

Universidad de Costa Rica

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil

**Análisis de la disminución en la emisión de gases de efecto invernadero
debido a la implementación de la norma INTE C-170:2020 RESET en el
diseño de un edificio prototipo**

Trabajo de Graduación

Que para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil

Presenta:

Breissy María Calderón Madrigal

Director de Proyecto de Graduación

Ing. Carlos Castro Campos

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

Costa Rica

Febrero, 2023

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Carlos Castro Campos

Director



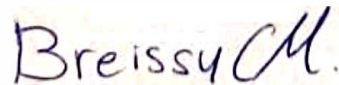
Arq. Melissa Aldi Muñoz

Asesora



Ing. Erick Mata Abdelnour

Asesor



Breissy María Calderón Madrigal

Estudiante

DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Fecha: 2023, febrero, 03

El suscrito, **Breissy María Calderón Madrigal**, cédula 1-1700-0734, estudiante de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carne **B61306**, manifiesta que es autora del Proyecto Final de Graduación **Análisis de la disminución en la emisión de gases de efecto invernadero debido a la implementación de la norma INTE C-170:2020 RESET en el diseño de un edificio prototipo**, bajo la Dirección del **Ing. Carlos Castro Campos**, quien en consecuencia tiene derechos compartidos sobre los resultados de esta investigación.

Asimismo, hago traspaso de los derechos de utilización del presente trabajo a la Universidad de Costa Rica, para fines académicos: docencia, investigación, acción social y divulgación.

Nota: De acuerdo con la Ley de Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Artículo 7 (versión actualizada el 02 de julio de 2001); "no podrá suprimirse el nombre del autor en las publicaciones o reproducciones, ni hacer en ellas interpolaciones, sin una conveniente distinción entre el texto original y las modificaciones o adiciones editoriales". Además, el autor conserva el derecho moral sobre la obra, Artículo 13 de esta ley, por lo que es obligatorio citar la fuente de origen cuando se utilice información contenida en esta obra.

DEDICATORIA

A mi querida madre Margot, por ser mi mejor ejemplo a seguir de una mujer valiente, humilde y amorosa.

A mi querido padre Andrés, por ser el hombre que me enseñó a ser perseverante y luchar por mis sueños.

Sin ustedes dos no hubiera llegado hasta aquí, gracias.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por ser mi fiel compañero durante todo este camino y sostenerme en los momentos más difíciles.

A mis padres, por absolutamente todo lo que me han dado para que hoy esté cumpliendo esta meta.

A mis hermanas y hermano, por buscar siempre la forma de ayudarme en diferentes momentos de mi vida.

A mi querido novio, por impulsarme siempre a ser una mejor versión de mi misma, por ser mi apoyo y mejor amigo.

A los compañeros que la universidad me dejó como verdaderos amigos, por hacer de este proceso uno más divertido y permitirme superar cada reto juntos.

A mi Comité Asesor, por apoyarme en este tema y ser mis guías durante el proceso.

A la Universidad de Costa Rica, mi alma mater, por darme la oportunidad de estudiar y crecer como persona.

Índice de contenido

1	CAPÍTULO 1 - INTRODUCCIÓN	1
1.1	Justificación.....	1
1.1.1	Problema específico	1
1.1.2	Importancia	2
1.1.3	Antecedentes teóricos y prácticos	4
1.2	Objetivos.....	9
1.2.1	Objetivo general.....	9
1.2.2	Objetivos específicos.....	9
1.3	Marco teórico e hipótesis	10
1.3.1	Sostenibilidad.....	10
1.3.2	Impacto ambiental.....	11
1.3.3	Huella de carbono	13
1.3.4	Construcción sostenible.....	15
1.3.5	Indicadores ambientales y línea base	17
1.3.6	Sistemas de evaluación para edificios verdes	19
1.4	Delimitación del problema.....	24
1.4.1	Alcance.....	24
1.4.2	Limitaciones.....	25
1.5	Metodología.....	26
1.6	Determinación del impacto del proyecto.....	29
1.6.1	Categoría de impacto del edificio prototipo	30
1.7	Selección de los criterios de evaluación de la norma RESET	37
2	Capítulo 2 - Calidad y bienestar espacial	42
2.1	Línea base de emisiones.....	42
2.2	Evaluación de los criterios RESET	45

2.2.1	Ventilación natural.....	45
2.2.2	Vidrio de control solar	53
2.2.3	Parasoles.....	55
2.2.4	Paredes vivas.....	60
2.2.5	Recubrimiento para losa de techo	68
2.2.6	Ventilación mecánica	69
2.3	Resumen de los resultados obtenidos	72
2.3.1	Estrategias propuestas.....	72
2.3.2	Huella de carbono y costos.....	74
3	Capítulo 3 – Entorno y transporte	76
3.1	Criterio 6.2.11.....	76
3.2	Criterio 6.2.19 y 6.2.22.....	76
3.2.1	Línea base de emisiones	77
3.2.2	Evaluación de los criterios RESET.....	81
3.2.3	Comparación de resultados	84
3.3	Resumen de resultados obtenidos	84
4	Capítulo 4 – Suelos y paisajismo	86
4.1	Criterio 6.4.1	86
4.1.1	Cimentación tipo placas aisladas	86
4.1.2	Cimentación tipo losa flotante.....	92
4.1.3	Comparación de resultados	95
4.2	Criterio 6.4.2	96
4.2.1	Línea base de emisiones	97
4.2.2	Evaluación del criterio RESET	102
4.2.3	Comparación de resultados	107
4.3	Criterio 6.4.18 y 6.4.19.....	107

4.3.1	Línea base de emisiones	108
4.3.2	Evaluación del criterio RESET	110
4.3.3	Comparación de resultados	113
4.4	Resumen de resultados obtenidos	114
5	Capítulo 5 – Materiales.....	116
5.1	Criterio 6.5.4	116
5.1.1	Línea base de emisiones	116
5.1.2	Evaluación del criterio RESET	117
5.1.3	Comparación de resultados	119
5.2	Criterio 6.5.5	120
5.2.1	Metodología utilizada	120
5.2.2	Línea base de emisiones	124
5.2.3	Evaluación del criterio.....	126
5.2.4	Comparación de resultados	128
5.3	Criterio 6.5.6	128
5.3.1	Línea base de emisiones	128
5.3.2	Evaluación del criterio.....	129
5.3.3	Comparación de resultados	131
5.4	Criterio 6.5.10.....	131
5.4.1	Línea base de emisiones	132
5.4.2	Evaluación del criterio.....	133
5.4.3	Comparación de resultados	134
5.5	Criterio 6.5.11.....	134
5.5.1	Línea base de emisiones	135
5.5.2	Evaluación del criterio.....	136
5.5.3	Comparación de resultados	137

5.6	Criterio 6.5.12.....	138
5.6.1	Línea base de emisiones de GEI.....	138
5.6.2	Evaluación del criterio RESET	140
5.6.3	Comparación de resultados	143
5.7	Criterio 6.5.13.....	144
5.7.1	Línea base de emisiones de GEI.....	145
5.7.2	Evaluación del criterio RESET	147
5.7.3	Comparación de resultados	150
5.8	Resumen de resultados obtenidos	151
6	Capítulo 6 - Optimización en el uso del agua	153
6.1	Criterios 6.6.1 y 6.6.2.....	153
6.1.1	Línea base de emisiones de GEI.....	154
6.1.2	Evaluación del criterio RESET	159
6.1.3	Comparación de resultados	162
6.2	Criterio 6.6.3	163
6.2.1	Línea base de emisiones de GEI.....	163
6.2.2	Evaluación del criterio RESET	164
6.2.3	Comparación de resultados	166
6.3	Criterio 6.6.6	167
6.3.1	Línea base de emisiones de GEI.....	167
6.3.2	Evaluación del criterio RESET	176
6.3.3	Comparación de resultados	180
6.4	Resumen de resultados obtenidos	181
7	Capítulo 7 – Optimización de la energía	182
7.1	Criterio 6.7.2	182
7.1.1	Línea base de emisiones	182

7.1.2	Evaluación del criterio	187
7.1.3	Comparación de resultados	189
7.2	Criterio 6.7.3	190
7.2.1	Línea base de emisiones	190
7.2.2	Evaluación del criterio	192
7.2.3	Comparación de resultados	196
7.3	Criterio 6.7.4	197
7.4	Criterio 6.7.5	198
7.4.1	Línea base de emisiones	198
7.4.2	Evaluación del criterio	200
7.4.3	Comparación de resultados	203
7.5	Criterio 6.7.6	204
7.5.1	Línea base de emisiones	204
7.5.2	Evaluación del criterio	207
7.5.3	Comparación de resultados	212
7.6	Resumen de los resultados obtenidos	212
8	CAPÍTULO 8 - Indicadores para la generación de GEI	214
8.1	Indicador de ocupación	214
8.2	Indicador del costo total	216
8.3	Indicador del área constructiva	217
8.4	Alcances de la huella de carbono	218
9	Conclusiones y recomendaciones	220
9.1	Conclusiones	220
9.2	Recomendaciones	221
10	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	223
11	ANEXOS	233

11.1	Evidencias para la categoría de impacto.....	233
11.1.1	Evidencia del Criterio N° 1.....	233
11.1.2	Evidencia del Criterio N° 2.....	233
11.1.3	Evidencia del Criterio N° 3.....	234
11.1.4	Evidencia del Criterio N° 4.....	234
11.1.5	Evidencia del Criterio N° 5.....	235
11.1.6	Evidencia del Criterio N° 6.....	235
11.1.7	Evidencia del Criterio N° 7.....	239
11.1.8	Evidencia del Criterio N° 8.....	240
11.1.9	Evidencia del Criterio N° 9.....	241
11.1.10	Evidencia del Criterio N° 10.....	242
11.1.11	Evidencia del Criterio N° 11.....	243

Índice de figuras

Figura 1. Diagrama de flujo para la metodología del TFG.....	28
Figura 2. Ubicación del terreno supuesto para el proyecto	30
Figura 3. Elevación principal del edificio	46
Figura 4. Elevación posterior del edificio.....	47
Figura 5. Tipos de aperturas de ventana	47
Figura 6. Ubicación de ventanas del primer nivel.....	49
Figura 7. Ubicación de ventanas del segundo nivel.....	50
Figura 8. Ubicación de ventanas del tercer nivel.....	51
Figura 9. Funcionamiento del vidrio de control solar	54
Figura 10. Área propuesta con parasoles en fachada Este.....	57
Figura 11. Área propuesta con parasoles en fachada Oeste.....	58
Figura 12. Ejemplo de lanas verticales y horizontales	59
Figura 13. Área de parasoles y pared viva en fachada Este (principal)	62
Figura 14. Área de parasoles y pared viva en fachada Oeste (posterior).....	63
Figura 15. Ejemplos de referencia para pared verde.....	65
Figura 16. Estructura para la pared viva en la fachada Este (principal).....	66
Figura 17. Estructura para la pared viva en la fachada Oeste (posterior).....	67
Figura 18. Parqueo externo del edificio	79
Figura 19. Parqueo del sótano del edificio	79
Figura 20. Rendimiento de combustible para diferentes marcas de vehículos livianos	80
Figura 21. Cercanía del proyecto con rutas de transporte público	82
Figura 22. Placas de fundación del edificio prototipo	87
Figura 23. Planta de cimentaciones para las escaleras de emergencia.....	88
Figura 24. Detalle de vigas de amarre.....	88
Figura 25. Identificación del sótano del proyecto y sus accesos.....	97
Figura 26. Identificación de zacate block y zona verde del proyecto.....	102
Figura 27. Sótano modificado.....	103
Figura 28. Cimentaciones afectadas por disminución de área de sótano	104
Figura 29. Área de jardín propuesta.....	108
Figura 30. Funcionamiento del sistema de riego por aspersion con agua tratada.....	112
Figura 31. Ejemplo de piso pulido.....	141

Figura 32. Agua caliente del cuarto nivel	183
Figura 33. Agua caliente del quinto nivel	183
Figura 34. Ejemplo de calentador solar con efecto termosifón	188
Figura 35. Funcionamiento del calentador solar con efecto termosifón	188
Figura 36. Ejemplo de estructura de techo con tuvo estructural	193
Figura 37. Ejemplo de techo con lámina de policarbonato.....	193
Figura 38. Ejemplo de lámina celular de policarbonato transparente	193
Figura 39. Planta arquitectónica del quinto nivel acondicionada para zona de secado de ropa	194
Figura 40. Ejemplo de puerta corrediza de tres paneles	194
Figura 41. Planta arquitectónica del nivel dos del edificio prototipo.....	199
Figura 42. Identificación de tomacorrientes del segundo nivel	202
Figura 43. Ejemplos de regletas inteligentes propuestas	202
Figura 44. Distribución de luminarias del primer y segundo nivel del edificio prototipo	206
Figura 45. Distribución de zonas con luz natural y artificial del primer nivel	210
Figura 46. Luminarias en uso y apagadas del primer nivel según distribución de la luz natural	210
Figura 47. Distribución de zonas con luz natural y artificial del segundo nivel	211
Figura 48. Luminarias en uso y apagadas del segundo nivel según distribución de la luz natural	211
Figura 49. Índice de Desarrollo Humano del cantón de Goicoechea	233
Figura 50. Población total proyectada al 2021 del distrito de San Francisco	233
Figura 51. Identificación del terreno supuesto para el proyecto	234
Figura 52. Densidad de la población proyectada y estimada para el distrito de San Francisco	234
Figura 53. Cobertura de la edificación en el terreno supuesto	235
Figura 54. Área calculada en el primer nivel	236
Figura 55. Área calculada en el segundo nivel.....	236
Figura 56. Área calculada en el tercer nivel	237
Figura 57. Área calculada en el cuarto nivel.....	237
Figura 58. Área calculada en el quinto nivel.....	238
Figura 59. Área calculada en el sótano	238

Figura 60. Vida útil tipología constructiva Edificio de Apartamentos AP03	239
Figura 61. Vida útil tipología constructiva Edificio de Oficina EO02.....	240
Figura 62. Uso del suelo en el área del proyecto	241
Figura 63. Cercanía del Proyecto con Área Protegida	242
Figura 64. Vista en sección de altura sótano edificio prototipo.....	243

Índice de cuadros

Cuadro 1. Tabla de categoría de impacto	21
Cuadro 2. Clasificación de categoría de impacto.....	23
Cuadro 3. Calificación del edificio prototipo según tabla de categoría de impacto	30
Cuadro 4. Cuantificación de los criterios de la norma RESET aplicables al proyecto	37
Cuadro 5. Criterios de la norma RESET seleccionados.....	38
Cuadro 6. Demanda de enfriamiento por aposentos del edificio.....	43
Cuadro 7. Características técnicas del equipo de enfriamiento escogido	44
Cuadro 8. Consumo de energía anual por el uso de aire acondicionado en el edificio	44
Cuadro 9. Huella de carbono total del Capítulo 2 - Calidad y bienestar espacial para la línea base	45
Cuadro 10. Costo del aire acondicionado instalado en el edificio según presupuesto	45
Cuadro 11. Espacios que requieren ventilación natural según el tipo de edificación	47
Cuadro 12. Área de las ventanas añadidas en los niveles uno, dos y tres del edificio	48
Cuadro 13. Tipos de ventilación natural.....	52
Cuadro 14. Características del vidrio de control solar escogido para el edificio	54
Cuadro 15. Costos de las propuestas de ventilación natural y vidrio de control solar versus costos originales	55
Cuadro 16. Áreas destinadas a parasoles en las fachada principal y posterior del edificio.....	56
Cuadro 17. Factores de sombra de parasoles según su ángulo de inclinación y orientación de la fachada	60
Cuadro 18. Costos asociados a la propuesta de instalación de parasoles	60
Cuadro 19. Costos asociados a la implementación de paredes vivas.....	68
Cuadro 20. Cantidad requerida de producto para recubrimiento de losa de techo	69
Cuadro 21. Costos asociados al impermeabilizante de la losa de techo.....	69
Cuadro 22. Diámetro y cantidad de ventiladores recomendados según dimensión del aposento	70
Cuadro 23. Demanda energética total por el uso de ventilación mecánica del edificio.....	71
Cuadro 24. Huella de carbono total de propuesta sostenible sobre ventilación mecánica	71
Cuadro 25. Costos asociados al sistema de ventilación mecánica propuesto	72
Cuadro 26. Resumen de criterios RESET evaluados para el Capítulo 2 - Calidad y bienestar espacial.....	73

Cuadro 27. Resumen de huella de carbono y costos del Capítulo 02 - Calidad y bienestar espacial.....	75
Cuadro 28. Parámetros considerados para el cálculo del combustible por transporte de los usuarios del edificio.....	78
Cuadro 29. Huella de carbono total de criterios RESET 6.2.19 y 6.2.22 para la línea base....	81
Cuadro 30. Consumo total anual de combustible por transporte de los usuarios del edificio .	83
Cuadro 31. Huella de carbono total de criterios RESET 6.2.19 y 6.2.22 para el escenario sostenible.....	83
Cuadro 32. Resumen de criterios RESET evaluados en Capítulo 3 – Entorno y transporte	85
Cuadro 33. Resumen de huella de carbono y costos del Capítulo 3 – Entorno y transporte ..	85
Cuadro 34. Volumen de excavación requerido para el sistema de cimentación de placas aisladas	89
Cuadro 35. Consumo de combustible de maquinaria de excavación para la cimentación de placas aisladas.....	90
Cuadro 36. Huella de carbono total del sistema de cimentación tipo placas aisladas.....	90
Cuadro 37. Costos asociados al sistema de cimentación tipo placas aisladas.....	91
Cuadro 38. Características de diseño de la losa flotante propuesta	93
Cuadro 39. Volumen de excavación requerido para el sistema de cimentación de losa flotante	94
Cuadro 40. Consumo de combustible de maquinaria de excavación para la cimentación de losa flotante	94
Cuadro 41. Huella de carbono total del sistema de cimentación tipo losa flotante	94
Cuadro 42. Costos asociados al sistema de cimentación tipo losa flotante	95
Cuadro 43. Suelo removido en el área del proyecto según presupuesto original.....	97
Cuadro 44. Parámetros considerados en el cálculo del consumo de combustible para acarreos	99
Cuadro 45. Huella de carbono total del criterio RESET 6.4.2 para la línea base	100
Cuadro 46. Costos asociados a la línea base del criterio RESET 6.4.2.....	101
Cuadro 47. Volumen de suelo reservado o ahorrado debido a estrategias implementadas .	105
Cuadro 48. Nuevo volumen de suelo para viajes de acarreos	105
Cuadro 49. Nuevo consumo de combustible para viajes de acarreo	105
Cuadro 50. Huella de carbono total del criterio RESET 6.4.2 para el escenario sostenible...	105

