40	6/19/2002 17:00	19.02	29.04	25.08	3.96
41	8/31/2002 19:00	19.22	29.09	25.14	3.95
42	9/14/2002 6:00	18.32	20.91	24.85	3.94
43	7/23/2002 17:00	20.45	29.47	25.55	3.92
44	10/8/2002 4:00	14.68	19.73	23.64	3.91
45	5/23/2002 5:00	15.12	19.89	23.79	3.90
46	6/19/2002 16:00	19.02	28.97	25.08	3.89
47	8/10/2002 16:00	20.36	29.39	25.52	3.87
48	6/19/2002 15:00	19.02	28.94	25.08	3.86
49	6/18/2002 18:00	17.89	28.56	24.70	3.86
50	10/6/2002 5:00	16.20	20.29	24.15	3.85
51	7/6/2002 15:00	18.48	28.75	24.90	3.85
52	8/11/2002 19:00	21.85	29.85	26.01	3.84
53	10/1/2002 5:00	17.05	20.60	24.42	3.83
54	9/28/2002 4:00	17.80	20.86	24.68	3.82
55	9/27/2002 6:00	17.91	20.90	24.71	3.81
56	9/19/2002 4:00	16.29	20.37	24.18	3.80
57	10/5/2002 7:00	16.95	20.60	24.39	3.80
58	10/9/2002 5:00	13.83	19.58	23.36	3.79
59	10/5/2002 8:00	16.95	20.62	24.39	3.77
60	6/22/2002 19:00	20.26	29.23	25.49	3.75
61	9/14/2002 5:00	18.32	21.10	24.85	3.74
62	7/7/2002 19:00	20.26	29.20	25.49	3.72
63	8/31/2002 17:00	19.22	28.85	25.14	3.71
64	8/10/2002 15:00	20.36	29.23	25.52	3.71
65	5/27/2002 6:00	15.87	20.33	24.04	3.70
66	6/19/2002 14:00	19.02	28.78	25.08	3.70
67	9/27/2002 5:00	17.91	21.01	24.71	3.70
68	7/6/2002 14:00	18.48	28.59	24.90	3.69
69	9/25/2002 6:00	17.82	20.99	24.68	3.69
70	10/9/2002 7:00	13.83	19.68	23.36	3.69
71	5/23/2002 4:00	15.12	20.10	23.79	3.69
72	9/19/2002 3:00	16.29	20.49	24.18	3.69
73	7/23/2002 16:00	20.45	29.22	25.55	3.68
74	8/31/2002 20:00	19.22	28.82	25.14	3.67
75	7/6/2002 22:00	18.48	28.56	24.90	3.67
76	10/5/2002 6:00	16.95	20.74	24.39	3.65
77	9/20/2002 6:00	16.06	20.45	24.10	3.65
78	8/10/2002 22:00	20.36	29.17	25.52	3.65
79	9/15/2002 7:00	17.33	20.88	24.52	3.64
80	9/29/2002 7:00	17.36	20.90	24.53	3.63
81	9/28/2002 3:00	17.80	21.04	24.68	3.63
82	10/1/2002 7:00	17.05	20.80	24.42	3.63
83	7/7/2002 18:00	20.26	29.11	25.49	3.63
84	9/19/2002 7:00	16.29	20.55	24.18	3.62
85	8/9/2002 19:00	19.09	28.72	25.10	3.62
86	10/8/2002 3:00	14.68	20.03	23.64	3.62
87	10/1/2002 4:00	17.05	20.81	24.42	3.61

Tabla 67 Continuación del 5% de la diferencia de temperaturas más altas, sistemas apagados

88	7/6/2002 13:00	18.48	28.51	24.90	3.61
89	7/21/2002 17:00	18.37	28.47	24.86	3.61
90	8/27/2002 6:00	17.76	21.07	24.66	3.59
91	9/15/2002 6:00	17.33	20.93	24.52	3.59
92	6/22/2002 18:00	20.26	29.07	25.49	3.59
93	8/9/2002 18:00	19.09	28.68	25.10	3.58
94	9/25/2002 5:00	17.82	21.10	24.68	3.58
95	9/26/2002 6:00	17.76	21.08	24.66	3.58
96	10/6/2002 4:00	16.20	20.57	24.15	3.58
97	5/27/2002 5:00	15.87	20.46	24.04	3.58
98	9/27/2002 4:00	17.91	21.14	24.71	3.57
99	5/22/2002 6:00	15.01	20.19	23.75	3.57
100	7/29/2002 6:00	18.38	21.30	24.86	3.57
101	9/13/2002 6:00	19.32	21.62	25.18	3.56
102	6/28/2002 6:00	17.59	21.05	24.61	3.56
103	10/8/2002 8:00	14.68	20.09	23.64	3.56
104	8/25/2002 6:00	19.43	21.65	25.21	3.56
105	9/19/2002 2:00	16.29	20.62	24.18	3.55
106	7/27/2002 6:00	19.78	21.78	25.33	3.55
107	7/31/2002 6:00	19.22	21.60	25.14	3.55
108	5/24/2002 6:00	15.08	20.23	23.78	3.55
109	9/20/2002 5:00	16.06	20.56	24.10	3.54
110	6/28/2002 5:00	17.59	21.06	24.61	3.54
111	8/25/2002 7:00	19.43	21.67	25.21	3.54
112	9/29/2002 6:00	17.36	21.00	24.53	3.53
113	7/29/2002 5:00	18.38	21.33	24.86	3.53
114	10/9/2002 4:00	13.83	19.84	23.36	3.53
115	9/29/2002 8:00	17.36	21.00	24.53	3.53
116	9/14/2002 8:00	18.32	21.32	24.85	3.52
117	9/30/2002 6:00	17.30	21.00	24.51	3.51
118	8/10/2002 14:00	20.36	29.03	25.52	3.51
119	6/19/2002 13:00	19.02	28.58	25.08	3.50
120	7/23/2002 15:00	20.45	29.04	25.55	3.50
121	7/26/2002 6:00	20.22	21.98	25.47	3.49
122	7/22/2002 20:00	19.46	28.71	25.22	3.49
123	10/7/2002 6:00	15.45	20.41	23.90	3.49
124	9/25/2002 4:00	17.82	21.19	24.68	3.49
125	9/14/2002 4:00	18.32	21.36	24.85	3.49
126	5/24/2002 5:00	15.08	20.29	23.78	3.48
127	10/5/2002 5:00	16.95	20.92	24.39	3.48
128	5/23/2002 3:00	15.12	20.31	23.79	3.47
129	9/19/2002 1:00	16.29	20.71	24.18	3.47
130	5/22/2002 5:00	15.01	20.29	23.75	3.46
131	9/26/2002 5:00	17.76	21.21	24.66	3.46
132	9/27/2002 7:00	17.91	21.26	24.71	3.45
133	9/28/2002 2:00	17.80	21.23	24.68	3.45
134	8/27/2002 5:00	17.76	21.22	24.66	3.44
135	6/8/2002 6:00	15.42	20.45	23.89	3.44
136	7/26/2002 5:00	20.22	22.04	25.47	3.43
137	9/27/2002 3:00	17.91	21.28	24.71	3.43
138	7/27/2002 5:00	19.78	21.90	25.33	3.43
139	7/21/2002 21:00	18.37	28.28	24.86	3.42
140	6/19/2002 20:00	19.02	28.50	25.08	3.42
141	8/11/2002 17:00	21.85	29.43	26.01	3.42
142	8/15/2002 6:00	19.40	21.79	25.20	3.41
143	7/31/2002 5:00	19.22	21.74	25.14	3.41
144	5/23/2002 7:00	15.12	20.39	23.79	3.40
145	8/25/2002 5:00	19.43	21.81	25.21	3.40
146	8/8/2002 6:00	18.92	21.64	25.04	3.40
147	6/19/2002 12:00	19.02	28.47	25.08	3.40
148	9/20/2002 4:00	16.06	20.70	24.10	3.40
149	10/1/2002 3:00	17.05	21.03	24.42	3.40
150	5/30/2002 6:00	16.03	20.70	24.09	3.39
151	7/23/2002 20:00	20.45	28.93	25.55	3.39
152	7/29/2002 4:00	18.38	21.48	24.86	3.39
153	7/22/2002 17:00	19.46	28.61	25.22	3.39
154	6/8/2002 5:00	15.42	20.51	23.89	3.38
155	10/3/2002 18:00	17.26	27.88	24.50	3.38
156	5/28/2002 6:00	15.71	20.61	23.99	3.38
157	6/6/2002 6:00	15.79	20.63	24.01	3.38
158	9/29/2002 5:00	17.36	21.15	24.53	3.38
159	9/13/2002 5:00	19.32	21.81	25.18	3.37
160	9/30/2002 5:00	17.30	21.14	24.51	3.36
161	9/15/2002 5:00	17.33	21.16	24.52	3.36
162	7/7/2002 13:00	20.26	28.84	25.49	3.35
163	6/6/2002 5:00	15.79	20.67	24.01	3.34
164	9/27/2002 9:00	17.91	21.37	24.71	3.34
165	9/26/2002 4:00	17.76	21.32	24.66	3.34
166	8/10/2002 13:00	20.36	28.86	25.52	3.34
167	6/11/2002 19:00	16.96	27.73	24.40	3.34
168	5/22/2002 4:00	15.01	20.42	23.75	3.34
169	6/28/2002 4:00	17.59	21.27	24.61	3.33
170	7/27/2002 7:00	19.78	21.99	25.33	3.33
171	9/17/2002 6:00	16.59	20.94	24.27	3.33