Cuadro 51. Costos asociados al escenario sostenible del criterio RESET 6.4.2	106
Cuadro 52. Consumo de agua potable anual por riego de jardín.....	109
Cuadro 53. Huella de carbono total de criterios RESET 6.4.18 y 6.4.19 para la línea base..	109
Cuadro 54. Huella de carbono total de criterios RESET 6.4.18 y 6.4.19 para el escenario sostenible.....	110
Cuadro 55. Resumen de criterios RESET evaluados del Capítulo 4 – Suelos y paisajismo ...	115
Cuadro 56. Resumen de huella de carbono y costos del Capítulo 4 – Suelos y paisajismo ..	115
Cuadro 57. Huella de carbono total del criterio RESET 6.5.4 para la línea base	117
Cuadro 58. Costos asociados a la línea base del criterio RESET 6.5.4.....	117
Cuadro 59. Huella de carbono total del criterio RESET 6.5.4 para el escenario sostenible...	118
Cuadro 60. Costos asociados al escenario sostenible del criterio RESET 6.5.4	119
Cuadro 61. Densidad del concreto y acero de refuerzo utilizada en los cálculos de peso de la estructura.....	120
Cuadro 62. Peso de la estructura principal del edificio	121
Cuadro 63. Peso total del edificio bajo escenario original de paredes divisorias.....	122
Cuadro 64. Peso de las paredes de cerramiento del edificio suponiendo en su totalidad livianas	123
Cuadro 65. Peso total del edificio bajo escenario modificado de paredes divisorias.....	123
Cuadro 66. Dimensiones originales de elementos estructurales y su disminución de área obtenida.....	124
Cuadro 67. Huella de carbono total del criterio RESET 6.5.5 para la línea base	125
Cuadro 68. Costos asociados a la línea base del criterio RESET 6.5.5.....	126
Cuadro 69. Huella de carbono total del criterio RESET 6.5.5 para el escenario sostenible...	126
Cuadro 70. Costos asociados al escenario sostenible del criterio RESET 6.5.5	127
Cuadro 71. Huella de carbono total del criterio RESET 6.5.6 para la línea base	129
Cuadro 72. Costos asociados a la línea base del criterio RESET 6.5.6.....	129
Cuadro 73. Huella de carbono total del criterio RESET 6.5.6 para el escenario sostenible...	130
Cuadro 74. Costos asociados al escenario sostenible del criterio RESET 6.5.6	131
Cuadro 75. Huella de carbono total del criterio RESET 6.5.10 para la línea base	132
Cuadro 76. Costos asociados a la línea base del criterio RESET 6.5.10	133
Cuadro 77. Huella de carbono total del criterio RESET 6.5.10 para el escenario sostenible. 133	
Cuadro 78. Costos asociados al escenario sostenible del criterio RESET 6.5.10	134

Cuadro 79. Huella de carbono total del criterio RESET 6.5.11 para la línea base	135
Cuadro 80. Costos asociados a la línea base del criterio RESET 6.5.11	136
Cuadro 81. Huella de carbono total del criterio RESET 6.5.11 para el escenario sostenible. 136	
Cuadro 82. Costos asociados al escenario sostenible del criterio RESET 6.5.11	137
Cuadro 83. Huella de carbono total del criterio RESET 6.5.12 para la línea base	139
Cuadro 84. Costos asociados a la línea base del criterio RESET 6.5.12	139
Cuadro 85. Huella de carbono total del criterio RESET 6.5.12 para el escenario sostenible. 142	
Cuadro 86. Costos asociados al escenario sostenible del criterio RESET 6.5.12	143
Cuadro 87. Huella de carbono total del criterio RESET 6.5.13 para la línea base	146
Cuadro 88. Costos asociados a la línea base del criterio RESET 6.5.13	147
Cuadro 89. Huella de carbono total del criterio RESET 6.5.13 para el escenario sostenible. 149	
Cuadro 90. Costos asociados al escenario sostenible del criterio RESET 6.5.13	150
Cuadro 91. Resumen de criterios RESET evaluados del Capítulo 5 - Materiales	151
Cuadro 92. Resumen de huella de carbono y costos del Capítulo 5 - Materiales	152
Cuadro 93. Contabilización del consumo de agua potable por los usuarios del edificio, parte 1	156
Cuadro 94. Contabilización del consumo de agua potable por los usuarios del edificio, parte 2	157
Cuadro 95. Resumen de consumo de agua potable por tipo de pieza en el edificio.....	158
Cuadro 96. Huella de carbono total de criterios RESET 6.6.1 y 6.6.2 para la línea base	158
Cuadro 97. Precipitación promedio mensual y diaria en la zona del proyecto y capacidad de captación de su losa de techo	160
Cuadro 98. Precipitación promedio mensual y diaria en la zona del proyecto y capacidad de captación de su losa de techo con área ampliada	161
Cuadro 99. Huella de carbono total de criterios RESET 6.6.1 y 6.6.2 para el escenario sostenible	161
Cuadro 100. Costos asociados al escenario sostenible de criterios RESET 6.6.1 y 6.6.2.....	162
Cuadro 101. Huella de carbono total del criterio RESET 6.6.3 para la línea base	163
Cuadro 102. Costos asociados a la línea base del criterio RESET 6.6.3	164
Cuadro 103. Consumo de agua potable original versus ahorro obtenido por implementación de estrategia	165
Cuadro 104. Huella de carbono total del criterio RESET 6.6.3 para el escenario sostenible. 165	

Cuadro 105. Costos asociados al escenario sostenible del criterio RESET 6.6.3	166
Cuadro 106. Parámetros calculados del agua residual del edificio suponiendo la PTAR Los Tajos	170
Cuadro 107. Factores de emisión según el tipo de tratamiento biológico de la PTAR	171
Cuadro 108. Emisiones asociadas al tratamiento de las aguas residuales del edificio a través de la PTAR Los Tajos	172
Cuadro 109. Factores de emisión según el lugar de descarga del efluente.....	173
Cuadro 110. Emisiones asociadas a la disposición final de las aguas residuales del edificio a través de la PTAR Los Tajos.....	173
Cuadro 111. Parámetros típicos de diseño para biodigestores anaeróbicos	175
Cuadro 112. Cuantificación de emisiones reducidas por recuperación de biogás.....	175
Cuadro 113. Huella de carbono total del criterio RESET 6.6.6 para la línea base	176
Cuadro 114. Parámetros calculados del agua residual del edificio suponiendo una PTAR propia	177
Cuadro 115. Porcentajes de eficiencia de remoción de materia orgánica de la PTAR según el tipo de tratamiento	178
Cuadro 116. Emisiones asociadas al tratamiento de las aguas residuales del edificio a través de una PTAR propia	178
Cuadro 117. Emisiones asociadas a la disposición final de las aguas residuales del edificio a través de una PTAR propia.....	179
Cuadro 118. Huella de carbono total del criterio RESET 6.6.6 para el escenario sostenible.	179
Cuadro 119. Costos asociados al escenario sostenible del criterio RESET 6.6.6	180
Cuadro 120. Resumen de criterios RESET evaluados del Capítulo 6 – Optimización en el uso del agua	181
Cuadro 121. Resumen de la huella de carbono y costos del Capítulo 6 – Optimización en el uso del agua.....	181
Cuadro 122. Tiempos de consumo de agua caliente del cuarto y quinto nivel	184
Cuadro 123. Consumo energético por calentadores eléctricos y huella de carbono asociada del cuarto y quinto nivel.....	184
Cuadro 124. Tiempos de consumo de agua caliente del apartamento 1 del tercer nivel	185
Cuadro 125. Tiempos de consumo de agua caliente del apartamento 2 del tercer nivel	185

Cuadro 126. Consumo energético por calentadores eléctricos y huella de carbono asociada para el apartamento 1 del tercer nivel	186
Cuadro 127. Consumo energético por calentadores eléctricos y huella de carbono asociada para el apartamento 2 del tercer nivel	186
Cuadro 128. Huella de carbono total del criterio RESET 6.7.2 para la línea base	186
Cuadro 129. Costos asociados a la línea base del criterio RESET 6.7.2	187
Cuadro 130. Huella de carbono total del criterio RESET 6.7.2 para el escenario sostenible. 189	
Cuadro 131. Costos asociados al escenario sostenible del criterio RESET 6.7.2	189
Cuadro 132. Datos técnicos de secadora de ropa para residentes del edificio y consumo energético total.....	191
Cuadro 133. Huella de carbono total del criterio RESET 6.7.3 para la línea base	191
Cuadro 134. Costos de los materiales utilizados en la estrategia sostenible del criterio RESET 6.7.3.....	195
Cuadro 135. Costos ahorrados del presupuesto original por implementar la estrategia sostenible	196
Cuadro 136. Costos asociados al escenario sostenible del criterio RESET 6.7.3	196
Cuadro 137. Cálculo del consumo energético pasivo total por el uso de computadoras en el segundo nivel	200
Cuadro 138. Huella de carbono total del criterio RESET 6.7.5 para la línea base	200
Cuadro 139. Huella de carbono total del criterio RESET 6.7.5 para el escenario sostenible. 203	
Cuadro 140. Costos asociados al escenario sostenible del criterio RESET 6.7.5	203
Cuadro 141. Cantidad de luminarias y su consumo energético asociado al primer y segundo nivel.....	205
Cuadro 142. Tiempos de uso de luminarias y consumo eléctrico total anual	205
Cuadro 143. Huella de carbono total del criterio RESET 6.7.6 para la línea base	205
Cuadro 144. Áreas con iluminación natural y artificial en el nivel uno y dos del edificio.....	208
Cuadro 145. Cantidad y tipo de luminarias encendidas en la línea base y escenario sostenible	208
Cuadro 146. Consumo eléctrico anual por uso de luminarias en la línea base y escenario sostenible.....	208
Cuadro 147. Huella de carbono total del criterio RESET 6.7.6 para el escenario sostenible. 209	

Cuadro 148. Resumen de criterios RESET evaluados del Capítulo 7 – Optimización de la energía	212
Cuadro 149. Resumen de huella de carbono y costos del Capítulo 7 – Optimización de la energía	213
Cuadro 150. Indicador de ocupación del edificio prototipo para los capítulos RESET evaluados	215
Cuadro 151. Indicador de ocupación del edificio prototipo para el Capítulo 7 evaluado.....	215
Cuadro 152. Costo total del edificio prototipo según presupuesto	216
Cuadro 153. Indicador del costo total del edificio prototipo para los capítulos RESET evaluados	217
Cuadro 154. Indicador del área constructiva del edificio prototipo	218
Cuadro 155. Clasificación de la huella de carbono de los capítulos RESET evaluados en alcance Tipo I, II y III.....	219
Cuadro 156. Distribución del área del edificio por cada nivel	235
Cuadro 157. Cantidad de habitantes o usuarios del edificio prototipo.....	242

Calderón Madrigal, Breissy María

Análisis de la disminución en la emisión de gases de efecto invernadero debido a la implementación de la norma INTE C-170:2020 RESET en el diseño de un edificio prototipo.

Proyecto de Graduación – Ingeniería Civil – San José. C.R.:

B.M. Calderón M., 2023

xxvii, 222, [11]h; ils. col – 108 refs.

Resumen

La construcción sostenible surge como una alternativa para contrarrestar el impacto de las actividades humanas en el ambiente y su desarrollo contribuye con el cumplimiento del Plan de Descarbonización del país. Por esta razón, se vuelve relevante contar con normativa y regulaciones que permitan una construcción baja en emisiones, en donde existan más restricciones y normas de línea base sostenible para cualquier proyecto constructivo.

La importancia de este trabajo radica principalmente en que establece una línea base de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para un edificio prototipo, debido a la evaluación de la norma INTE C170:2020 RESET, por lo tanto, analiza el impacto de la norma en la disminución de la huella de carbono para la etapa de diseño y genera indicadores a nivel ambiental y económico al utilizar factores tales como costo total, ocupación y área de construcción. Para el desarrollo del trabajo se seleccionaron los criterios de evaluación de la norma que inciden directamente en la huella de carbono del edificio, además, se utilizaron factores de emisión con alcance de cuna a puerta priorizando aquellos de fuentes nacionales como los establecidos por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) y en las tesis de Badilla & otros (2015) y Sandí (2018). Para el cumplimiento de los requisitos se propusieron estrategias sostenibles relacionadas con el diseño arquitectónico y estructural del edificio, su distribución espacial, su entorno, recursos de construcción y consumo energético de los usuarios.

Se demostró que es posible aplicar una mayor cantidad de criterios con metodologías de cálculo de ahorro de emisiones de GEI, con respecto a la cantidad de criterios establecidos en la norma. Cumplir con los requisitos de RESET generó una línea sostenible con un ahorro total del 39 % de emisiones de GEI con respecto a la línea base. Además, la implementación de estrategias pasivas para alcanzar un diseño bioclimático generó el mayor porcentaje de ahorro en emisiones, lo que evidenció la capacidad de la norma en disminuir la huella de carbono desde la concepción de un diseño integral. Por otro lado, los materiales utilizados fueron los que tuvieron mayor impacto en la huella de carbono total. Y el gasto extra total debido a las estrategias sostenibles solo representó un 0,56 % con respecto al costo total del proyecto.

ESTRATEGIAS SOSTENIBLES; HUELLA DE CARBONO; INTE C170:2020 RESET; LÍNEA BASE

Ing. Carlos Castro Campos

Escuela de ingeniería Civil

Calderón Madrigal, Breissy María

Analysis of the decrease in the emission of greenhouse gases due to the implementation of the INTE C170:2020 RESET standard in the design of a prototype building.

Final Graduation Project –Civil Engineering – San José. C.R.:

B.M. Calderón M., 2023

xxix, 222, [11]h; ils. col – 108 refs.

Abstract

Sustainable construction emerges as an alternative to counteract the impact of human activities on the environment and its development contributes to compliance with the country's Decarbonization Plan. For this reason, it becomes relevant to have rules and regulations that allow low-emission construction, where there are more restrictions and sustainable baseline standards for any construction project.

The importance of this work lies mainly in the fact that it establishes a baseline of Greenhouse Gases (GHG) emissions for a prototype building, due to the evaluation of the INTE C170:2020 RESET standard, therefore, it analyzes the impact of the standard in the reduction of the carbon footprint for the design stage and generates indicators at an environmental and economic level by using factors such as total cost, occupation and construction area. For the development of the work, the evaluation criteria of the standard that directly affects the carbon footprint of the building were selected, in addition, emission factors with a cradle-to-gate scope were used, prioritizing those from national sources such as those established by the National Meteorological Institute (IMN, for the abbreviation in Spanish) and in the thesis of Badilla & others (2015) and Sandí (2018). In order to comply with the requirements, sustainable strategies related to the architectural and structural design of the building were proposed, including the spatial distribution, its environment, construction resources and energy consumption.

It was shown that it is possible to apply a greater number of criteria with methodologies for calculating GHG emissions savings, with respect to the number of criteria established in the standard. Complying with the RESET requirements generates a sustainable line with a total saving of 39 % of GHG emissions with respect to the baseline. In addition, the implementation of passive strategies to achieve a bioclimatic design generates the highest percentage of savings in emissions, which evidence the ability of the standard to reduce the carbon footprint from the conception of an integral design. On the other hand, the materials used were those that had the greatest impact on the total carbon footprint. And the total extra spending due to sustainable strategies only represented 0,56 % of the total cost of the project.

BASELINE; CARBON FOOTPRINT; INTE C-170:2020 RESET; SUSTAINABLE STRATEGIES

Ing. Carlos Castro Campos

Civil Engineering School

1 CAPÍTULO 1 - INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación

1.1.1 Problema específico

Las actividades del ser humano han venido generando grandes impactos en el medio ambiente, principalmente mediante las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), que a su vez ha provocado un aumento significativo en la temperatura de la Tierra, y con ello, un desequilibrio ambiental con efectos en el clima en todo el mundo. Así lo atribuye la Convención Marco de Naciones Unidas (1992) al definir cambio climático como “un cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables” (p. 3).

La quema de combustibles fósiles y la producción de cemento, deforestación y cambios en el uso del suelo, han sido algunas de las actividades causantes de altas emisiones de dióxido de carbono (CO₂), así lo menciona la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en su Boletín sobre los Gases de Efecto Invernadero (2020), mostrando un aumento en la concentración de CO₂ del año 2018 al año 2019 superior al observado en el periodo 2017-2018, y mayor a la tasa de aumento medio anual del último decenio. Además, menciona que del total de las emisiones generadas por actividades humanas durante el periodo 2009-2018, aproximadamente el 44 % se acumularon en la atmosfera, el 23 % en los océanos y el 29 % en la tierra (restante 4 % no tiene atribución).

La industria de la construcción es un área que suma a esta problemática ambiental, por esta razón, se ha vuelto necesario implementar prácticas que mitiguen los efectos de la construcción en el ambiente. Una práctica que se ha posicionado con mayor crecimiento en el mundo es la certificación de los edificios, esto además fomenta el uso eficiente de la energía y el agua, y genera un ambiente óptimo para el desempeño de las actividades que se llevarán a cabo en la edificación. Estas prácticas reducen el impacto sobre el entorno del proyecto, a la vez que logran reducir los costos de operación del edificio a mediano y largo plazo.

Costa Rica es un referente en temas ambientales asociados a la protección de zonas verdes y especies endémicas, el uso de recursos renovables para la generación de energía, entre otros; sin embargo, no destaca en la sostenibilidad de sus edificaciones. Por esta razón es importante

la implementación de estrategias sostenibles, tanto para edificios existentes como nuevos; ya que ello permitiría potenciar el liderazgo ambiental costarricense en un espectro más amplio.

Un avance significativo es la creación de la norma nacional INTE C170:2020 Requisitos para Edificaciones Sostenibles en el Trópico (RESET), promulgada en su primera versión en mayo 2012. Esta normativa le permite al sector construcción, tanto público como privado, adoptar voluntariamente normas ambientales para mejorar el desempeño de sus proyectos y contar con herramientas que les permitan incluir la variable de adaptación al cambio climático en el diseño, construcción, operación y mantenimiento de las edificaciones.

Con la finalidad de garantizar la sostenibilidad y la resiliencia en las edificaciones, se crean nuevas y mejoradas versiones de la norma, siendo la última edición la del 2020. Sin embargo, se han encontrado carencias con respecto a la cuantificación de líneas base en emisiones de GEI y consumo de agua y energía en las diferentes tipologías constructivas. Esto ha dificultado la posibilidad de crear indicadores que se ajusten a la realidad de los proyectos costarricenses que se postulan bajo esta normativa.

Por lo tanto, y paralelo al marco de la crisis ambiental que se vive, RESET se abre camino en el campo de la construcción, surgiendo la necesidad de conocer líneas base para obtener indicadores en la generación de GEI de diferentes tipos de edificaciones.

1.1.2 Importancia

Con la adopción de un Pacto Nacional en el 2016, el país sienta las bases para la construcción de un compromiso colectivo que impulsará las transformaciones necesarias para lograr un desarrollo inclusivo y sostenible con el ambiente. De esta manera, se expresa el compromiso con la Agenda 2030 y el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Como parte de los compromisos internacionales que el país adquirió en la presentación del informe Contribución Nacionalmente Determinada (2020), se encuentra que para el año 2030, el 100 % de nuevas edificaciones se diseñarán y construirán adoptando sistemas y tecnologías de bajas emisiones y resiliencia bajo parámetros bioclimáticos. Y tal como se menciona “Durante el período de implementación de esta contribución, el país incorporará criterios de adaptación al cambio climático en normas y lineamientos para la inversión pública, de manera que se asegure su robustez ante impactos climáticos” (p. 27).

La construcción sostenible surge como una alternativa para contrarrestar el impacto de las actividades humanas en el ambiente, y con ello, colaborar con el cumplimiento del Plan de Descarbonización del país; fomentando el desarrollo de edificaciones bajo estándares de alta eficiencia y procesos de bajas emisiones durante todo el ciclo de vida: diseño, construcción, operación y mantenimiento.

De esta manera se vuelve importante contar con normativa y regulaciones que permitan una construcción baja en emisiones, en donde existan más restricciones y normas de línea base sostenible para cualquier proyecto constructivo.

Por esa razón, el presente trabajo final de graduación (TFG), pretende analizar la tasa de emisiones de GEI en la etapa de diseño de un prototipo constructivo de edificio, desarrollado por el Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos (CFIA) como una consultoría para el Banco Central de Costa Rica (BCCR), con el fin de definir indicadores económicos en el sector construcción. Dado que este edificio fue diseñado sin pretensión sostenible, el TFG pretende analizar las emisiones totales de GEI en la condición estándar, así como también en el modelo mejorado mediante la implementación de los criterios relevantes de la norma RESET.

De esta manera, se obtienen resultados significativos en cuanto a la reducción en la huella de carbono y esto también resulta atractivo para la institución colaboradora con el TFG y para otras similares, ya que tendrían a su disposición datos para considerar el impacto económico representado en la reducción de emisión de GEI, y también insumos para tomar mejores decisiones en cuanto a planificación y finanzas para futuros proyectos.

Así también, la realización de este TFG permite expandir las fronteras de la norma RESET y abrir la posibilidad a que más investigadores realicen el análisis respectivo para otra tipología constructiva, y así robustecer las regulaciones de la norma clasificándolas por tipo de proyecto acordes con la realidad ambiental que atañe el país.

Además, el TFG en conjunto con la colaboración del CFIA, y RESET a través de sus comités técnicos, contribuyen al cambio que lleva al país a cumplir con sus objetivos en el Plan de Descarbonización, contrarrestar los efectos del cambio climático, e incentivar a otros sectores como el gobierno (tomando como referencia la Directriz N° 50 del Ministerio de Ambiente y Energía) a ser parte de un nuevo y necesario paradigma de la construcción.

1.1.3 Antecedentes teóricos y prácticos

1.1.3.1 Antecedentes teóricos

La revolución industrial marcó un hito con los mayores cambios tecnológicos, económicos, sociológicos y culturas en la historia de la humanidad. Sin embargo, también provocó grandes impactos ambientales debido al incremento constante de la productividad que se tradujo, en términos ecológicos, en un incremento paralelo del desorden natural y en el desarrollo de formas cada vez más peligrosas de contaminación.

Debido al hallazgo de fuentes de energía alternativas como el carbón, el petróleo y el gas en el siglo XIX se dio paso a la liberación de variados contaminantes al ambiente, lo que representó el inicio del incremento sostenido de la concentración de CO₂ en la atmósfera, y fue a partir de esta época que se despertó el interés en distintos personajes internacionales por evaluar los potenciales impactos provocados al ambiente (González y otros, 2003).

El geocientífico Wallace S. Broecker en su artículo científico denominado "Climatic Change: Are We on the Brink of a Pronounced Global Warming?" y publicado en 1975 hizo mención por primera vez al término de cambio climático alertando a la población mundial sobre este fenómeno y pronunciando explícitamente que "el aumento exponencial en el contenido de dióxido de carbono atmosférico tenderá a convertirse en un factor significativo y, a principios del próximo siglo, habrá llevado la temperatura planetaria media más allá de los límites experimentados durante los últimos 1000 años" (p. 460).

Según Vengoechea (2012) en 1958 el científico Charles Kelling realizó las primeras mediciones de CO₂ en la cima de un volcán inactivo en Hawai. A raíz de esto e impulsados por los resultados que se fueron obteniendo en los siguientes años, en 1972, líderes mundiales se reunieron en la Primera Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Humano, sin embargo, aquí el cambio climático no era un tema primordial, fue hasta 1979 en la Primera Conferencia Mundial sobre el Clima que se consideró por primera vez el cambio climático como una amenaza real para el planeta.

En 1997 fue aprobado el Protocolo de Kyoto, el cual representa un acuerdo internacional vinculado a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) llevada a cabo en Brasil en 1992. Este protocolo tiene como objetivo promover el desarrollo sostenible, a través del compromiso de los países involucrados de limitar y reducir sus emisiones de GEI;

así mismo durante el periodo de compromiso 2008 – 2012, les asigna la meta de reducir al menos un 5 % las emisiones generadas en 1990 (Naciones Unidas, 1998).

Posteriormente se aprueba un segundo periodo de compromiso 2013 – 2020. Esta vez se cuenta con la participación de más y variados países dispuestos a cumplir la meta establecida sobre reducir las emisiones de GEI al menos un 18 % con respecto a los niveles de 1990.

La CMNUCC llevada a cabo en 1992 trajo consigo diferentes obligaciones, entre ellas realizar inventarios nacionales de emisiones de GEI. En 1994 después de entrar en vigor, Costa Rica ratificó la Convención y, en cumplimiento a los compromisos adquiridos, ha venido realizando inventarios de emisiones y absorciones de GEI por fuentes y sumideros.

Por ello, en el 2021 se publicó el *Inventario Nacional de emisiones por fuentes y absorción por sumideros de Gases de Efecto Invernadero de Costa Rica, 1990 – 2017*, el cual es un informe que revisa y actualiza ediciones anteriores del mismo, estimándose emisiones que ocurrieron en el país para todos los años analizados de cinco grupos o especies de GEI: Dióxido de Carbono (CO₂), Metano (CH₄), Óxido Nitroso (N₂O), Hidrofluorocarbonos (HFC_s), y Hexafluoruro de Azufre (SF₆) ; en el caso de Perfluorocarbonos (PFC_s) no se reportó emisión (Instituto Meteorológico Nacional & Ministerio de Ambiente y Energía, 2021).

A través del tiempo se han mantenido las cumbres sobre cambio climático, y más naciones se han incorporado a la causa firmando acuerdos y comprometiéndose a implementar prácticas más sostenibles. De esta manera, en setiembre del 2015 la Asamblea General de las Naciones Unidas aprueba la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, y con ello entra en vigor el Acuerdo de París en noviembre del 2016, en el que 196 naciones forman parte para cumplir con su objetivo principal de limitar el calentamiento global muy por debajo de 2 °C (Asamblea General de las Naciones Unidas, 2015).

Costa Rica forma parte de dicho compromiso y a raíz de eso se emite el Plan de Descarbonización en el 2019, el cual se lleva a cabo a través de 10 ejes sectoriales, que envuelven temas sobre el transporte y movilidad sostenible, construcción sostenible, generación de energías limpias, gestión integral de residuos, agricultura y cambios en el uso del suelo (Gobierno de Costa Rica, 2018).

En los últimos años el sector construcción del país se ha visto impulsado hacia prácticas sostenibles, por ejemplo, mediante el Consejo de Construcción Verde de Costa Rica (GBCCR

por sus siglas en inglés), el cual es una organización sin fines de lucro que apoya la construcción verde y brinda asesoramiento a profesionales que quieran ejecutar sus proyectos bajo criterios de sostenibilidad. También se encuentra la Comisión de Construcción Sostenible del CFIA, que ha fomentado la gestión responsable de sus miembros para crear espacios sostenibles. Así mismo, se encuentra la norma RESET, que busca ampliar los requisitos de sostenibilidad para diferentes edificaciones potenciando más un diseño eficiente por sobre la utilización de tecnologías.

RESET surge debido a la necesidad de implementar medidas sostenibles en edificaciones que se adapten a las particularidades climáticas de las latitudes del trópico. Fue desarrollada por el Instituto de Arquitectura Tropical (IAT) y donada al CFIA y al Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO), posteriormente, en el 2012 se estableció como norma nacional (Instituto de Arquitectura Tropical, 2012).

Los requisitos de RESET son adoptados voluntariamente por parte de los desarrolladores de edificaciones para poder ser certificados, hasta el 2019 en la etapa de diseño, sin embargo, actualmente es posible también en la etapa de construcción y operación.

A pesar de los esfuerzos de la norma, en Costa Rica son pocas las edificaciones certificadas con RESET, predominando así el sistema de certificación LEED (Leadership in Energy & Environmental Design) así lo da a conocer Nayak (2017) cuando también rescata que “los edificios que tienden a pasar por todo el proceso de certificación para la certificación LEED global son las empresas internacionales que tienen su sede principal en el mundo desarrollado, ya que tienen los medios económicos para pasar por todo el proceso de certificación” (p. 11). Tal es el caso de Boston Scientific e IBM, ambas empresas internacionales con oficinas en Costa Rica que tienen edificios LEED.

A pesar del costo relativamente bajo para optar por la certificación RESET, es menos perseguida en comparación con LEED, aunque en ninguna se cuenta con grandes incentivos. En el informe presentado por Nayak (2017) denominado “La Globalización de la Construcción Sostenible en Costa Rica: Estudio de caso”, se entrevistó a 25 expertos en la comunidad internacional de la construcción verde con experiencia específica en los países en desarrollo y Costa Rica. Estos concordaban en que los incentivos actuales para promover la certificación verde de proyectos “son a menudo inexistentes o insignificantes en comparación con el trabajo adicional que supone llevar a cabo el proceso exigido por cualquiera de las certificaciones que

existe actualmente en el país” (p. 21). La necesidad de este tipo de incentivos fue destacada por la mayoría de los expertos, especialmente para los proyectos residenciales.

Además, los expertos critican que, aunque RESET premia la sostenibilidad social en el sistema de puntos que considera para la obtención de su certificación, no se incluye la medición de rendimientos. Algunos de ellos a la vez recomiendan más restricciones y normas de línea base sostenible para cualquier proyecto de construcción en forma de reglamentos o códigos de aplicación obligatoria, sin embargo, no había un consenso entre los expertos con respecto a la adopción de estándares sostenibles para la construcción de un código nacional; varios de ellos desaprueban una regulación obligatoria para la construcción sostenible, optando en su lugar por incentivos del gobierno a través de beneficios fiscales y subsidios (Nayak, 2017).

En el 2020 INTECO presentó la actualización de la norma RESET. El principal cambio corresponde a la incorporación de una nueva columna en las tablas de los capítulos que contienen los criterios de sostenibilidad, que detalla la evidencia que debe aportar el implementador para demostrar el cumplimiento de los diferentes criterios; además, la actualización incluye herramientas como una tabla para contabilizar ahorros en agua, energía y reducción de emisiones de GEI y un ejemplo del cálculo para determinar la cantidad de criterios a cumplir en el proyecto (INTECO, 2020).

1.1.3.2 Antecedentes prácticos

En cuanto a trabajos de graduación en torno a la construcción sostenible, en el 2007 el ingeniero Daniel Acuña en su TFG “Análisis de la metodología LEED de evaluación de edificios sostenibles para su aplicación en Costa Rica” verifica la aplicabilidad de la norma en el contexto costarricense; este trabajo fue el primero en tratar la construcción sostenible en el contexto de certificaciones realizado en la Universidad de Costa Rica (UCR).

Posteriormente se han realizado trabajos basados en la implementación de estrategias en las etapas de diseño, construcción y/o operación de distintas edificaciones para lograr certificación LEED o bien para la evaluación de la edificación, por lo tanto, se han cuantificado las emisiones de carbono, y el consumo de agua y energía en dichas etapas ya que son criterios fundamentales de la norma LEED. Dentro de los investigadores de los TFG consultados bajo esta línea de trabajo se encuentra Roberto Meza (2008), Carlos Castro Campos (2012), Priscila Chamorro Vargas (2014), y Abdiel Moreno (2015) de la UCR; y Giannina Murillo Pérez (2015) y María Fernanda Navarro Ávalos (2018) del Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC).

Actualmente son pocos los trabajos de graduación que han involucrado la certificación RESET dentro de su alcance. En el 2014 la ingeniera Vanessa Quirós realizó su TFG: "Análisis comparativo del sistema de evaluación medioambiental de construcción LEED NC 2009 y la norma costarricense para las edificaciones sostenibles en el trópico RESET y su aplicación en Costa Rica", en donde realiza una comparación entre las normas LEED y RESET para analizar su aplicabilidad en las construcciones de país. Generó una matriz de comparación entre las normas para facilitarle a los profesionales y empresas la elección según sean las características del proyecto. Además, esta es la primera vez que se toma a la norma RESET como objeto de estudio en un TFG.

También en el 2014 la ingeniera Sussana Morales graduada del TEC, publica su trabajo y toma de referencia la norma RESET, junto a las normas LEED y BREEAM, para realizar una propuesta de modelo y requisitos estándar para un diseño de sitio.

Y en el año 2021 el ingeniero Felipe Castro graduado de la UCR, utiliza la norma RESET como base para desarrollar un instrumento de evaluación para estudios de impacto ambiental de la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA).

Por otra parte, se han realizado varios TFG que permiten cuantificar la huella de carbono asociada a proyectos constructivos. Con respecto a materiales de construcción se encontró que, Sebastián Vega en el 2014 cuantificó la huella de carbono en materiales de construcción usados para viviendas de interés social y propuso un diseño alternativo para reducir las emisiones comparándolo con la línea base establecida en el diseño convencional.

Así mismo, en el trabajo de Stuart Sáenz en el 2015 se realizó una comparación de la huella de carbono generada en la construcción de paredes de una vivienda típica unifamiliar, usando un sistema modular de losas y columnas de concreto reforzado prefabricado, en contraposición si se usara tecla.

Además, los y las arquitectos(as) Paula Badilla, José Andrés Elizondo, Tatiana Fernández, Marcela Quesada, Jorge Eduardo Méndez, Fabricio Mora en su trabajo del 2015 estimaron los factores de emisión de GEI para los materiales de construcción más representativos en la industria del país, como lo son el concreto, la varilla de acero, perfiles para ventanería, baldosas prefabricadas de concreto, bloques de concreto, fibrocemento, madera, y vidrio; con ello se logran asignar las emisiones de GEI para cada material.

También se calculó la huella de carbono asociada a la etapa de construcción de proyectos. Luis Carlos Estrada en el 2014 cuantificó las emisiones totales de GEI generadas en dos proyectos constructivos de la empresa EDIFICAR S.A, en sus actividades de construcción y en la producción y transporte de los materiales utilizados. Además, estudió la factibilidad técnica y económica de las medidas propuestas para reducir la huella de carbono.

Christopher Valerín en el 2015 estimó la huella de carbono generada debido a la construcción de la infraestructura urbana de un proyecto de viviendas de interés social y brinda recomendaciones para disminuir las emisiones.

Y José Daniel Caro en el 2019 determinó la huella de carbono de una vivienda prototipo de clase media en su etapa de construcción, considerando como fuentes de CO₂ el transporte de materiales desde puertos, transporte de materiales desde depósitos, emisiones de maquinaria eléctrica y de combustible, transporte de mano de obra e inspección, y funciones fisiológicas de la mano de obra.

Por último, se encontraron trabajos que calculan la huella de carbono operacional en distintos edificios, sin embargo, la etapa de operación sale del alcance de esta investigación.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Analizar el impacto en la disminución de gases de efecto invernadero (GEI) en el edificio prototipo del Banco Central de Costa Rica, como resultado de la implementación de los criterios relevantes de la norma INTE C170:2020 RESET: Requisitos para Edificaciones Sostenibles en el Trópico, para el establecimiento de una línea base de emisiones.

1.2.2 Objetivos específicos

- Seleccionar los criterios de la norma RESET que se adaptan a la tipología de edificio, analizando su contribución con la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero.
- Establecer la emisión total de gases de efecto invernadero del edificio para dos escenarios: uno diseñado bajo criterios de la norma INTE C170:2020 RESET y otro diseñado bajo criterios convencionales, mediante la cuantificación de sus efectos en la generación de gases de efecto invernadero.

- Determinar la reducción de gases de efecto invernadero, en términos absolutos y en términos económicos, comparando las emisiones de gases de efecto invernadero del edificio bajo criterios de diseño convencionales y bajo criterios de sostenibilidad.
- Definir indicadores para la generación de gases de efecto invernadero, utilizando los rendimientos calculados y factores tales como ocupación, área de construcción y costo total.

1.3 Marco teórico e hipótesis

1.3.1 Sostenibilidad

El desarrollo sostenible se define según la Comisión Brundtland de las Naciones Unidas (1987) como aquello “que busca satisfacer las necesidades y aspiraciones del presente sin comprometer la capacidad de satisfacer las del futuro” (p. 39). El desarrollo sostenible contiene tres pilares fundamentales, como lo son, la sostenibilidad social, sostenibilidad económica y sostenibilidad medioambiental.

La sostenibilidad social involucra la capacidad de generar una mejor calidad de vida para las personas, y plantea acciones para erradicar la pobreza, promover un empleo pleno y productivo y fomentar la integración social (ONU, 1995). Por otro lado, la sostenibilidad económica está relacionada con la capacidad de administrar y gestionar de manera eficiente los recursos y generar rentabilidad de manera responsable y en el largo plazo. Mientras que, el concepto de sostenibilidad medioambiental emana de las relaciones de los seres humanos y su entorno, y está asociada con velar por los ecosistemas, disminuir el impacto ambiental producto de actividades humanas, y gestionar responsablemente los recursos naturales de manera que se salvaguarde la integridad de la naturaleza y el acceso a estos para futuras generaciones.

De la mano con lograr un desarrollo económico, social y ambientalmente equilibrado, en la cumbre de las Naciones Unidas en el 2015 se aprobó la Agenda 2030. Esta sienta sus bases en 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y representa un plan de acción cuyo fin último es erradicar la pobreza y la desigualdad, proteger al planeta contra la degradación y los efectos del cambio climático, y garantizar los derechos humanos para todas las personas (Asamblea General de las Naciones Unidas, 2015).