## 8.2 Anexo 2 – Parámetro 8

A continuación, se muestran los precios de cada uno de los kits de autoconsumo propuestos para cada uno de los escenarios planteados:



From € 575.95

Aproveite o que é nosso, produza boa energia solar!  
Equipamento ideal para consumos entre 150 a 220 kWh/mês.

**Que Tipo De Estrutura De Apoio Pretende?**

Para superfície plana

**Pretende Instalação?**

Sim

Clear selection


IVA e transporte incluídos

€ 921.53

Figura 63 Costo Kit Autoconsumo 500W. Tomado de: (boaenergia, 2015e)

### Contiene:

- 2 módulos Fotovoltaicos Policristalinos JA Solar JAP6-60/4BB de 265Wp;
- 1 micro inversor de red de 500Wn;
- Estructura para cubierta plana;
- 5 metros de cable eléctrico para exteriores;
- 10 años de garantía contra defectos de fábrica de los módulos e inversores;
- 2 años de garantía contra defectos de fábrica;
- 25 años de garantía mínima de producción del 80%.



From € 917.66

Aproveite o que é nosso, produza boa energia!  
Equipamento ideal para consumos entre 220 a 370 kWh/mês.

**Que Tipo De Estrutura De Apoio Pretende?**

Para superfície plana

**Pretende Instalação?**

Sim

IVA e transporte incluídos

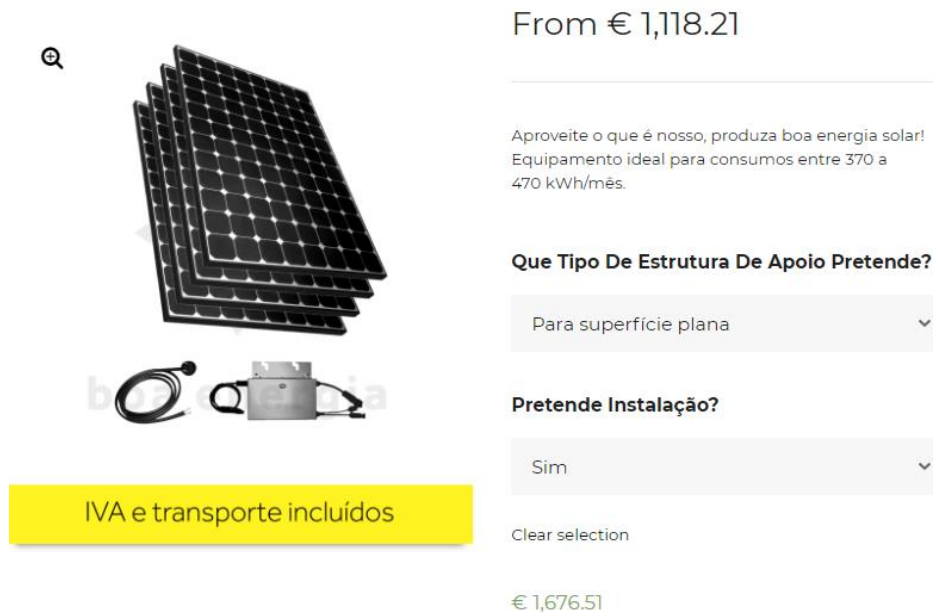
Clear selection

€ 1,368.34

Figura 64 Costo Kit Autoconsumo 750W. Tomado de: (boaenergia, 2015f)

**Contiene:**

- 3 módulos Fotovoltaicos Policristalinos JA Solar JAP6-60/4BB de 265Wp;
- 1 micro inversor de red de 500Wn;
- Estructura para cubierta plana;
- 5 metros de cable eléctrico para exteriores;
- 10 años de garantía contra defectos de fábrica de los módulos e inversores;
- 2 años de garantía contra defectos de fábrica;
- 25 años de garantía mínima de producción del 80%.



From € 1,118.21

Aproveite o que é nosso, produza boa energia solar!  
Equipamento ideal para consumos entre 370 a 470 kWh/mês.

**Que Tipo De Estrutura De Apoio Pretende?**

Para superfície plana

**Pretende Instalação?**

Sim


Clear selection

€ 1,676.51

Figura 65 Costo Kit Autoconsumo 1000W. Tomado de: (boaenergia, 2015a)

**Contiene:**

- 4 módulos Fotovoltaicos Policristalinos JA Solar JAP6-60/4BB de 265Wp;
- 2 micro inversor de red de 500Wn;
- Estructura para cubierta plana;
- 5 metros de cable eléctrico para exteriores;
- 10 años de garantía contra defectos de fábrica de los módulos e inversores;
- 2 años de garantía contra defectos de fábrica;
- 25 años de garantía mínima de producción del 80%.



From € 1,504.44

Aproveite o que é nosso, produza boa energia solar!  
Equipamento ideal para consumos entre 470 a 580 kWh/mês.

**Que Tipo De Estrutura De Apoio Pretende?**

Para superfície plana

**Pretende Instalação?**

Sim

IVA e transporte incluídos

Clear selection

€ 2,185.71

Figura 66 Custo Kit Autoconsumo 1250W. Tomado de: (boaenergia, 2015b)

**Contiene:**

- 5 módulos Fotovoltaicos Policristalinos JA Solar JAP6-60/4BB de 265Wp;
- 2 micro inversor de red de 500Wn;
- Estructura para cubierta plana;
- 5 metros de cable eléctrico para exteriores;
- 10 años de garantía contra defectos de fábrica de los módulos e inversores;
- 2 años de garantía contra defectos de fábrica;
- 25 años de garantía mínima de producción del 80%.

From €1,622.12 ★★★★★ 1 Rev

Aproveite o que é nosso, produza boa energia solar!  
Equipamento ideal para consumos entre 580 a 660 kWh/mês.

**Que Tipo De Estrutura De Apoio Pretende?**  
Para superfície plana

**Pretende Instalação?**  
Sim

IVA e transporte incluídos

Clear selection

€ 2,369.94

Figura 67 Costo Kit Autoconsumo 1500W. Tomado de: (boaenergia, 2015c)

**Contiene:**

- 6 módulos Fotovoltaicos Policristalinos JA Solar JAP6-60/4BB de 265Wp;
- 3 micro inversor de red de 500Wn;
- Estructura para cubierta plana;
- 5 metros de cable eléctrico para exteriores;
- 10 años de garantía contra defectos de fábrica de los módulos e inversores;
- 2 años de garantía contra defectos de fábrica;
- 25 años de garantía mínima de producción del 80%.

Por lo tanto, la inversión inicial para cada uno de los escenarios propuestos se muestra a continuación:

Tabla 68 Presupuesto Parámetro P8, Escenario 1

Item	Precio Unitario	Unidades	Precio total
Kit Autoconsumo 500W (Incluye IVA y Transporte)	€ 921.53	14	€ 12,901.42
Kit Autoconsumo 750W (Incluye IVA y Transporte)	€ 1,368.34	4	€ 5,473.36
<b>Total</b>			<b>€ 18,374.78</b>



Tabla 69 Presupuesto Parámetro P8, Escenario 2

Item	Precio Unitario	Unidades	Precio total
Kit Autoconsumo 500W (Incluye IVA y Transporte)	€ 921.53	2	€ 1,843.06
Kit Autoconsumo 750W (Incluye IVA y Transporte)	€ 1,055.00	9	€ 9,495.00
Kit Autoconsumo 1000W (Incluye IVA y Transporte)	€ 1,676.51	6	€ 10,059.06
Kit Autoconsumo 1250W (Incluye IVA y Transporte)	€ 2,185.71	1	€ 2,185.71
<b>Total</b>			<b>€ 21,739.77</b>

Tabla 70 Presupuesto Parámetro P8, Escenario 3

Item	Precio Unitario	Unidades	Precio total
Kit Autoconsumo 750W (Incluye IVA y Transporte)	€ 1,055.00	3	€ 3,165.00
Kit Autoconsumo 1000W (Incluye IVA y Transporte)	€ 1,676.51	8	€ 13,412.08
Kit Autoconsumo 1250W (Incluye IVA y Transporte)	€ 2,185.71	6	€ 13,114.26
Kit Autoconsumo 1500W (Incluye IVA y Transporte)	€ 2,369.94	1	€ 2,369.94
<b>Total</b>			<b>€ 32,061.28</b>