Específicamente el objetivo 13 se enfoca en “adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos” (Asamblea General de las Naciones Unidas, 2015). Los cambios

en los patrones climáticos mundiales se le atribuye principalmente al calentamiento global, este fenómeno se ha presentado en el pasado geológico como resultado de influencias naturales, a través del aumento progresivo y gradual de la temperatura media de la superficie terrestre, sin embargo, el término de calentamiento global se utiliza más para referirse al calentamiento de la superficie terrestre registrado desde principios del siglo XX y relacionado con el incremento en la concentración de los gases de invernadero en la atmósfera (González y otros, 2003).

Los gases de invernadero son cualquier gas en la atmósfera que absorbe radiaciones infrarrojas, entre los principales se encuentra el vapor de agua y CO_2 . Estos son parte del efecto invernadero, ya que retienen parte de la radiación térmica emitida por la superficie terrestre tras ser calentada por el Sol, manteniendo la temperatura del planeta a un nivel adecuado para el desarrollo de la vida (González y otros, 2003). Sin embargo, diferentes acciones antropogénicas han aumentado los niveles de concentración de esos gases, principalmente del CO_2 , haciendo que se retenga más calor y provocando un aumento peligroso en la temperatura media de la Tierra.

1.3.2 Impacto ambiental

El aumento poblacional, la industrialización, el consumismo excesivo, y la creciente demanda energética, han ocasionado un desequilibrio en el medio ambiente que se ve reflejado, por ejemplo, en la escasez de recursos naturales, contaminación y desigualdad social, ya que los recursos naturales han sido explotados ilimitadamente sin haber una consciencia real del efecto multiplicador que traería a las siguientes generaciones. Por esta razón, en 1970 el Club de Roma, una asociación privada compuesta por empresarios, políticos y científicos; encargó analizar a un grupo de especialistas las amenazas y consecuencias que se presentarían en el Planeta de seguir con las tendencias económicas y socio ambientales a la fecha. Para lo cual se publicó en 1972 el informe "Los límites del crecimiento" en el que sus redactores estaban convencidos de que:

Si la industrialización, la contaminación ambiental, la producción de alimentos y el agotamiento de los recursos mantienen las tendencias actuales de crecimiento de la población mundial, este planeta alcanzará los límites de su crecimiento en el curso de los próximos cien años. El resultado más probable sería un súbito e incontrolable

descenso, tanto de la población como de la capacidad industrial. (Meadows y otros, 1972)

De esta manera, es necesario percatarse de las restricciones cuantitativas del medio ambiente, mantener un crecimiento social, económico, y tecnológico limitado, y cambiar los hábitos de producción-consumo en la sociedad, para que, unidas a otras estrategias, se busque la armonía con la naturaleza y con ello disminuir el impacto ambiental, el cual, ha aumentado con el calentamiento global.

Los impactos ambientales se pueden definir según el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) (2014) como "efectos en los sistemas naturales y humanos debido a la interacción de los cambios climáticos o fenómenos climáticos peligrosos, que ocurren en un lapso de tiempo específico y a la vulnerabilidad de la sociedad o los sistemas expuestos a ellos" (p. 5). Por lo tanto, dichos efectos no solo se extienden a variables ecológicas, sino también humanas, con repercusiones para futuras generaciones.

Durante el último siglo, estos impactos se han manifestado mediante la disminución de la superficie terrestre cubierta por nieve o hielo, la reducción del tiempo de deshielo en algunos lagos y ríos, el aumento en el nivel medio del mar; y mediante cambios en los patrones de precipitación, velocidad de los vientos, nubosidad y en la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos (Field, y otros, 2014).

Así mismo, se han presentado sequías más intensas y duraderas desde 1970 sobre amplias áreas, particularmente en los trópicos y los subtrópicos debido al aumento de temperatura. Además, el nivel medio global del mar subió a una tasa de 3,1 mm por año durante el periodo 1993 -2003 y durante el siglo XX el nivel del mar observado fue de 17 cm (Field, y otros, 2014).

El desarrollo de edificaciones, se ha convertido en una de las actividades humanas con gran repercusión en el ambiente. Como parte del desarrollo económico del país, Costa Rica cada vez cuenta con mayores proyectos constructivos, según datos del CFIA, durante el 2019 se registró un aumento del 6.6 % de metros cuadrados con intención de construcción respecto al año anterior, y es el sector habitacional el que mayor incide, especialmente en los cantones de San José y Alajuela.

Según Dixon (2010) es atribuible a las edificaciones el 50 % de la contaminación global del agua potable, de los gases del cambio climático y de la capa de ozono. Así mismo, la calidad ambiental se ve modificada por las construcciones durante todo el ciclo de vida de un edificio, y el impacto ambiental causado por este se muestra tan significativo debido al requerimiento de uso de suelos, a la extracción de recursos naturales, el consumo energético, la generación de residuos sólidos y aguas residuales, la emisión de gases y a la alteración de paisajes.

1.3.3 Huella de carbono

La huella de carbono se puede definir como, "la medida del impacto de todos los gases de efecto invernadero en el medio ambiente, producidos por actividades individuales, colectivas, eventuales y de los productos" (Schneider & Samaniego, 2010). Esta representa una manera de cuantificar las emisiones de GEI que genera, de forma directa o indirecta, una persona, una empresa, un producto o un evento en términos de dióxido de carbono equivalente (CO_{2e}).

En el Protocolo Kyoto se establecen oficialmente los principales GEI, a saber: Dióxido de Carbono (CO_2), Metano (CH_4), Óxido Nitroso (N_2O), Hidrofluorocarbonos (HFC_s), Perfluorocarbonos (PFC_s) y Hexafluoruro de Azufre (SF_6).

Al cuantificar las emisiones de estos gases, se procede a transformarlos a la cantidad de dióxido de carbono equivalente. Esto permite tener una sola unidad de medida, que sirva para la comparación de la huella de carbono en distintos sectores o categorías de fuente como lo son energía, industria, agricultura, y otros.

Actualmente, existen diferentes metodologías internacionales para medir la huella de carbono. Algunas normas hechas por la Organización Internacional de Normalización (ISO, por sus siglas en inglés) han sido creadas para tales fines.

Como es el caso de la familia de las Normas ISO 14060 que, "proporcionan claridad y coherencia para cuantificar, realizar seguimiento, informar y validar o verificar las emisiones y remociones de GEI para apoyar el desarrollo sostenible a través de una economía baja en carbono" (International Organization for Standardization, 1995).

Dentro de las que más destaca, la Norma ISO 14064: Gases de Efecto Invernadero, la cual especifica los requisitos para demostrar el carbono neutralidad de una organización, a través de las tres partes en la que se encuentra dividida (Cruz A. , 2011):

ISO 14064-1: brinda las especificaciones y orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de GEI.

ISO 14064-2: brinda las especificaciones y orientación, a nivel de proyecto, para la cuantificación, el seguimiento y el informe de la reducción de emisiones o el aumento en las remociones de GEI.

ISO 14064-3: brinda las especificaciones y orientación para la validación y verificación de declaración sobre GEI.

Además, se establecen tres alcances según sean las emisiones dadas. En primer lugar, se encuentran las emisiones directas, que son las que proceden de fuentes propias o controladas por la empresa. Como segundo alcance se encuentran las emisiones indirectas derivadas de la generación de energía, calor o vapor por parte de terceros y que se encuentran controladas por estos. Por último, el tercer alcance se relaciona con otras emisiones indirectas que son consecuencia de las actividades de la organización, pero que ocurren fuera de esta y no son controladas o generadas por la misma (Schneider & Samaniego, 2010).

De esta manera, la norma ISO 14064 proporciona información suficiente para calcular de forma estandarizada la huella de carbono asociada a una empresa y sus operaciones. Sin embargo, también se destaca la norma ISO 14067:2018, que permite realizarlo para un producto.

La norma ISO 14067:2018 especifica los principios, requisitos y directrices para la cuantificación total o parcial de la huella de carbono de un producto, considerando las normas internacionales sobre evaluación de ciclo de vida (Organización Internacional de Normalización, 2018).

El ciclo de vida se puede definir como las etapas consecutivas e interrelacionadas con un producto, desde la adquisición de materia prima o de su generación a partir de recursos naturales hasta el tratamiento al final de la vida útil (Organización Internacional de Normalización, 2018).

Así mismo, el análisis del ciclo de vida de un producto permite evaluar los impactos ambientales ocasionados por este durante toda su existencia, y ofrece la posibilidad de calcular el perfil ambiental del producto para que sea comparado con otros. De esta manera, resulta importante realizar dicho análisis, ya que también a través de este proceso se pueden encontrar estrategias que reduzcan las emisiones o permitan aumentar la remoción de GEI.

Por otro lado, existe la norma PAS 2050:2008: Verificación de la huella de Carbono, que también establece un método para la medición de los GEI, a través de un análisis de ciclo de vida del producto o servicio.

Su implementación es voluntaria y es dirigida a empresas que quieran cuantificar las emisiones de sus productos o servicios. Sin embargo, la norma maneja dos modelos de ciclos de vida a evaluar en función del final que se considere para el ciclo de vida.

El primero es llamado "Business to Business", que aplica al considerar el final del ciclo de vida cuando se entrega el producto o servicio a otra organización, para que esta lo emplee en la elaboración de otro bien o servicio.

El segundo modelo es llamado "Business to Customer" y se diferencia en que este sí considera el ciclo de vida completo, al incluir la entrega del producto o servicio al cliente final y las actividades posteriores a eso.

Esta norma no difiere en gran medida con respecto a otros estándares internacionales, ya sienta la mayoría de sus bases en los requerimientos de normas estandarizadas como las normas ISO.

1.3.4 Construcción sostenible

La construcción sostenible viene siendo una alternativa para contribuir a mitigar los impactos ambientales que provocan las edificaciones, como es el caso que más del 40 % de la energía generada en el mundo es consumida por los edificios (Moreno, 2015). Así mismo, los edificios suponen un 12 % del uso del agua, un 30 % de las emisiones de GEI, un 65 % de los vertidos de residuos y un 70 % del consumo de electricidad (Ramírez A. , 2009).

El Plan de Descarbonización en su Eje 5, busca el desarrollo de edificaciones de diversos usos (comercial, residencial, institucional) bajo estándares de alta eficiencia y procesos de bajas emisiones, estableciendo como indicador el número de edificaciones que adoptan normas ambientales de carácter voluntario para mejorar su desempeño (Gobierno de Costa Rica, 2018).

El término de construcción sostenible se puede definir según Ramírez (s.f), como aquel que resulta más saludable y se dirige hacia una reducción de los impactos ambientales, teniendo

especial respeto y compromiso con el medio ambiente al utilizar la energía y el agua de manera eficiente, así como también recursos y materiales sostenibles.

Sin embargo, la construcción sostenible no solo se centra en los edificios, sino también en su entorno y la manera como se integran para formar las ciudades. Por lo tanto, los edificios sostenibles forman parte de un desarrollo urbano sostenible, el cual tiene como objetivo crear un entorno urbano que no atente contra el medio ambiente, y que proporcione recursos urbanísticos suficientes, no sólo en cuanto a las formas y la eficiencia energética y del agua, sino también para su funcionalidad, como un lugar que sea mejor para vivir (WWF, 1993).

Cruz (2021) resalta cuatro principios de la construcción sostenible:

1. Adaptación y respeto al entorno: una construcción que conozca, que se adapte y sea respetuosa con su entorno, a nivel ecológico, social, cultural y económico.
2. Ahorro de recursos: una construcción que ahorre recursos mediante el uso de materiales de bajo impacto ambiental y social a lo largo de todo el ciclo de vida de estos.
3. Ahorro de energía: enfocado a una construcción energéticamente eficiente implementado estrategias adecuadas que lleven a una arquitectura bioclimática.
4. Disposición de los usuarios: una construcción que cuente con sus usuarios, fomentando en su diseño la participación de estos a lo largo de todo el ciclo de vida del edificio.

Los edificios sostenibles o comúnmente llamados edificios verdes, deben cumplir con funciones como consumir mínimas cantidades de energía y agua, generar menores emisiones de CO₂ y residuos, y crear un ambiente interior saludable; esto a lo largo de todo su ciclo de vida y no parcialmente. El ciclo de vida de un edificio se compone de todas las etapas intermedias desde la adquisición de materias primas o la generación de los recursos naturales, hasta su disposición y operación final (INTECO, 2020).

Durante su ciclo de vida el edificio puede tener diferentes rendimientos en el consumo de energía, de agua y en la emisión de GEI, lo cual depende en gran medida de su diseño, su construcción y su relación con el entorno. Los materiales escogidos, la distribución arquitectónica, el método constructivo, la orientación espacial del edificio, influyen en su grado de capacidad para ahorrar agua y energía o reducir sus emisiones de GEI durante su construcción y operación.

Cuando se aplican criterios de sostenibilidad en el diseño, el edificio genera mayor bienestar para sus usuarios, genera un menor impacto ambiental, lo cual se puede traducir en ahorros económicos. Estos criterios de sostenibilidad pueden tener diferentes enfoques y generalmente son definidos por los sistemas de evaluación ambiental que llevan a certificar el edificio.

Un enfoque particular que potencia la norma RESET es el de la arquitectura bioclimática, la cual se centra en el diseño y construcción de edificios tomando en cuenta las condiciones climáticas de su entorno inmediato, enfocándose en el aprovechamiento de los recursos naturales disponibles (como luz solar, vegetación, precipitación, vientos predominantes) para disminuir el impacto ambiental generado por la construcción y el consumo de energía. De esta manera, se modifica el diseño del edificio provocando que su rendimiento en la generación de GEI sea menor, ya que se logran reducir las emisiones de GEI en comparación con un diseño convencional.

Por otro lado y como se ha visto, la construcción sostenible apunta a una eficiencia energética, la cual se define como "la reducción del consumo de energía manteniendo los mismos servicios energéticos, sin disminuir el confort y la calidad de vida, protegiendo el ambiente, asegurando el abastecimiento y fomentando un comportamiento sostenible en su uso" (INTECO, 2020).

1.3.5 Indicadores ambientales y línea base

Los factores ambientales son áreas, sectores o actores de un entorno; estos incluyen el medio físico como el clima, meteorología, hidrología, suelos, calidad del aire, ruido; y el medio biológico como los ecosistemas, y las especies de flora y fauna terrestre y acuática que los conforman (Schaus y otros, 2018).

Para caracterizar la magnitud del efecto de una acción sobre un factor se utilizan indicadores ambientales y sirven para cuantificar el impacto ambiental (Cruz, 2021); en esta investigación interesa principalmente el factor ambiental como lo es el aire. Además, generalmente para clasificar el impacto de una acción sobre un factor ambiental se compara el indicador contra una norma establecida.

Dentro de las principales funciones que se destacan sobre los indicadores ambientales se encuentra:

1. Observar: se refiere a conocer el estado del factor, notar la evolución en el tiempo y destacar las diferencias espaciales.

2. Entender: relacionado con lograr hacer comparaciones y crear tipologías.
3. Modificar: involucra el aporte del indicador a la formulación de decisiones futuras, evaluar los alcances de las políticas pasadas, y diseñar nuevas estrategias.

En esta investigación se utilizan indicadores asociados a las emisiones de GEI. Estos son de gran utilidad ya que dan cuenta de las emisiones que se generan por unidad establecida. Comúnmente, se tiene indicadores de emisiones de GEI por habitante y con ello se permite conocer el impacto en la huella de carbono que tiene cada persona, sin embargo, también se pueden establecer indicadores que reflejen las emisiones en CO_{2e} para distintos sectores de interés como energía, industria, o para el ámbito económico y social, entre otros.

Por ejemplo, los resultados arrojados en el *II Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático* (p. 95) muestran distintos indicadores calculados en el 2015 para el país, dentro de los que destacan: 2,25 toneladas de dióxido de carbono equivalente (t CO_{2e}) por habitante, 213 t CO_{2e} por kilómetro cuadrado, y 199 t CO_{2e} por millón de dólares (Instituto Meteorológico Nacional & Ministerio de Ambiente y Energía, 2019).

Por otra parte, es necesario conocer líneas base referentes con el consumo energético o hídrico y con emisiones de GEI que genera el ciclo de vida de un edificio, ya que, con esto se pueden hacer evaluaciones de impacto ambiental y se tienen referencias sólidas para una posterior comparación de los rendimientos del edificio en cuanto a ahorros de energía o de agua y en reducciones de GEI.

Schaus & otros (2018) definen una línea base como “el estado actual del área de actuación, previo a la ejecución de un proyecto, incluyendo la descripción detallada de los atributos o características socio-ambientales de su área de emplazamiento” (p. 13). Así mismo, mencionan la importancia que la línea base no solo tenga en consideración el estado actual del área de estudio, en este caso el edificio, sino también factores que podrían influir a futuro en los sistemas ambientales y sociales como por ejemplo los efectos del cambio climático.

La información incluida en la línea base, como lo son así los indicadores ambientales, deberá servir como punto de referencia, frente a lo cual se medirá la magnitud y significancia de los impactos positivos y negativos del proyecto.

En esta investigación, se establece la línea base de emisiones de un edificio prototipo en su etapa de diseño de acuerdo con los apartados que establece la norma RESET. Para ello, se realiza un inventario de GEI, el cual permite determinar la cantidad emitida de cada gas a la atmósfera, en las actividades previamente definidas durante un periodo determinado.

Por lo tanto, cada proceso y actividad que involucra el diseño, construcción y operación de un edificio, genera emisiones de GEI que se pueden calcular. Esto a través de factores de emisión que permitan convertir las cantidades consumidas a cantidades de GEI. Y las cantidades obtenidas para cada GEI se deben convertir a CO_{2e} , ya que es la unidad de medida estandarizada y con ello se logra comparar el impacto de las distintas actividades.

El Instituto Meteorológico Nacional (IMN) en colaboración con el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), establecieron factores de emisión para los gases CO_2 , CH_4 , N_2O , HFC_s , PFC_s y SF_6 en las áreas de energía, procesos industriales, residuos, agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra.

1.3.6 Sistemas de evaluación para edificios verdes

Son normas de implementación voluntaria aplicables a edificaciones que se desean certificar como edificios sostenibles. Estos sistemas contienen requerimientos de acatamiento obligatorio, sus estrategias de evaluación se dividen por áreas e incluyen las fases de planificación, diseño y construcción, además, requieren de la presentación de evidencias que garanticen la trazabilidad de las acciones, y poseen niveles de certificación de acuerdo con la cantidad de requisitos cumplidos.

Dentro de los sistemas de evaluación más reconocidos en el mundo se encuentra la norma LEED "Leadership in Energy and Environmental Design", con diferentes áreas de evaluación, a saber: proceso integrativo, ubicación y transporte, sitio sostenible, eficiencia en el uso del agua, energía y atmósfera, materiales y recursos, calidad del ambiente interno.