### 8.3 Anexo 3 – Parámetro 13

A continuación, se muestran los precios de los contenedores para reciclaje implementados para cada apartamento y el depósito de pilas usadas:



Figura 68 Contenedores de 60 litros para apartamentos T2. Tomado de: (El corte inglés, 2017)



Figura 69 Contenedores de 80 litros para apartamentos T3. Tomado de: (elcorceinglés, 2016)

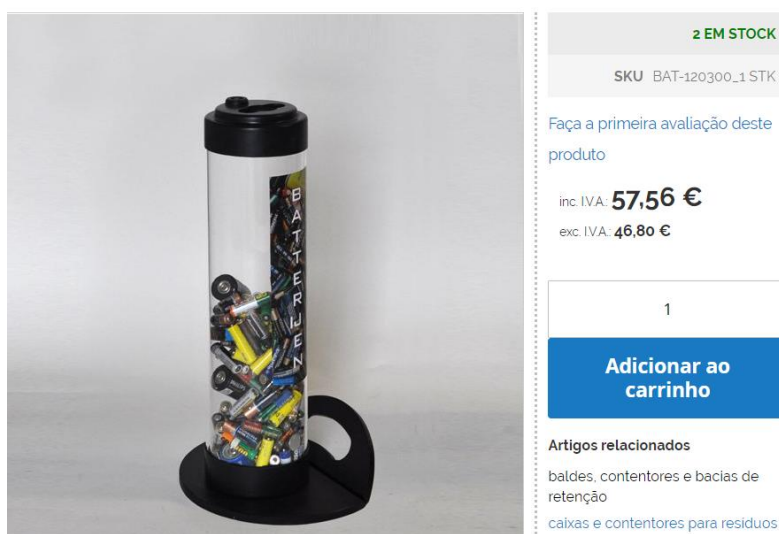


Figura 70 Contenedor para pilas usadas. Tomado de: (ENGELS, 2018)

Por lo tanto, la inversión inicial para el parámetro P13 se muestra a continuación:

Tabla 71 Presupuesto inicial, parámetro P13

Item	Precio Unitario	Unidades	Precio total
Contenedor de reciclaje de 3x20 litros	€ 89.95	15	€ 1,349.25
Contenedor de reciclaje de 4x20 litros	€ 190.00	3	€ 570.00
Contenedor pilas usadas	€ 57.56	1	€ 57.56
<b>Total</b>			<b>€ 1,976.81</b>

### 8.1 Anexo 4 – Parámetro 14

A continuación, se muestran los precios de los dispositivos hidráulicos tanto convencionales como los de clase hidráulica A, según la ANQIP:

- **Dispositivos convencionales:**



## PACK SANITA 'POLO'

ZOOM

Ref: 8004687

*Saiba mais*

€89,<sup>95</sup>

PACK SANITA POLO Em cerâmica branca. Composto por sanita, tanque, mecanismo e tampo de sanita.

Figura 71 Precio Sanitario Convencional. Tomado de: (AKI, 2016b)



## TORNEIRA DE LAVABO NEREA

Ref: 8576887

*Saiba mais*

€11,<sup>99</sup>

Ideal para lavabos pequenos. Em cromado. Monocomando.



Figura 72 Precio Lavamanos convencional. Tomado de: (AKI, 2014)



### Misturadora para lava-loiça

- Classe de pressão: 1 a 5 bar
- Bica giratória
- Acabamento cromado resistente à corrosão

Referência ET643

Preço 59,80€



Figura 73 Precio Lavalozza convencional. Tomado de: (Erix, 2018)



**CONJUNTO CHUVEIRO CINCO**  
**SENSEA**  
 Ref: 3666753  
 Saiba mais

**€26,<sup>99</sup>**  
 ABS; Cromado; Ø95mm

**CARTÃO AKI MAIS** Acumula em cartão 26 pontos  
**ENTREGAS AO DOMICÍLIO** Entrega por apenas 5,00 €  
**CLICK & RECOLHA** www.aki.pt Reco. custc lojas

- Disponível para compra online\*
- Indisponível na loja AKI.
- Disponibilidade do produto em outras lojas.