Existen otros sistemas de evaluación como el BREEAM "Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology", o el LBC "Living Building Challenge; la primera enfocada a viviendas, comercios o urbanizaciones, y la segunda enfocada a un diseño transformativo y a la armonía de la arquitectura con su entorno.

Sin embargo, esta investigación se centra en la norma INTE C170:2020 RESET "Requisitos para Edificaciones Sostenibles en el Trópico", que consiste en una norma nacional y prioriza la capacidad del diseño y el potencial de sostenibilidad que tiene la arquitectura.

RESET contiene 7 apartados de evaluación y cada uno cuenta con diferentes objetivos, conceptos y criterios; para un total de 21 objetivos, 47 conceptos y 120 criterios. Para la certificación es requisito cumplir con al menos el 70 % de los criterios que aplican para cada apartado y cumplir con la totalidad de los criterios que se consideran como ineludibles. A continuación, se dan a conocer los apartados según INTECO (2020):

Calidad y bienestar espacial:

Tiene como principal objetivo la evaluación de la incorporación en el diseño, de conceptos espaciales que permitan el desenvolvimiento de hábitos sostenibles y relacionados con la naturaleza. Además, se evalúa el diseño con estrategias pasivas para el trópico, que asegure un confort térmico, de circulación de aire, e iluminación natural en beneficio de los usuarios del edificio.

Entorno y transporte:

El objetivo general en este apartado es diseñar el proyecto de manera que presente consideraciones de sostenibilidad, integrándolo a su entorno cultural, físico y natural. Se siguen criterios de minimización de riesgos, y el aprovechamiento y explotación de la infraestructura existente, considerando intervenciones realizadas previamente antes de usar terrenos nuevos.

Aspectos socioeconómicos:

La evaluación de este apartado permite conocer la administración del proyecto en cuanto a su gestión económica, su inclusión social, trato justo, así como la seguridad de los trabajadores y ocupantes del edificio.

Suelos y paisajismo:

Este capítulo evalúa las consideraciones del proyecto con los elementos bióticos del sitio, tales como la información genética y biodiversidad existente, así como las medidas propuestas para su conservación y desarrollo.

Materiales:

Evalúa la aplicación de materiales sostenibles en el proyecto. Además, se privilegia el uso de materiales locales, la optimización de los recursos a través de un diseño eficiente, y la escogencia de materiales de bajo impacto ambiental.

Optimización en el uso de agua:

Evalúa tres aspectos principales: la reducción del consumo de agua potable y su valorización, el tratamiento adecuado de las aguas servidas, y el correcto manejo del agua residual.

Optimización de la energía:

Se evalúa el uso de fuentes de energía renovable y las estrategias utilizadas para la reducción de consumo a través de equipos eficientes y un adecuado manejo de la iluminación en el proyecto.

Por otra parte, para iniciar con el proceso de certificación, primeramente, se debe definir la etapa del proyecto en la que se aspira la certificación, ya sea en el diseño, en la construcción o en su operación. Cabe resaltar que, para optar por la certificación de construcción se debe proceder antes con la certificación en diseño, la operación se puede certificar de manera individual, sin haber optado por una certificación anterior. Como siguiente paso se debe determinar la categoría de impacto del proyecto, ya sea: alto, medio, bajo o interés social; esto mediante el puntaje obtenido del Cuadro 1 debido a las características físicas, sociales, económicas y ambientales que presente el proyecto y aplicando finalmente el Cuadro 2 para saber la clasificación. Posteriormente, se inicia con la identificación y evaluación de los criterios que aplican para el proyecto según la etapa a certificar y la categoría de impacto previamente definidas.

Cuadro 1. Tabla de categoría de impacto

	Criterios	Parámetros	Puntos	Calificación
1	Nivel de desarrollo económico del entorno (Conforme con el Índice de Desarrollo Humano PNUD-ONU).	Más de 0,875	1	
		0,750 a 0,875	2	
		0,625 a < 0,750	3	
		0,500 a < 0,625	4	
		< 0,500	5	
2	Tipo de área (conforme a las estadísticas oficiales).	Ciudad 250.000 o más personas	1	
		Ciudad 50 000 a > 250 000 personas	2	

	Criterios	Parámetros	Puntos	Calificación
		Pueblo 10 000 a > 50.000 personas	3	
		Comunidad 1 000 a >10.000 personas	4	
		Rural	5	
3	Relación del terreno con recursos de interés natural: bosques, cuerpos de agua, elementos especiales del paisaje.	No afecta recursos de interés natural	1	
		Presenta un 25 % de cobertura con áreas de interés natural	2	
		Presenta un 50 % de cobertura con áreas de interés natural	3	
		Presenta un 75 % de cobertura con áreas de interés natural	4	
		Presenta un 100% de cobertura con áreas de interés natural	5	
4	Densidad de habitantes en la zona (conforme a las estadísticas oficiales).	250 hab/ha o más	1	
		150 hab/ha a <250 hab/ha	2	
		100 hab/ha a <150 hab/ha	3	
		50 hab/ha a <100 hab/ha	4	
		0 hab/ha a < 50 hab/ha	5	
5	Cobertura de la edificación en el lote (áreas impermeabilizadas).	20 % del área o menos	1	
		21 % a 40 % del área	2	
		41 % a 60 % del área	3	
		61 % a 80 % del área	4	
		81 % a 100 % del área	5	
6	Tamaño de la edificación, indique los metros cuadrados (m ²) de la edificación.	muy pequeña: 120 m ² o menos	1	
		pequeña: 121 m ² a 300 m ²	2	
		mediana: 301 m ² a 1 000 m ²	3	
		grande: 1 001 m ² a 5 000 m ²	4	
		muy grande: más de 5 000 m ²	5	
7	Vida útil de la edificación, indicado en número de años.	Más de 71 años	1	
		De 61 a 70 años	2	
		De 51 a 60 años	3	
		De 41 a 50 años	4	
		menos de 40 años	5	
8	Tipos de uso.	Residencial - unifamiliar	1	
		Pequeño hotel/ lodge/hostal Espacio público exterior (parques lugares de reunión) Estacionamientos de un piso	2	
		Teatros, cines, templos/ comercio/restaurantes/académico Edificio de estacionamiento Uso mixto (excluidos usos del 4 y 5)	3	

	Criterios	Parámetros	Puntos	Calificación
		Desarrollo hotelero Público institucional Centros comerciales Desarrollo hotelero > 50 habitaciones Condominio / multifamiliar	4	
		Industrial Hospital/clínica	5	
9	Cercanía a áreas protegidas (AP) o con declaratoria de fragilidad ambiental	A más de 500 m del AP o zona de fragilidad ambiental	1	
		Entre 250 m y 499 m del AP o zona de fragilidad ambiental	2	
		Entre 50 m y 249 m del AP o zona de fragilidad ambiental	3	
		Contiguo al límite del AP o zona de fragilidad ambiental	4	
		Dentro del AP o zona de fragilidad ambiental	5	
10	Cantidad de habitantes o usuarios en ocupación plena dentro del proyecto	6 personas o menos	1	
		7 a 50 personas	2	
		51 a 200 personas	3	
		201 a 500 personas	4	
		501 o más personas	5	
11	Volumen de movimientos de tierra fuera del proyecto	200 m ³ o menos	1	
		201 m ³ a 1 000 m ³	2	
		1 001 m ³ a 5 000 m ³	3	
		5 001 m ³ a 20 000 m ³	4	
		Más de 20 000 m ³	5	

Fuente: INTECO, 2020

Cuadro 2. Clasificación de categoría de impacto

	Categoría	Nivel de impacto por categoría	Puntos requeridos por categoría	Cantidad de criterios aplicables por categoría
	Blanca	vivienda de interés social	n/a*	40
	Amarilla	bajo impacto	11-27	61
	Anaranjada	mediano impacto	28-41	97
	Roja	alto impacto	42-55	120

1.4 Delimitación del problema

1.4.1 Alcance

- El estudio se llevó a cabo para el diseño del prototipo constructivo de edificio del Banco Central de Costa Rica disponible en su página web, el cual fue creado para hacer estudios y mediciones económicas y no para ser un proyecto con ejecución real. Por lo tanto, no se consideró dentro del alcance de la norma RESET las etapas de construcción y operación.
- El conjunto de criterios seleccionados de la norma evaluó todo el proyecto, el cual cuenta con una huella constructiva de 744 m² que abarca el edificio, su parqueo externo y rampas de acceso. Así mismo, tiene cinco niveles y un sótano, el primer nivel contiene locales comerciales, el segundo nivel también es de uso comercial debido a que contiene oficinas para centros de llamadas, el tercer y cuarto nivel están destinados a uso residencial ya que contiene apartamentos, mientras que el quinto nivel contiene la azotea con una zona de uso común y gimnasio privado para los residentes.
- Se analizó el impacto que tiene el diseño del edificio en la emisión de GEI, por lo tanto, solo aplicaron los criterios de evaluación de la norma INTE C179:2020 RESET que tenían efecto sobre el ahorro en la emisión de GEI.
- La huella de carbono abarcó diferentes temáticas según sea el criterio que se analizó, entre las principales: materiales de construcción, consumos de energía, de agua potable y de combustibles, el entorno y distribución arquitectónica y orientación espacial del edificio.
- La huella de carbono se calculó considerando seis apartados de la norma RESET. El cálculo de la línea base siguió el diseño original del edificio, mientras que el de la línea sostenible siguió las propuestas y estrategias que solicita la norma.
- El cálculo de la huella de carbono es para un año con alcance de cuna a puerta y se priorizó el uso de factores de emisión para el contexto nacional. En orden de prioridad se consideraron: los factores del IMN (2020), los creados por (Badilla et al., 2015) en la tesis "Cálculo de materiales de huella de carbono para materiales de construcción de Costa Rica", los que desarrolló (Sandí, 2018) en su tesis "Herramientas para la estimación de huella de carbono de proyectos constructivos" y, por último, los establecidos en la guía "Inventory of Carbon and Energy" realizada en la Universidad de Bath por Hammond y Jones (2011).

- Se utilizó el juego de planos constructivos publicados por el Banco Central que datan del 2015, además se utilizó el presupuesto publicado en junio del 2021, pero se reajustó a junio 2022 para traerlo a valor presente ya que a esa fecha el banco no había publicado el presupuesto del 2022.
- Los costos asociados a las estrategias de la línea sostenible son de carácter general y fueron obtenidos de cotizaciones realizadas en el año 2022 de varias empresas y proveedores a modo de referencia.
- Se supuso la ubicación y otras características del proyecto para clasificar al edificio dentro de una categoría de impacto según estipuló la norma RESET.
- Al reconfigurar las características iniciales del edificio con la aplicación de los criterios de sostenibilidad pertinentes, dio resultado su homólogo sostenible, por lo tanto, la comparativa en la emisión de GEI se realizó entre la línea base y la línea sostenible.
- Los indicadores para la generación de GEI se definieron a través de factores tales como ocupación, área de construcción y costo total del edificio prototipo.

1.4.2 Limitaciones

- Para conocer las características del proyecto solo se contó con el juego de planos y el presupuesto del edificio publicado por el Banco Central de acceso público y gratuito.
- No se contó con la posibilidad de realizar visitas de campo ya que el edificio no está construido, por lo tanto, se hicieron algunas suposiciones con respecto a su entorno y localización.
- Solo se determinó la línea base de emisión de GEI para la tipología de edificio que presenta el Banco Central, por lo tanto, servirá mayoritariamente como referencia para aquellos proyectos con características similares.
- En la huella de carbono de algunos criterios no se encontraron factores de emisión contextualizados a la realidad nacional, por lo que se tuvieron que usar factores de fuentes internacionales.
- La cantidad de criterios seleccionados para evaluar el edificio no fue la misma en cada apartado de la norma, debido a que no todos los apartados tenían el enfoque directo de disminuir la huella de carbono.
- La norma no establece metodologías de cálculo de línea base para la totalidad de criterios evaluados, ya que del total de criterios seleccionados solo el 46 % contaron con dichas metodologías.

- Algunas cotizaciones para la línea sostenible fueron dadas en dólares lo que llevó a utilizar el tipo de cambio a colon de la fecha correspondiente.
- Debido a la emergencia sanitaria por el Covid-19 se limitaron las reuniones correspondientes para el TFG a una modalidad virtual.

1.5 Metodología

Etapas 1: Recopilación de información bibliográfica

En esta etapa se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva para crear el marco teórico de la investigación. Se tomaron como insumo varias fuentes de información como lo fue la norma INTE C-170:2020 RESET y otras relacionadas con el cambio climático, la construcción sostenible, indicadores sobre huella de carbono y emisiones de GEI en edificaciones, así como también, la Agenda 2030 y sus objetivos de desarrollo sostenible (ODS) y el compromiso adquirido por el país para cumplirlos.

Etapas 2: Determinación del impacto del proyecto

El objetivo de esta etapa fue clasificar el edificio prototipo en alguna de las categorías de impacto que establece la norma RESET en su Sección 5.1 y según las características de la edificación y su localización. Por lo tanto, primero se tuvo que suponer una ubicación para el proyecto, para lo cual se consideraron aspectos como la topografía y acceso de terreno, uso del suelo, e indicadores sociales, económicos y ambientales de la zona.

Etapas 3: Selección de los criterios de evaluación de la norma RESET

Esta etapa consistió en seleccionar aquellos criterios de evaluación de la norma RESET que interesan para este trabajo de graduación. Estos debían aplicar en la categoría de impacto establecida en la etapa anterior y ser criterios cuyos requisitos tuvieran relación con la disminución de emisiones de GEI de la edificación en la etapa de diseño. Para ello, se analizaron los objetivos, conceptos y requisitos asociados con los criterios de cada apartado de la norma.

Etapas 4: Cálculo de las emisiones de GEI para la línea base

Este proceso consistió en determinar la línea base de emisiones de GEI para el edificio considerando su diseño original. Para el cálculo se debieron utilizar los planos y especificaciones técnicas del proyecto, su presupuesto y distintos factores de emisión, principalmente relacionados con los materiales utilizados y el consumo de energía, de agua y combustibles.

Etapas 5. Evaluación de los criterios RESET seleccionados

En esta etapa se cumplieron los requisitos que solicitaba cada criterio según el apartado al que pertenecía. Para ello se propusieron diferentes estrategias sostenibles relacionadas con el diseño arquitectónico y estructural del edificio, su distribución espacial, su entorno, los materiales y recursos de construcción, y consumo energético de los usuarios, con el fin de disminuir las emisiones con respecto a la línea base ya creada.

Para el cálculo también se utilizó información sobre el consumo eléctrico y de agua potable por parte de los usuarios, características de los materiales y diferentes métodos constructivos propuestos junto a sus factores de emisión, y los costos generales que involucró la propuesta sostenible.

Etapas 6. Comparación directa de emisiones de GEI y determinación de indicadores

Esta etapa representó la parte final del trabajo, ya que se comparó la huella de carbono del escenario de la línea base con respecto a la del escenario de las propuestas sostenibles. De esta manera se logró cuantificar en términos absolutos y en términos económicos la reducción de emisiones de GEI para el edificio prototipo como consecuencia de la implementación de los criterios de la norma RESET.

Por lo tanto, se determinaron los indicadores para la generación de GEI utilizando dichos ahorros calculados y mediante factores de ocupación, área de construcción y costo total.

Etapas final del TFG

Lo referente a la entrega del informe completo con sus respectivas correcciones y a la defensa pública ante el Tribunal de Graduación.

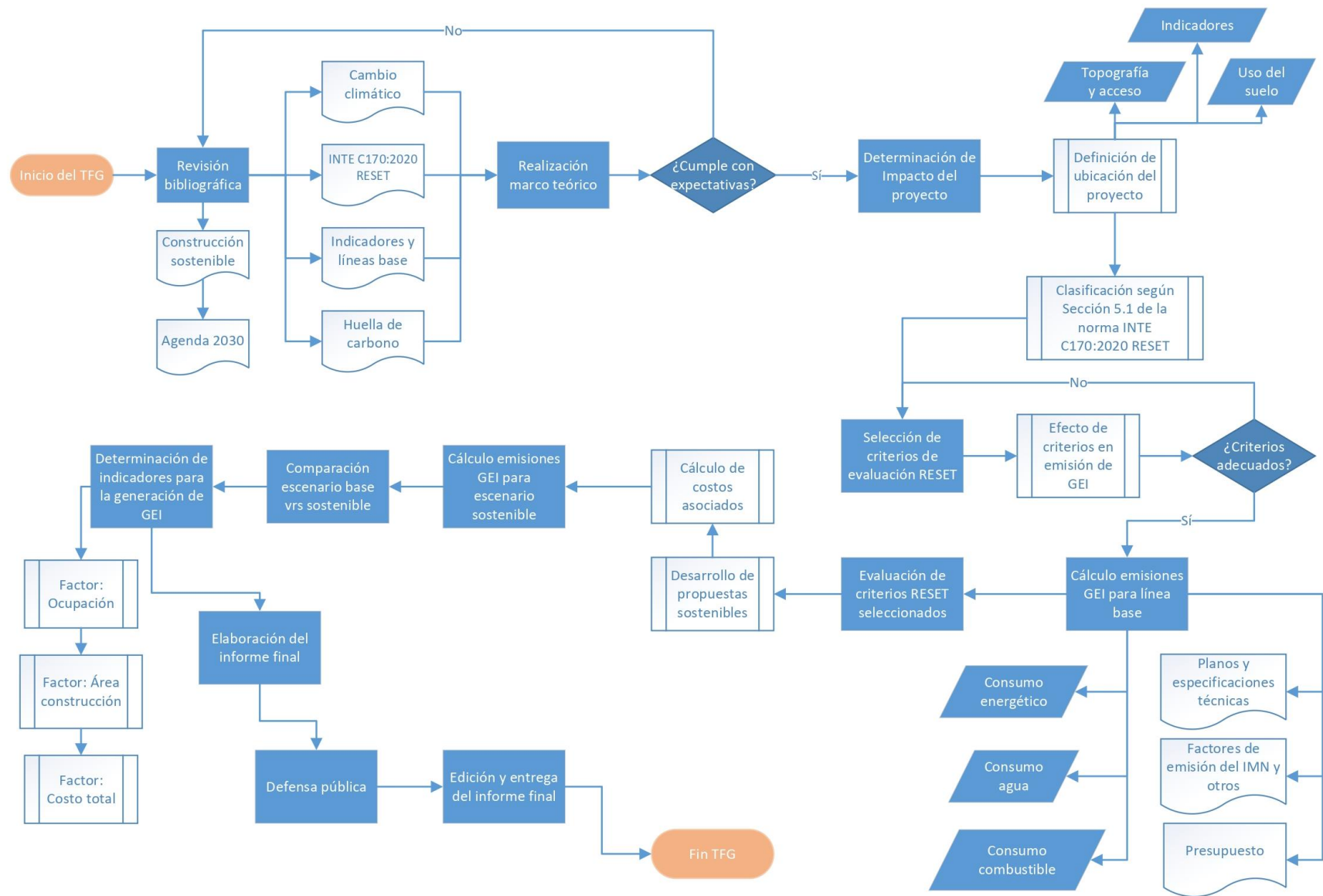


Figura 1. Diagrama de flujo para la metodología del TFG

1.6 Determinación del impacto del proyecto

Como se ha mencionado anteriormente, la norma RESET establece cuatro distintas categorías para clasificar el impacto que tiene el proyecto según la dimensión y naturaleza del lugar donde se inserta. Estas categorías se definen como alto, medio, bajo e interés social, siendo esta última aplicable para proyectos de bien social.