**ADICIONAR AO CARRINHO** **ADICIONAR À LISTA**

Figura 74 Precio Ducha convencional. Tomado de:(AKI, 2016a)

Así, el presupuesto para cada uno de los apartamentos es el siguiente:

Tabla 72 Precio dispositivos hidráulicos convencionales, T2

Dispositivo de Utilización	Tipo de dispositivo	Marca	Referencia	Clase	Precio (€/unidad)	No. De unidades	Precio total (€)
Sanitario	Descarga completa	AKI	8004687	-	€ 89.95	2	€ 179.90
Griño Lavamanos	Monocomando	AKI	8576887	-	€ 11.99	2	€ 23.98
Griño Lavaplatos	Monocomando	ERIX	ET643	-	€ 59.80	1	€ 59.80
Ducha	Convencional	AKI	3666753	-	€ 26.99	2	€ 53.98
<b>Costo de equipos convencionales Apartamento Tipología (T2)</b>							<b>€ 317.66</b>

Tabla 73 Precio dispositivos hidráulicos convencionales, T3

Dispositivo de Utilización	Tipo de dispositivo	Marca	Referencia	Clase	Precio (€/unidad)	No. De unidades	Precio total (€)
Sanitario	Descarga completa	AKI	8004687	-	€ 89.95	3	€ 269.85
Griño Lavamanos	Monocomando	AKI	8576887	-	€ 11.99	3	€ 35.97
Griño Lavaplatos	Monocomando	ERIX	ET643	-	€ 59.80	1	€ 59.80
Ducha	Convencional	AKI	3666753	-	€ 26.99	3	€ 80.97
<b>Costo de equipos convencionales Apartamento Tipología (T3)</b>							<b>€ 446.59</b>

Por lo tanto, el presupuesto total de los dispositivos convencionales es el siguiente:


Tabla 74 Presupuesto total, dispositivos hidráulicos convencionales

Item	Precio Unitario	Unidades	Precio total
Dispositivos hidráulicos, T2	€ 317.66	15	€ 4,764.90
Dispositivos hidráulicos, T3	€ 446.59	3	€ 1,339.77
<b>Total</b>			<b>€ 6,104.67</b>

- **Dispositivos clase A:**

SANITA COMPACTA 64 D/C (640 x 365 x 785)		Branco €
	<b>Sanita compacta</b> > com descarga ao chão > kit de fixação incluído	<b>45,80</b>
	<b>PPSC1E</b> (23 Kg)   Peças por palete:	20
	<b>Tanque compacto</b> > entrada de água inferior > mecanismo duplo pulsador 6/3l montado	<b>74,70</b>
	<b>PATC1MKFE</b> (12 Kg)   Peças por palete:	60
	<b>Tanque compacto</b> > entrada de água lateral > mecanismo duplo pulsador 6/3l	<b>74,70</b>
	<b>PPTCLE</b> (12 Kg)   Peças por palete:	60
	<b>Tampo de sanita</b> > em PP com dobradiças em nylon	<b>13,20</b>
	<b>PPTP2E</b> (2 Kg)	
	<b>Tampo de sanita</b> > em termotur com dobradiças metálicas	<b>25,00</b>
	<b>PPTD2E</b> (2 Kg)	
<b>Tampo de sanita</b> > em termotur > com queda amortecida > com dobradiças metálicas cromadas	<b>40,50</b>	
<b>PPTD3E</b> (2 Kg)		
<b>CONJUNTO COMPLETO</b> (Sanita + Tanque + Tampo)	<b>133,70</b>	

Figura 75 Precio Sanitario Clase A. Tomado de:(Sanitana, 2017)



**Misturadora para lavatório**

- Perlator limitador de caudal a 5 lt/min
- Cartucho de discos cerâmicos 35mm
- Classe de pressão: 1 a 5 bar
- Acabamento cromado resistente a corrosão

---

Referência ET325  
Preço 42,67€






Figura 76 Precio Lavamanos Clase A. Tomado de:(Erix, 2018)



**NEW Misturadora para lava-loiça Monet**

- Bica giratória com rotação de 360° que proporciona flexibilidade e otimiza espaço
- Perlator embutido com fluxo constante de 8 lts/min garante maior economia de água, proporciona conforto de utilização e evita salpicos
- Classe de pressão: 1 – 4 bar
- Temperatura máxima: 70 °C
- Acabamento cromado biníquel de alta resistência à corrosão, conservando a beleza do produto por muito mais tempo

---

Referência ET483  
Preço 177,20€

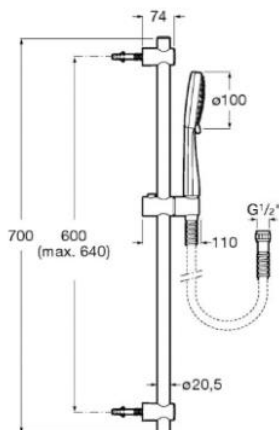






Figura 77 Precio Lavaloza Clase A<sup>++</sup>. Tomado de: (Erix, 2018)