Es necesario contar previamente con la categoría de impacto, para la implementación de la norma e identificación de los criterios de evaluación aplicables al proyecto. Para ello, se aplican las tablas presentes en el Cuadro 1 y Cuadro 2 según las características de la obra, siendo una de las más importantes la localización; sin embargo, al ser un edificio prototipo del BCCR se carece de ésta y se establece como un supuesto para efectos de la presente investigación.

Para la escogencia del terreno, se analizó el cumplimiento de ciertas condiciones que permitan hacer realizable el proyecto dentro de este; entre ellas, un uso del suelo mixto (residencia y comercio), topografía con pendientes leves y con fácil acceso, dentro de una zona completamente urbanizada con un índice de desarrollo humano medio-alto, considerablemente lejos de una zona protegida o ambientalmente frágil, y que posea un área que sea igual o mayor al área de la huella del edificio.

De esa manera, dichas características permiten contextualizar la edificación bajo un ambiente específico, pero a la vez muy común para proyectos de naturaleza comercial y habitacional como lo representa el edificio prototipo en estudio.

Por lo tanto, la ubicación del edificio será dentro de la Gran Área Metropolitana (GAM), en el cantón de Goicoechea, en el distrito de San Francisco, en un terreno con un área de 2 025 m². La Figura 2 muestra la ubicación del terreno supuesto.

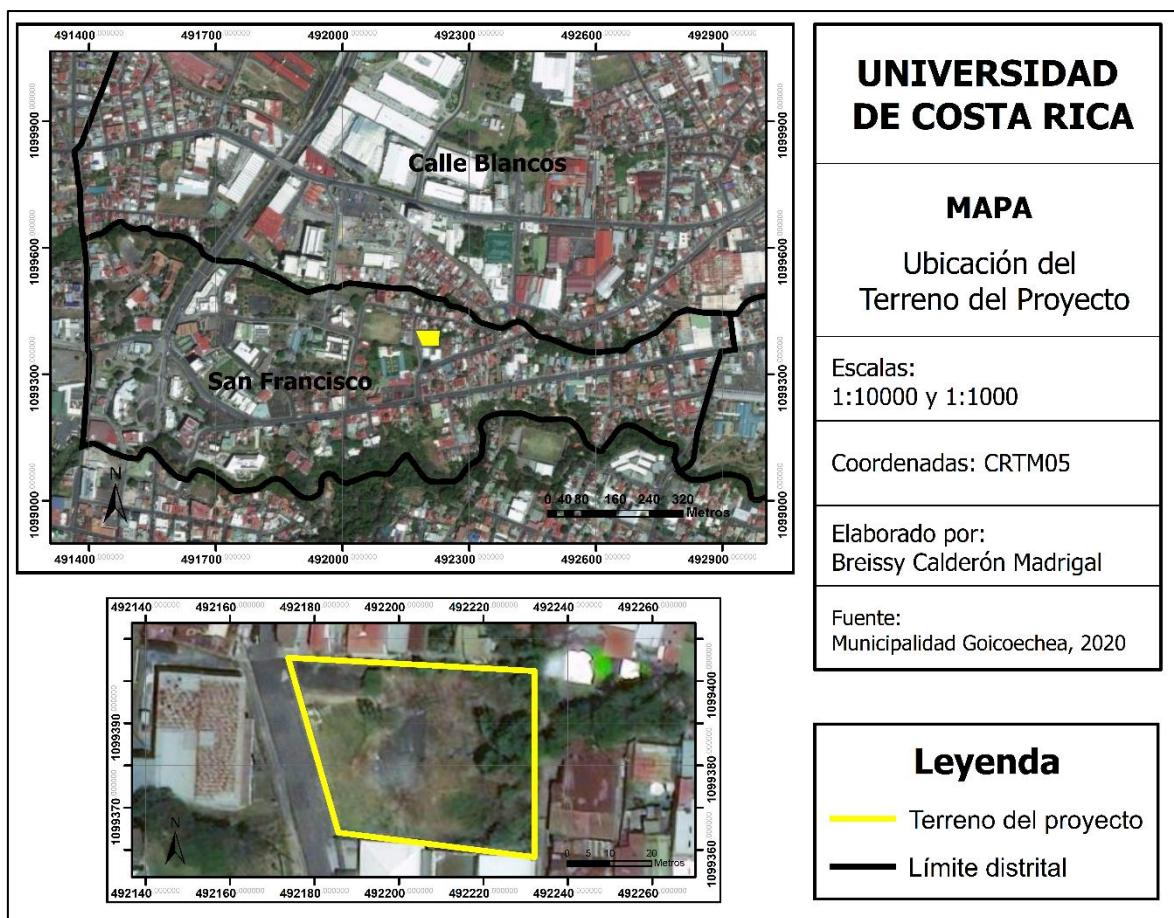


Figura 2. Ubicación del terreno supuesto para el proyecto

1.6.1 Categoría de impacto del edificio prototipo

En este apartado, se presenta el cuadro de categoría de impacto con la calificación obtenida en cada criterio. Esto se muestra en el Cuadro 3 el cual refleja un puntaje total de 34, lo que significa que el proyecto clasifica dentro de un impacto medio (Cuadro 2).

Cuadro 3. Calificación del edificio prototipo según tabla de categoría de impacto

	Criterios	Parámetros	Puntos	Calificación
1	Nivel de desarrollo económico del entorno (Conforme con el Índice de Desarrollo Humano PNUD-ONU).	Más de 0,875	1	
		0,750 a 0,875	2	2
		0,625 a < 0,750	3	
		0,500 a < 0,625	4	
		< 0,500	5	
2	Tipo de área (conforme a las estadísticas oficiales).	Ciudad 250 000 o más personas	1	

	Criterios	Parámetros	Puntos	Calificación
		Ciudad 50 000 a > 250 000 personas	2	
		Pueblo 10 000 a > 50 000 personas	3	
		Comunidad 1 000 a >10 000 personas	4	4
		Rural	5	
3	Relación del terreno con recursos de interés natural: bosques, cuerpos de agua, elementos especiales del paisaje.	No afecta recursos de interés natural	1	
		Presenta un 25 % de cobertura con áreas de interés natural	2	
		Presenta un 50 % de cobertura con áreas de interés natural	3	
		Presenta un 75 % de cobertura con áreas de interés natural	4	4
		Presenta un 100% de cobertura con áreas de interés natural	5	
4	Densidad de habitantes en la zona (conforme a las estadísticas oficiales).	250 hab/ha o más	1	
		150 hab/ha a <250 hab/ha	2	
		100 hab/ha a <150 hab/ha	3	
		50 hab/ha a <100 hab/ha	4	
		0 hab/ha a < 50 hab/ha	5	5
5	Cobertura de la edificación en el lote (áreas impermeabilizadas).	20 % del área o menos	1	
		21 % a 40 % del área	2	2
		41 % a 60 % del área	3	
		61 % a 80 % del área	4	

	Criterios	Parámetros	Puntos	Calificación
		81 % a 100 % del área	5	
6	Tamaño de la edificación, indique los metros cuadrados (m ²) de la edificación.	muy pequeña: 120 m ² o menos	1	
		pequeña: 121 m ² a 300 m ²	2	
		mediana: 301 m ² a 1 000 m ²	3	
		grande: 1 001 m² a 5 000 m²	4	4
		muy grande: más de 5 000 m ²	5	
7	Vida útil de la edificación, indicado en número de años.	Más de 71 años	1	1
		De 61 a 70 años	2	
		De 51 a 60 años	3	
		De 41 a 50 años	4	
		menos de 40 años	5	
8	Tipos de uso.	Residencial - unifamiliar	1	
		Pequeño hotel/ <i>lodge</i> /hostal		
		Espacio público exterior (parques lugares de reunión)	2	
		Estacionamientos de un piso		
		Teatros, cines, templos/ comercio/restaurantes/académico	3	3
		Edificio de estacionamiento		
		Uso mixto (excluidos usos del 4 y 5)		

	Criterios	Parámetros	Puntos	Calificación
		Desarrollo hotelero	4	
		Público institucional		
		Centros comerciales		
		Desarrollo hotelero > 50 habitaciones		
		Condominio / multifamiliar		
		Industrial	5	
		Hospital/clínica		
9	Cercanía a áreas protegidas (AP) o con declaratoria de fragilidad ambiental	A más de 500 m del AP o zona de fragilidad ambiental	1	
		Entre 250 m y 499 m del AP o zona de fragilidad ambiental	2	
		Entre 50 m y 249 m del AP o zona de fragilidad ambiental	3	3
		Contiguo al límite del AP o zona de fragilidad ambiental	4	
		Dentro del AP o zona de fragilidad ambiental	5	
10	Cantidad de habitantes o usuarios en ocupación plena dentro del proyecto	6 personas o menos	1	
		7 a 50 personas	2	
		51 a 200 personas	3	3
		201 a 500 personas	4	
		501 o más personas	5	

	Criterios	Parámetros	Puntos	Calificación
11	Volumen de movimientos de tierra fuera del proyecto	200 m ³ o menos	1	
		201 m ³ a 1 000 m ³	2	
		1 001 m³ a 5 000 m³	3	3
		5 001 m ³ a 20 000 m ³	4	
		Más de 20 000 m ³	5	
	Total			34

Fuente: (INTECO, 2020)

Modificado por: (Calderón, 2022)

Según indica la norma RESET, para la comprobación del puntaje obtenido se debe justificar de manera pertinente y presentar las evidencias correspondientes en cada resultado. Por lo tanto, seguidamente se muestra la información que respalda las distintas puntuaciones del Cuadro 3 y en el apartado 11.1 de la sección de ANEXOS, se presentan las evidencias que solicita el departamento de evaluación de la norma RESET para comprobar la categoría de impacto resultante.

El primer criterio consiste en analizar el nivel de desarrollo económico del entorno, para ello se obtuvo el Índice de Desarrollo Humano (IDH) en el cantón de Goicoechea, el cual es de 0,817, según registra el Atlas del Desarrollo Humano Cantonal para el 2019 (PNUD, 2019).

Para el segundo criterio se requiere identificar el tipo de área según la cantidad de habitantes. Usando los datos oficiales del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) (2021) el distrito de San Francisco tiene una población de 2 408 al año 2021, por lo que clasifica como comunidad según el Cuadro 3.

El tercer criterio pretende analizar la relación del terreno con recursos de interés natural. A pesar de ubicarse en una zona completamente urbanizada, el área está cubierta de vegetación, permaneciendo principalmente césped, arbustos y árboles de pequeña altura, por lo que deben ser considerados según la norma RESET ya que terminan afectados con la construcción de manera directa o indirecta. Esta vegetación representa alrededor del 75 % del área total del terreno.

Para el cuarto criterio se necesita obtener la densidad de habitantes en la zona. Se consultan los datos del INEC (2018) y se obtiene para el distrito de San Francisco una densidad poblacional de 4 140,4 habitantes por kilómetro cuadrado, lo que equivale a 41,40 habitantes por hectárea.

El quinto criterio consiste en determinar la cobertura de la edificación en el terreno, resultando ser de 37 %. Ya que el área impermeabilizada es de 744 m², mientras que el área total del terreno es de 2 025 m².

En el sexto criterio se requiere conocer el tamaño de la edificación. En este caso la norma RESET considera el área de la edificación como la suma de las áreas de cada nivel y parqueos que se encuentren bajo techo (INTECO, 2020). Por lo tanto, se consultan los planos arquitectónicos disponibles del proyecto y se obtiene un área de 1 465 m².

El séptimo criterio consiste en determinar la vida útil del edificio, esta se obtuvo consultando el Manual de Valores Base Unitarios por Tipología Constructiva del (Ministerio de Hacienda, 2019), ya que contiene una descripción detallada de cada tipo de construcción, instalación y obra complementaria con respecto a sus componentes, vidas útiles y valores.

El uso de la edificación es residencial y comercial, ya que contiene departamentos, locales comerciales y oficinas; por lo tanto, no se puede analizar una única tipología. Se evalúan las tipologías de "Edificio de Apartamentos" y "Edificio de Oficinas", ya que son los usos con mayor incidencia en el proyecto. Tras dicha valoración, se seleccionan las clases AP03 y EO02, (como los nombra el manual) de cada tipología respectivamente. Estas construcciones resultaron tener las características estructurales y arquitectónicas más similares con respecto al edificio prototipo, su vida útil es de 95 y 100 años respectivamente. Por lo tanto, se decide usar el promedio de estas y la vida útil del edificio prototipo resulta en 97,5 años.

Para el octavo criterio se debe identificar el tipo de uso del edificio, el cual es residencial y comercial. Se consultó el Plan Regulador de la Municipalidad de Goicoechea, y el terreno se encuentra en la zona comercial –residencial- industrial (por sus siglas ZC-RI), la cual, tiene como propósito permitir darle continuidad al hábitat residencial actual, que se entremezcle con comercios y servicios, incluyendo talleres e industrias con molestias confinables (Municipalidad de Goicoechea, 2020). De esta manera, el uso del suelo mixto coincide con los fines del edificio prototipo.

El noveno criterio analiza la cercanía del terreno, con respecto a las áreas protegidas o con declaratoria de fragilidad ambiental. Se identificó el área de protección de la quebrada permanente Cangrejos, la cual se encuentra a un radio de 100 m con respecto al terreno. Cabe resaltar que también se encuentra el área de protección del río Torres a un radio de 210 m, sin embargo, la quebrada al encontrarse más cerca incide mayoritariamente en el criterio.

El décimo criterio, consiste en cuantificar la cantidad de habitantes o usuarios en ocupación plena dentro del proyecto. Para ello se hizo una estimación por piso según sea el tipo de uso, resultando un total de 121 ocupantes.

El primer nivel contiene 3 locales comerciales de 55 m² cada uno, por lo tanto, se calculó una ocupación de 19 personas por local y un total de 8 personas para los restantes aposentos, como lo son la recepción, el comedor, la oficina y dos bodegas.

El segundo nivel es destinado para un centro de llamadas de atención al cliente, y su distribución arquitectónica contiene la cantidad de mobiliario utilizado por los trabajadores. De esta manera es posible cuantificar el total de ocupantes, siendo el resultado de 42 personas.

El tercer nivel está compuesto de dos apartamentos y cada uno posee una habitación grande para dos personas y una habitación pequeña para una persona. Por lo tanto, se estiman 3 usuarios residentes y se suponen 2 visitantes por apartamento, resultando un total de 10 personas para este nivel. De igual forma, el cuarto nivel se destina para uso residencial, sin embargo, su distribución arquitectónica contiene un único apartamento con una habitación doble, por lo tanto, su ocupación es para 2 residentes y con la suposición de 2 visitantes.

Y para el quinto nivel se calculó una capacidad de 14 usuarios, donde ocho son los mismos residentes del edificio que tienen acceso a esta área y seis sus respectivas visitas. Sin embargo, esta cantidad de ocupantes no suma al total dado que ya se han considerado en los niveles anteriores.

Por último, el undécimo criterio consiste en determinar el movimiento de suelo fuera del proyecto. Para el cálculo únicamente se contempla el volumen correspondiente al sótano del edificio y sus rampas de acceso, ya que tal corte de terreno no será destinado como relleno dentro del proyecto. Además, no se contempla la remoción de la capa vegetal ya que este material sí puede ser utilizado posteriormente. Por lo tanto, el volumen es de 1 990 m³.

1.7 Selección de los criterios de evaluación de la norma RESET

Es necesario identificar aquellos criterios de la norma RESET que tienen un impacto en la emisión de los GEI para generar la línea base en emisiones del edificio en estudio y cuantificar su disminución con la aplicación de los mismos. Por esa razón, en esta sección se mencionan los criterios seleccionados en cada apartado de la norma y su influencia en la edificación para disminuir su huella de carbono.

Para definir los criterios, primero se escogieron aquellos aplicables en la etapa de diseño y correspondientes a la categoría de impacto medio según lo establece la norma RESET. Luego se procede a identificar aquellos que contribuyen únicamente en la reducción de los GEI, analizando la pertinencia que tiene el tema en estudio con el objetivo, el concepto y el valor de referencia de los criterios descritos en la Norma.

Cabe señalar que no se obedece con lo estipulado por la norma RESET en cuanto al cumplimiento del 70 % mínimo de criterios aplicables en cada apartado, o con el cumplimiento de aquellos que se consideran ineludibles; dado que se prioriza la variable de disminución de GEI para la escogencia de los criterios que evaluarán el edificio.

El Cuadro 4 resume la cantidad total de criterios que posee cada uno de los apartados de la norma RESET, así como los que aplican para el proyecto en la categoría naranja y etapa de diseño y, de estos, los que fueron seleccionados para evaluar el impacto en la huella de carbono del edificio. Se puede observar que, de un total de 120 criterios de la norma, solo 80 clasifican dentro de la categoría de impacto naranja del edificio y de estos solo 35 fueron los escogidos para evaluar la incidencia en las emisiones de GEI del proyecto. Así mismo, el Cuadro 5 describe cada uno de estos 35 criterios seleccionados citados de la misma forma en que lo hace la norma.

Cuadro 4. Cuantificación de los criterios de la norma RESET aplicables al proyecto

Apartado	Total de criterios	Total de criterios que aplican	Total de criterios seleccionados
Calidad y bienestar espacial	27	22	12
Entorno y transporte	24	17	3

Apartado	Total de criterios	Total de criterios que aplican	Total de criterios seleccionados
Aspectos socioeconómicos	11	3	0
Suelos y paisajismo	19	12	4
Materiales	15	9	7
Optimización en el uso del agua	15	10	4
Optimización de la energía	9	7	5
Total	120	80	35

Cuadro 5. Criterios de la norma RESET seleccionados

Apartado	N° criterio	Descripción del criterio
Calidad y bienestar espacial	6.1.5	El diseño utiliza estrategias pasivas
	6.1.6	Se emplaza el edificio de manera que se optimizan el soleamiento y vientos predominantes para su climatización pasiva
	6.1.7	Se utiliza la sombra como acondicionador climático para lograr una penumbra interior confortable
	6.1.8	Se utilizan elementos de fachada, cubiertas de techo y aleros que mitiguen el efecto del sol, el calor, el viento, el ruido y la humedad ambiental
	6.1.10	Se utiliza vegetación para mitigar los efectos de temperatura, humedad y contaminación
	6.1.12	Se reduce el efecto isla de calor

Apartado	N° criterio	Descripción del criterio
	6.1.15	En los casos en los que el diferencial diario de temperatura lo favorezca, se utiliza el concepto de masa térmica
	6.1.16	En los casos en los que el clima no permita confort en forma pasiva se prefiere el uso de ventiladores mecánicos como ayuda para generar ventilación en los espacios
	6.1.17	Se utiliza equipo eficiente en consumo de energía y que minimice la emisión de agentes contaminantes
	6.1.18	El diseño considera el ingreso de luz natural excluyendo la penetración directa de la luz solar
	6.1.19	Se propicia el confort mediante la ventilación natural
	6.1.25	Se provee a los ocupantes de un fácil acceso para controlar la temperatura y la ventilación de los espacios
Entorno y transporte	6.2.11	Se controlan la reflectividad y las emisiones de luz excesiva con materiales y soluciones que no trastornan los hábitats existentes y la vida en los entornos urbanos
	6.2.19	Se cuenta con acceso a medios de transporte colectivo para usuarios
	6.2.22	Se favorece el uso de automóviles con tecnologías de baja emisión y eficiencia energética
Suelos y paisajismo	6.4.1	El sistema de cimentación minimiza la necesidad de sustituir el suelo en general
	6.4.2	Se reduce o evita la remoción de tierra, nivelación e intervención del terreno natural
	6.4.18	Se establecen y utilizan especies adaptadas al régimen pluvial del lugar

Apartado	N° criterio	Descripción del criterio
	6.4.19	Se utilizan riego eficiente, aguas tratadas o cosecha de lluvia
Materiales	6.5.4	Se diseña de manera modular, reduciendo desperdicio (Se recomienda consultar la normativa nacional vigente de coordinación modular)
	6.5.5	Se utilizan sistemas constructivos livianos no estructurales que representan reducción de peso de la edificación kg/m ²
	6.5.6	Se utilizan materiales con contenido reciclado o reciclable, reduciendo la demanda de materias primas
	6.5.10	Se incorporan estrategias para proteger las partes expuestas del edificio y materiales que disminuyen su cambio frecuente
	6.5.11	La superficie expuesta de los materiales son de bajo mantenimiento y fácil limpieza
	6.5.12	Los materiales y productos de construcción utilizados son preferiblemente extraídos, cosechados, fabricados y/o manufacturados en el país
	6.5.13	Los materiales tienen certificación ambiental de tercera parte, emitida por entes acreditados. Los proveedores cuentan con un reconocimiento o certificación ambiental
Optimización en el uso del agua	6.6.1	Se reduce el uso de agua potable mediante estrategias de captación y reúso
	6.6.2	Se reduce el consumo de agua potable captando agua de lluvia
	6.6.3	Se utilizan piezas sanitarias, griferías y accesorios eficientes en el consumo de agua

Apartado	N° criterio	Descripción del criterio
	6.6.6	En caso de no contar con red de alcantarillado sanitario ni planta de tratamiento, se utiliza un sistema mejorado para el tratamiento individual de aguas residuales
Optimización de la energía	6.7.2	Se calienta el agua con fuentes de energía limpia, distinta de la red nacional
	6.7.3	Se diseñan espacios para el secado de ropa en forma pasiva
	6.7.4	Se utiliza equipo que cumple con normativa vigente de eficiencia energética
	6.7.5	Se cuenta con dispositivos para control de consumo pasivo
	6.7.6	Se diseñan los circuitos de iluminación artificial de acuerdo con el aporte de iluminación natural

2 CAPÍTULO 2 - CALIDAD Y BIENESTAR ESPACIAL

El presente capítulo planteó diferentes propuestas de acuerdo con los requisitos solicitados por la norma RESET en cada uno de sus criterios. Se escogieron 12 criterios que inciden de manera directa e indirecta en la disminución de la huella de carbono del edificio y se presentó una misma línea base de emisiones para todos.

En la línea base se calcularon las emisiones de CO_{2e} vinculadas con el consumo energético por el uso de aires acondicionados, mientras que la línea sostenible tuvo una huella de cero emisiones relacionadas con el enfriamiento artificial del edificio, ya que se propuso eliminar el 100 % de los aires acondicionados y en su lugar implementar las estrategias pasivas que solicita la norma RESET en sus criterios, las cuales garantizan un edificio confortable sin acudir a altos consumos energéticos.

Las estrategias que se presentan pueden estar asociadas a uno o más criterios de la norma dado que varios comparten el mismo objetivo, además, se indica para cada una, el costo que representó su implementación.

2.1 Línea base de emisiones

Se consultaron los planos eléctricos del proyecto para conocer el tipo de aire acondicionado contemplado, este consiste en un sistema centralizado que distribuye el aire a través de ductos en todo el edificio.

A través de los planos eléctricos se conocieron las áreas del edificio que cuentan con enfriamiento artificial y con ello se obtuvo la demanda de enfriamiento por aposento y la demanda total que requiere la edificación. Estos datos se pueden ver en el Cuadro 6, resultando una demanda de enfriamiento total de 950 786 BTU/h.

Para calcular la capacidad refrigerante requerida se aplicó una fórmula empírica (ecuación 1) utilizada por profesionales en el campo, ya que brinda resultados muy cercanos a aquellos calculados mediante un software especializado. Posteriormente se realizó la conversión de toneladas de refrigerante a unidades de BTU/h.

$$TR = \frac{A}{18} \quad [1]$$

Donde:

TR: Toneladas de refrigerante [t]

A: Área del espacio por enfriar [m²]

Cuadro 6. Demanda de enfriamiento por aposentos del edificio

Piso	Tipo de uso	Zona con AC	Área (m ²)	Refrigerante (t)	BTU/h
Sótano	Bodegas	Bodega 1	20	1,11	13 333
		Bodega 2	20	1,11	13 333
	Parqueo		365	20,28	243 333
1	Comercial	Local 1	55	3,06	36 667
		Local 2	55	3,06	36 667
		Local 3	55	3,06	36 667
		Recepción/Vestíbulo	30	1,67	20 000
		Oficina	9	0,48	5 744
2	Call center	Oficinas	220	12,22	146 667
3	Apartamento 1	Dormitorio principal	13	0,71	8 495
		Dormitorio sencillo	14	0,80	9 554
		Pilas	8	0,47	5 655
		Cocina	19	1,04	12 500
		Sala comedor	25	1,39	16 667
	Apartamento 2	Dormitorio principal	13	0,71	8 495
		Dormitorio sencillo	14	0,80	9 554
		Pilas	8	0,47	5 655
		Cocina	19	1,04	12 500
		Sala comedor	25	1,39	16 667
Zona común		30	1,67	20 000	
4	Apartamento	Dormitorio principal	25	1,39	16 667
		Closet	5,7	0,32	3 800
		Cuarto de estudio	18	1,01	12 167
		Sala de juegos	30	1,67	20 000
		Cocina	25	1,39	16 667
		Comedor	30	1,67	20 000
		Sala de estar	25	1,39	16 667
		Terraza cubierta	30	1,67	20 000
5	Gimnasio residentes y zona BBQ		220	12,22	146 667
Total				79,23	950 786

Después, se encontró un equipo que cumpliera con la capacidad requerida y se consultó su ficha técnica para conocer el consumo energético. De acuerdo con el Cuadro 7, el equipo escogido tiene una potencia de 50 Hp y una capacidad de 478 000 BTU/h, además, se muestra

el consumo energético por enfriamiento y por el compresor, que son los procesos que más demanda energética conllevan.

Cuadro 7. Características técnicas del equipo de enfriamiento escogido

Características técnicas del equipo	Valor
Potencia (Hp)	50
Capacidad de enfriamiento (BTU/h)	478 000
Consumo de energía por enfriamiento (kW)	33,9
Potencia de salida del motor del compresor (kW)	28,9

Fuente: (Daikin, 2016)

Se decidió instalar dos equipos para cumplir con el enfriamiento requerido, además porque el proveedor consultado no cuenta con dicha capacidad usando solo uno. De esta manera, se obtienen un total de 956 000 BTU/h y un consumo de energía total de 125,6 kW, véase el Cuadro 8.

Se supuso un tiempo de consumo de ocho horas diarias durante todo el año, aunque sea probable que en época lluviosa disminuya, pero no se tiene certeza de ello, por lo tanto, se asumió la posición de mayor consumo. Además, se consideraron ocho horas para reflejar el promedio de uso en los locales comerciales y las oficinas durante el tiempo de trabajo y el promedio de uso de los residentes de los apartamentos. Esto significó un consumo de energía anual de 366 752 kW-h.

Cuadro 8. Consumo de energía anual por el uso de aire acondicionado en el edificio

Parámetro	Valor
Capacidad de enfriamiento requerida (BTU/h)	950 786
Capacidad de enfriamiento de 2 equipos (BTU/h)	956 000
Consumo de energía por enfriamiento de 2 equipos (kW)	67,8
Potencia de salida del motor de 2 compresores (kW)	57,8
Consumo de energía total (kW)	125,6
Tiempo de consumo diario (h)	8
Tiempo de consumo anual (h)	2 920
Consumo de energía anual (kW-h)	366 752

Conociendo el consumo energético en el tiempo se pudo calcular la huella de carbono aplicando el factor de emisión según el IMN (2021), resultando un total de 10,34 t CO_{2e} de acuerdo con el Cuadro 9.

Cuadro 9. Huella de carbono total del Capítulo 2 - Calidad y bienestar espacial para la línea base

Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Consumo de energía anual	kW – h	366 752	
Factor de emisión	kg CO _{2e} /kW – h	0,0282	Fuente: (IMN, 2021)
Emisiones al año	kg CO _{2e}	10 342	
Huella de carbono total anual (t CO_{2e})			10,34

2.1.1.1 Costos asociados

El costo del aire acondicionado y su instalación es de 86 189 284 colones de acuerdo con el presupuesto y reajustado a junio 2022.

Cuadro 10. Costo del aire acondicionado instalado en el edificio según presupuesto

Insumo	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
Sistema completo de aire acondicionado, con condensador central en el último nivel y tubería para salida, condensadores, chriller y controles, incluye instalación	m ²	1000	₡ 86 189	₡ 86 189 284
Costo total				₡ 86 189 284

2.2 Evaluación de los criterios RESET

Esta sección describe las estrategias propuestas para evaluar los criterios de la norma RESET, las cuales se enfocaron en mantener el confort de los ocupantes a través de métodos pasivos que no incluyan altos consumos de energía.

2.2.1 Ventilación natural

Una estrategia de ventilación natural diseñada correctamente puede mejorar el confort de los ocupantes al proporcionarles acceso a aire fresco y reducir la temperatura, de esta manera se demanda menor carga de refrigeración lo que reduce el consumo energético y los costos asociados.

Para lograr una ventilación natural se debe tomar en consideración la profundidad, ancho y altura del aposento, así como la cantidad y ubicación de sus aberturas. Para evaluar si las aberturas de una pared reúnen o no los requisitos para ventilación natural, se debe calcular la

proporción de vidrio en la fachada exterior de esa pared en particular. La Guía del usuario de EDGE V. 2.1 menciona que la superficie de la ventana debe representar como mínimo un 10 % de la superficie de la pared para contarse como una abertura de ventilación natural (EDGE, 2018). De igual forma, en el Estándar ANSI/ASHRAE 62.1-2007 se detalla que los espacios naturalmente ventilados deberán estar permanentemente abiertos al exterior a una distancia de ocho metros de un muro o de una abertura en los techos y el área de apertura debe ser mínimo el 4 % del área del piso neto ocupable (ASHRAE, 2009).

El edificio prototipo tiene grandes ventanales en sus fachadas, principalmente las orientadas al Norte, Este y Oeste, mientras que la cara Sur solo cuenta con ventanales en el nivel cinco. Esto se puede observar en la Figura 3 y la Figura 4, no se proporciona la fachada Sur ya que no se cuenta con esta.

Como se puede notar, las ventanas de mayor tamaño son herméticas sin ninguna posibilidad que ingrese aire fresco, mientras que las ventanas elevadas más pequeñas son corredizas. Por lo tanto, se propuso modificar las ventanas agregando apertura de tipo corrediza, abatible o proyectable según se requiera (Figura 5) y a la vez se provee al usuario el acceso de controlar la ventilación en sus espacios.



Figura 3. Elevación principal del edificio

Fuente: (BCCR, 2015)



Figura 4. Elevación posterior del edificio

Fuente: (BCCR, 2015)

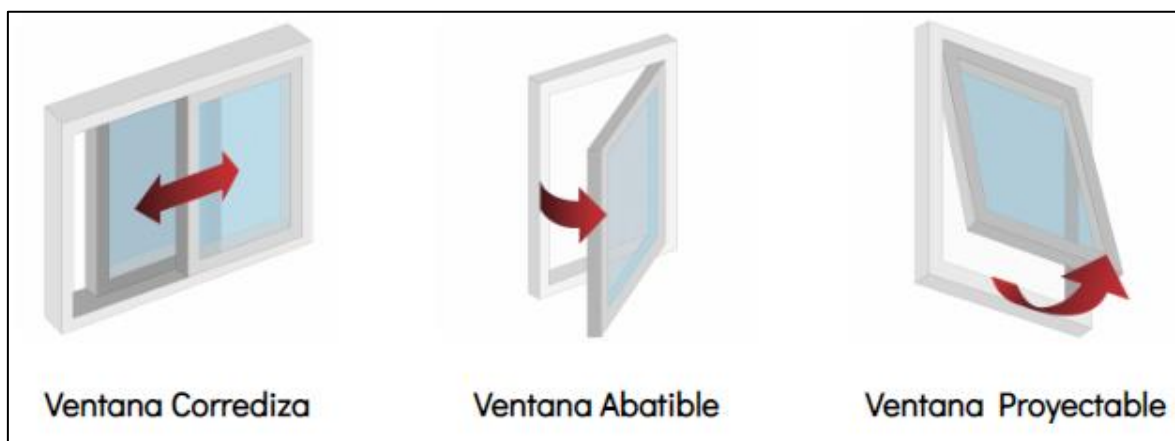


Figura 5. Tipos de aperturas de ventana

Fuente: (EXTRALUM, 2020)

Por otra parte, EDGE (2018) indica los espacios que deben tener ventilación natural según el tipo de edificación (Cuadro 11). Tomando esto de referencia se analizaron los espacios en cada nivel del edificio prototipo para verificar que cuenten con la ventilación y el porcentaje mínimo de área de ventana.

Cuadro 11. Espacios que requieren ventilación natural según el tipo de edificación

Tipo de edificio	Espacios que deben tener ventilación natural
Casas	Dormitorios, sala de estar, cocina

Tipo de edificio	Espacios que deben tener ventilación natural
Comercio	Pasillo, atrio y áreas comunes
Oficinas	Oficinas, pasillos y vestíbulo

Fuente: (EDGE, 2018)

En el primer nivel se recomendó agregar una ventana para el local comercial número uno y para el comedor. Debido a que el local solo tiene ingreso de aire por la entrada principal y el comedor no cuenta con ningún tipo de ventana, véase Figura 6.

En el segundo nivel se propuso agregar una ventana que sirva a la zona de oficina que limita con la fachada Sur lateral, esto dará mayor frescura a la zona a pesar de que ya cuenta con una ventana en su costado Este, véase Figura 7.

Por último, el nivel tres mantiene un diseño abierto para la cocina y la sala-comedor, y este último cuenta con una ventana grande, sin embargo, implementar una adyacente a la cocina daría mayor ventilación en la zona, véase Figura 8.

El siguiente Cuadro 12 expone el área de las nuevas ventanas cumpliendo el porcentaje mínimo de 10 % con respecto a la superficie de la pared. Además, cabe mencionar que, si se mantienen abiertas estas nuevas ventanas, así como las ya existentes junto a las puertas del primer nivel, se cumple con el porcentaje de apertura mencionado según el Estándar ASHRAE para una ventilación natural.