**Kit Stella 100/3**



Kit de ducha Stella 100/3  
 composto por: chuveiro de mão com 3 funções, barra  
 deslizante de 700 mm e flexível de PVC de 1,70 m  
**Ref. A5B1D03C00**  
 Cromado  
**65,80 €**

Figura 78 Precio Ducha Clase A. Tomado de: (Roca, 2016)

Así, el presupuesto para cada uno de los apartamentos es el siguiente:

Tabla 75 Precio dispositivos hidráulicos

Dispositivo de Utilización	Tipo de dispositivo	Marca	Referencia	Clase	Precio (€/unidad)	No. De unidades	Precio total (€)
Sanitario	Descarga doble 3/6 litros	Sanitana	PATC1MKFE	A	€ 133.70	2	€ 267.40
Grifo Lavamanos	Monocomando con aireador	ERIX	ET325	A	€ 42.67	2	€ 85.34
Grifo Lavaplatos	Monocomando con aireador	ERIX	ET483	A++	€ 177.20	1	€ 177.20
Ducha	De bajo consumo	ERIX	Stella 100/3	A	€ 65.80	2	€ 131.60
<b>Costo de equipos eficientes Apartamento Tipología (T2)</b>							<b>€ 661.54</b>

Tabla 76 Precio dispositivos hidráulicos clase A, T3

Dispositivo de Utilización	Tipo de dispositivo	Marca	Referencia	Clase	Precio (€/unidad)	No. De unidades	Precio total (€)
Sanitario	Descarga doble 3/6 litros	Sanitana	PATC1MKFE	A	€ 133.70	3	€ 401.10
Grifo Lavamanos	Monocomando con aireador	ERIX	ET325	A	€ 42.67	3	€ 128.01
Grifo Lavaplatos	Monocomando con aireador	ERIX	ET483	A++	€ 177.20	1	€ 177.20
Ducha	De bajo consumo	ERIX	Stella 100/3	A	€ 65.80	3	€ 197.40
<b>Costo de equipos eficientes Apartamento Tipología (T3)</b>							<b>€ 903.71</b>

Por lo tanto, el presupuesto total de los dispositivos hidráulicos eficientes es el siguiente:

Tabla 77 Presupuesto total, dispositivos hidráulicos eficientes

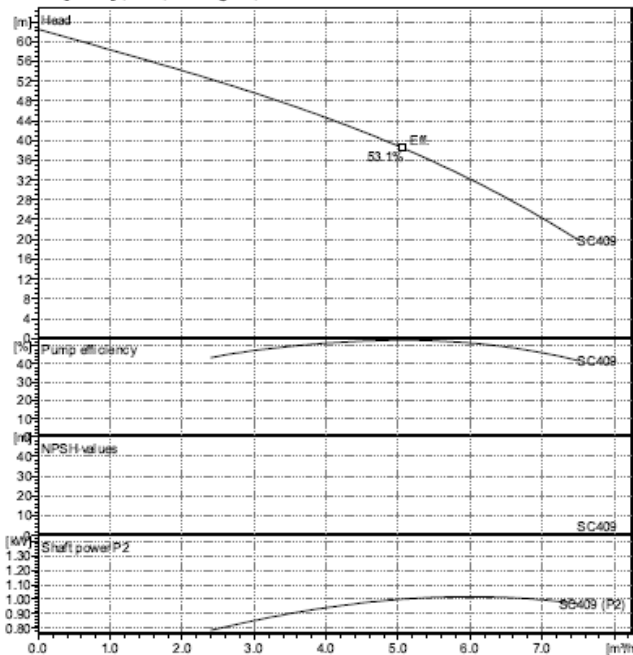
Item	Precio Unitario	Unidades	Precio total
Dispositivos hidráulicos, T2	€ 661.54	15	€ 9,923.10
Dispositivos hidráulicos, T3	€ 903.71	3	€ 2,711.13
<b>Total</b>			<b>€ 12,634.23</b>

## 8.2 Anexo 5 – Parámetro 15

Performance according to ISO 9906:2012 – Grade 3B

Power datas referred to:

Water [100%] ; 4°C; 1000kg/m<sup>3</sup>; 1.57mm<sup>2</sup>/s



### Operating Data Specification

Flow	0 m <sup>3</sup> /h
Head	0 m

### Hydraulic data (duty point)

Flow
Head
Power input

### Pump data

Make	Lowara
Type	SC 409C 01 5" borehole/well pump
Speed	2900
Head H(Q=0)	62.5 m
Suction side	
Discharge side	
Types of installation	Close coupled
Weight	15.5 kg

### Materials / seals

Sleeve with head	Stainless steel
Upper bearing support	Stainless steel
Sleeve with wound stator	Stainless steel
Strainer	Stainless steel

Shaft Seal

### Motor data

Rated power P2	0.9 kW	Nom Speed	2820 rpm
Frequency	50	Phase	1~
Rated voltage	230 V	Rated current	6.17 A
Protection class	IP X8	Insulation class	F
Permitted voltage tolerance +/- 10%			

### Dimensions mm

L	566		
---	-----	--	--

Note:

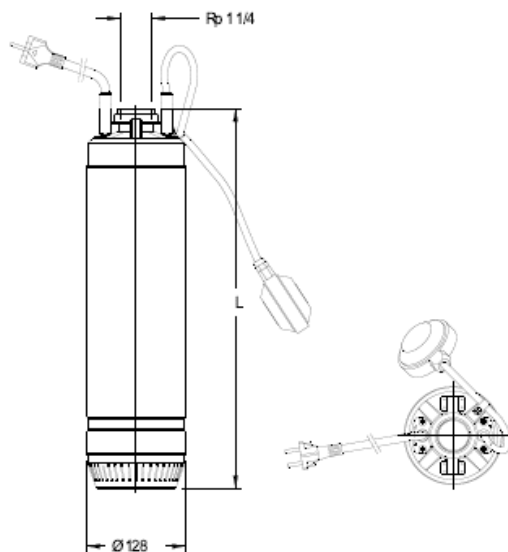


Figura 79 Especificaciones técnicas bomba a utilizar en el sistema SAAP. Tomado de: (Ecodepur, 2018)

A continuación, se encuentra la propuesta económica del sistema de aprovechamiento de agua potable (SAAP):

Tabla 78 Presupuesto SAAP. Tomado de: (Ecodepur, 2018)

Artigo	Descrição	Quant.	Un.	Pr. Unitário	IVA	Total Líquido
PR.E.1.000	RESERVATÓRIO FILTRO INCORPORADO, RSCC/SAAP-40.000_UP160	1,00	UN	14.220,67€	23,00%	14.220,67€
PR.ST.200.309	SIFÃO PARA BY-PASS - SIF 160	1,00	UN	190,57€	23,00%	190,57€
PR.ST.200.306	BARREIRA ANTI-ROEDORES Ø160	1,00	UN	195,26€	23,00%	195,26€
	EXCLUSÕES: Instalação; Equipamento para descarga e implantação dos equipamentos; Ligações eléctricas e/ou hidráulicas. Grupo de bombagem;					
Documento Processado por Computador				Mercadoria/Serviços		14.606,50€
<u>Condições Comerciais</u>				Descontos Comerciais		0,00€
Prazo de validade : 30 dias, a contar da data indicada				Desconto Financeiro		0,00€
Prazo de entrega : A combinar				Ecovalor		0,00€
Condições Pagamento : Pronto Pagamento				IVA		3.359,50€
Modo Expedição : Transporte Excluído				Total		17.966,00€
Garantia : Cinco (5) anos contra defeitos de fabrico do equipamento						

Tabla 79 Continuación Presupuesto SAAP. Tomado de: (Ecodepur, 2018)

Artigo	Descrição	Quant.	Un.	Pr. Unitário	IVA	Total Líquido
PR.ST.3.007	RESERVATÓRIO AÉREO ECODEPUR® PE, RAH-5.000 PRETO (Inclui picagem de ligação entre reservatórios, 63mm flangeada)	2,00	UN	1 768,04€	23,00%	3 536,08€
PR.E.1.000	SISTEMA DE BOMBAGEM INCLUI: Uma electrobomba submersível para instalação no Reservatório subterrâneo, SC409; Duas bóias de nível, no Reservatório aéreo; Um Quadro Eléctrico de comando.  EXCLUSÕES: Instalação; Arranque; Equipamento para descarga e implantação dos equipamentos; Ligações eléctricas e/ou hidráulicas.	1,00	UN	1 465,65€	23,00%	1 465,65€
Documento Processado por Computador				Mercadoria/Serviços		5 001,73€
<u>Condições Comerciais</u>				Descontos Comerciais		0,00€
Prazo de validade : 30 dias, a contar da data indicada				Desconto Financeiro		0,00€
Prazo de entrega : A combinar				Ecovalor		0,00€
Condições Pagamento : Pronto Pagamento				IVA		1 150,40€
Modo Expedição : Transporte incluído até à Obra				Total		6 152,13€
Garantia : Dois (2) anos contra defeitos de fabrico dos equipamentos						