Cuadro 12. Área de las ventanas añadidas en los niveles uno, dos y tres del edificio

Espacio	Local 1	Comedor nivel 1	Oficinas nivel 2	Cocina nivel 3
Superficie de pared (m ²)	55	9,5	50	15
Área de ventana (m ²)	5,5	0,95	5	1,5

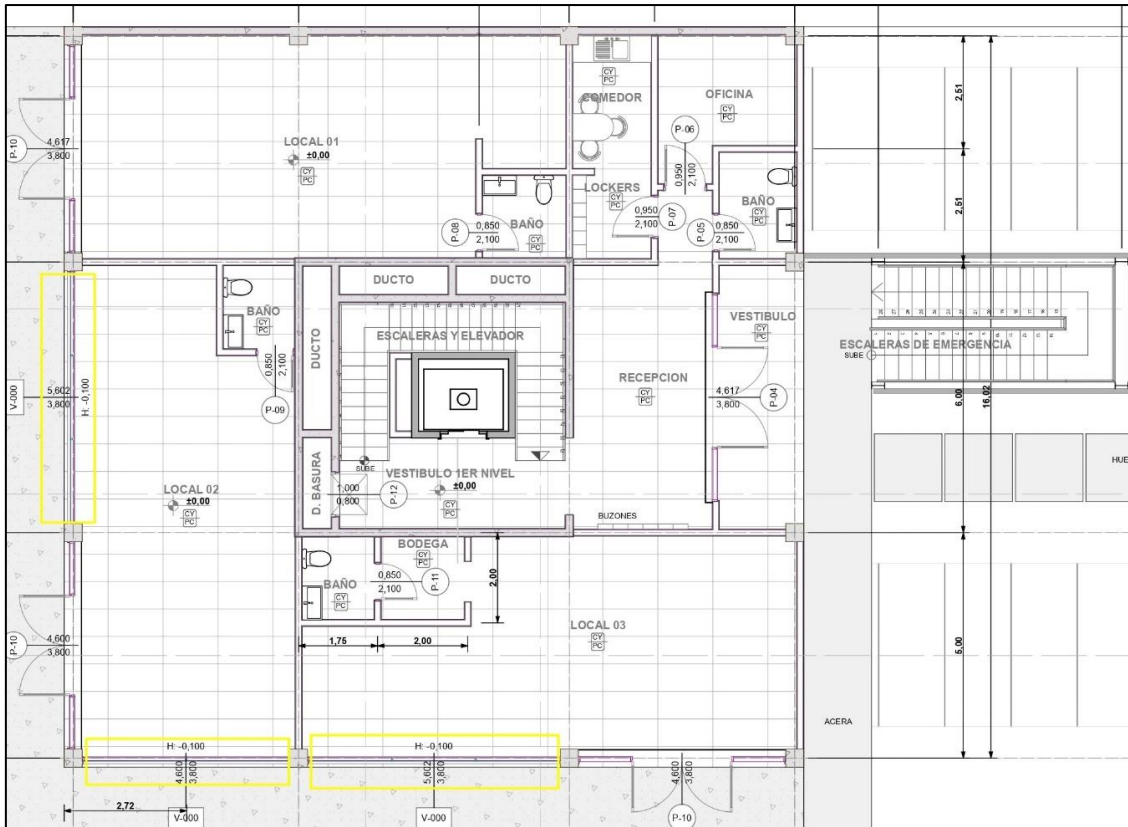


Figura 6. Ubicación de ventanas del primer nivel

Fuente: (BCCR, 2015)

Modificado por: (Calderón, 2022)

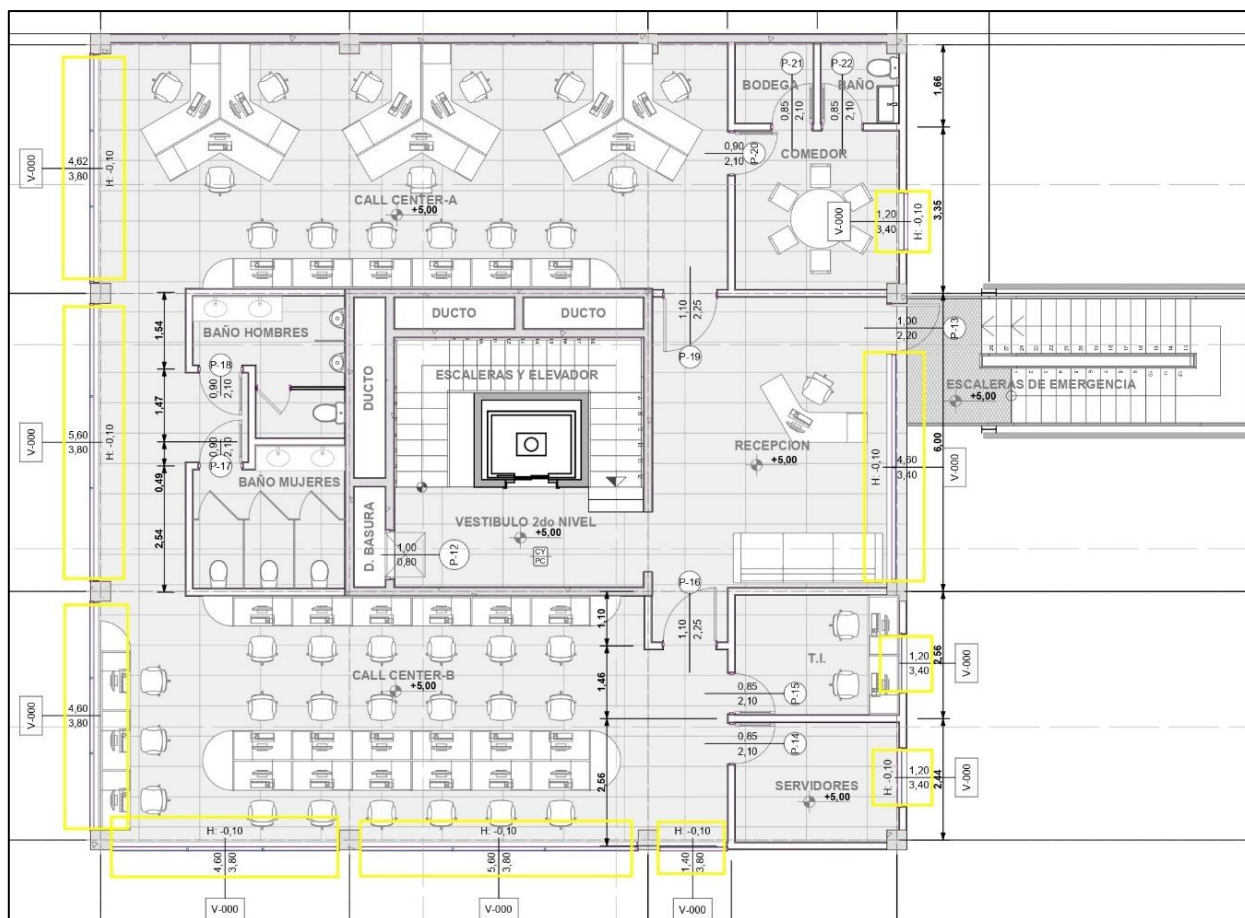


Figura 7. Ubicación de ventanas del segundo nivel

Fuente: (BCCR, 2015)

Modificado por: (Calderón, 2022)

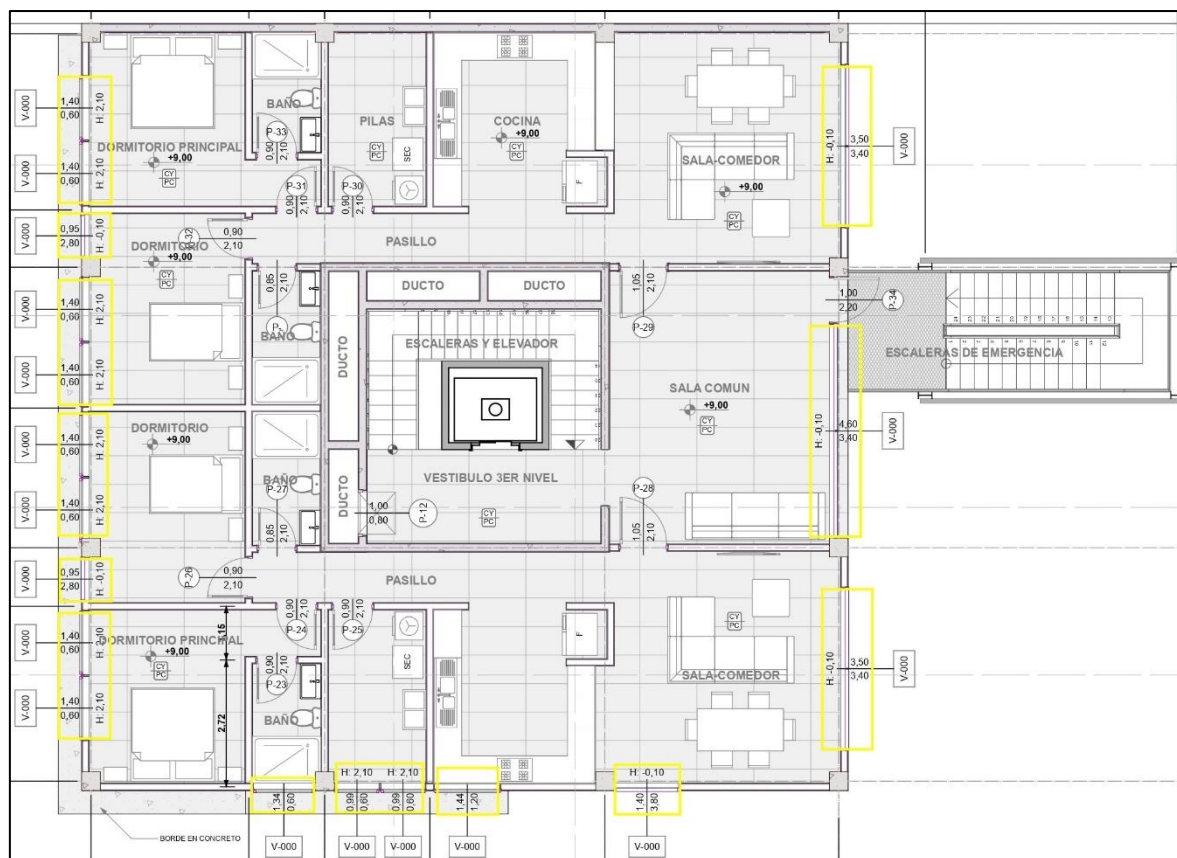


Figura 8. Ubicación de ventanas del tercer nivel




Fuente: BCCR, 2015

Modificado por: (Calderón, 2022)

Cumplir con el área requerida de ventana de acuerdo a las zonas que ameritan ventilación natural, no necesariamente garantiza un flujo de aire confortable para los usuarios. Es por eso que se deben posicionar las ventanas y su apertura considerando también la dirección predominante del viento y una ventilación de flujo cruzado.

El flujo cruzado es un sistema en el que el aire fresco entra desde el exterior al espacio ocupado y el aire de salida pasa por una ubicación diferente, tal como se explica en el Cuadro 13. Este tipo de sistemas resulta más eficaz si la temperatura del aire exterior no es ni muy caliente ni muy fría como sucede en climas templados (EDGE, 2018).

Cuadro 13. Tipos de ventilación natural

Tipo de ventilación	Imagen	Descripción
Ventilación por un solo lateral		<p>La ventilación por un solo lateral depende de las diferencias de presión existentes entre las distintas aberturas de un único espacio. Es más previsible y eficaz que si solo hay una abertura y, por lo tanto, puede utilizarse en espacios con una mayor profundidad. En aquellos espacios con una única abertura, la ventilación se produce por corrientes de turbulencia. Estas corrientes crean una acción de bombeo en la abertura única, lo que da lugar a pequeñas entradas y salidas de flujo. Como este es un método menos previsible, se reduce la profundidad alcanzada en las habitaciones con ventilación por un solo lateral y con una única abertura.</p>
Ventilación cruzada: Espacios únicos		<p>La ventilación cruzada de espacios únicos es el enfoque más simple y eficaz. La ventilación cruzada se produce mediante diferencias de presión entre los lados de barlovento y sotavento del espacio en cuestión.</p>
Ventilación cruzada: Espacios divididos		<p>Se puede conseguir una ventilación cruzada en las habitaciones divididas creando aberturas en el tabique del pasillo. Este método solo es aceptable en aquellos casos en que una habitación tiene acceso a los lados de barlovento y sotavento del edificio, ya que la ventilación del espacio de sotavento depende del ocupante del espacio de barlovento. Asimismo, las aberturas proporcionan una ruta de propagación del ruido entre los espacios.</p>

Fuente: (EDGE, 2018)

En la zona cercana a la ubicación del proyecto la dirección predominante del viento es hacia el Noreste y Este, de acuerdo con el registro anual (1999 a 2020) proporcionado por el IMN en la estación meteorológica 84141.

Por lo tanto, se puede lograr una ventilación cruzada en todos los niveles del edificio, principalmente en el segundo, cuarto y quinto nivel ya que son espacios con menos divisiones

internas y grandes aperturas en los lados de barlovento y sotavento, así como en los locales del primer nivel y pasillos del tercero. También habrá ventilación por un solo lateral en aquellos espacios más pequeños que tienen una ventana.

Esta estrategia abarcó los criterios 6.1.5, 6.1.6, 6.1.19 y 6.1.25, así citados en la norma RESET (véase Cuadro 26).

2.2.1.1 Costos asociados

En este caso se deben incluir los costos de las ventanas extras del nivel uno, dos y tres, y la diferencia por colocar ventanas con apertura en lugar de las propuestas en el diseño.

Sin embargo, estos costos se incluyen en la cotización realizada para el vidrio de control solar, el cual se sugiere en la siguiente propuesta, ya que su costo incluye el diseño de la ventanería con aperturas junto al vidrio especializado.

2.2.2 Vidrio de control solar

Como se ha visto, el edificio cuenta con gran cantidad de elementos vidriosos, esto permite una mayor iluminación natural, pero también aumenta la transferencia de calor hacia el interior, por eso, se debe encontrar un equilibrio donde se aproveche al máximo la luz natural sin que la ganancia de calor solar sea excesiva y genere un des confort en los usuarios.

Se planteó utilizar un vidrio de control solar, el cual integra una tecnología con capas invisibles de materiales especiales produciendo un doble efecto, permitir que cierta luz del sol atraviese el vidrio y a la vez reflejar gran parte de esta energía solar, además, suelen estar provistos de doble acristalamiento y por ende actúan como aislante térmico (Extralum, 2019). Con ello, el espacio interior permanece iluminado y se mantiene más fresco de lo que estaría sin se empleara un vidrio convencional. La Figura 9 provee una explicación gráfica del funcionamiento.

Según EDGE (2018) en climas donde el calor solar es indeseable debe usarse vidrio con un coeficiente de ganancia de calor solar (SHGC) bajo, el SHGC es la proporción de calor solar que el vidrio permite que ingrese al espacio interior. Al mismo tiempo debe preverse que la transmisión de luz no sea demasiado baja ya que reducirá la cantidad de luz utilizable que ingresa al espacio.

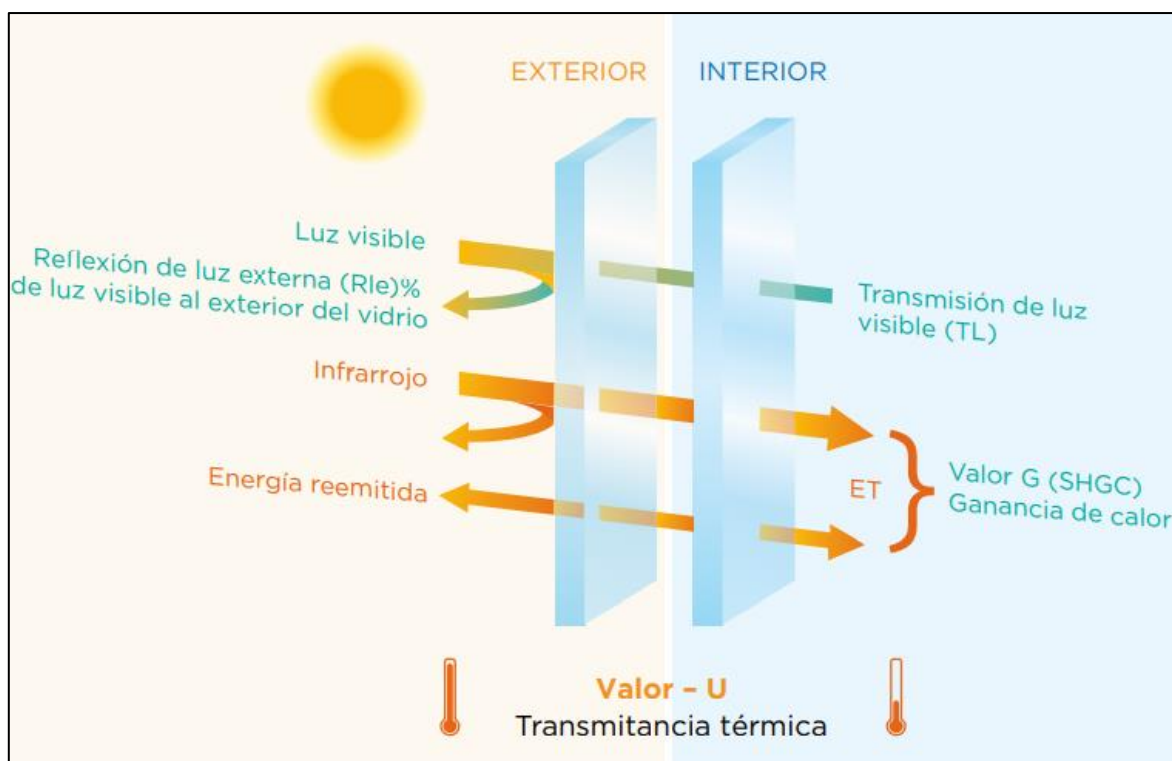


Figura 9. Funcionamiento del vidrio de control solar

Fuente: (Extralum, 2019)

El Cuadro 14 expone las características del vidrio escogido, para ello, se tuvo el asesoramiento de un agente de ventas de un proveedor nacional que consideró el diseño y ubicación del edificio. Se puede notar un SHGC de 0,26, lo que representa una baja transmisión de calor al interior logrando una luminosidad aproximada del 60 % para un vidrio de color neutro.

Los colores como el gris y plata presentaban un SHGC menor, pero con una luminosidad menor, mientras que colores verdes y neutrales tenían mayores capacidades de luminosidad y en consecuencia un mayor SHGC.

Cuadro 14. Características del vidrio de control solar escogido para el edificio

Característica del vidrio de control solar	Valor
Color	Neutro
Transmisión luminosa (%)	60
SHGC	0,26
Coefficiente de sombra	0,30
Reflexión de luz externa (%)	14,3

Característica del vidrio de control solar	Valor
Reflexión de luz interna (%)	16,6

Fuente: Extralum, 2019

Por otra parte, esta estrategia abarcó los criterios 6.1.5, 6.1.7, 6.1.8, 6.1.18 así citados en la norma RESET (véase Cuadro 26).

2.2.2.1 Costos asociados

Se presentan los costos relacionados con los cambios sugeridos, como lo es el uso de vidrio de control solar, mayor área de ventana en los niveles uno, dos y tres, y ventanales que tengan aperturas para lograr una mejor ventilación natural.

El costo unitario para el diseño original proviene del presupuesto y reajustado a junio 2022, mientras que la ventanería sugerida se cotizó con un proveedor nacional. Se nota un aumento significativo ya que el vidrio original presupuestado es básico y por ende su costo es mucho menor.

Cuadro 15. Costos de las propuestas de ventilación natural y vidrio de control solar versus costos originales

Insumo	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
Ventanería del diseño original				
Ventanería comercial, incluye instalación	m ²	503	₡ 69 869	₡ 35 126 111
Ventanería propuesta				
Vidrio de control solar, incluye instalación	m ²	516	₡ 176 850	₡ 91 199 777
Aumento de los costos				₡ 56 073 666

2.2.3 Parasoles

Los parasoles son elementos arquitectónicos que se instalan en las fachadas del edificio para protegerlo de la incidencia directa de la luz solar. Colaboran en la disminución de la temperatura interna del edificio y proporcionan una sombra que puede utilizarse como acondicionador climático para lograr una penumbra interior confortable.

Estos elementos pueden ser colocados de forma horizontal o vertical, depende de la orientación del edificio y el soleamiento. Se recomienda utilizar parasoles con sus lamas verticales en fachadas con vista hacia el Este y Oeste, ya que el sol se encuentra más bajo en comparación con el horizonte. Y para fachadas orientadas hacia el Sur, Sureste y Suroeste es más eficiente

utilizar parasoles horizontales donde el sol, inclusive en invierno, tiene mayor altura y las lamas al proteger desde arriba garantizan un mejor reparo frente a los rayos solares.

El edificio prototipo contiene gran cantidad de vidrio expuesto en su fachada, por lo tanto, se propuso instalar parasoles verticales en las caras que ven hacia el Este y Oeste, estas son la elevación principal y posterior respectivamente (véase Figura 3 y Figura 4).

Por otro lado, la Figura 10 y Figura 11 señalan en amarillo las áreas donde se colocarían las estructuras de los parasoles. Para la fachada Este se instalan en una ventana del segundo y quinto nivel, y para la fachada Oeste se colocan en ventanas desde el segundo hasta el quinto nivel. Las áreas restantes de vidrio expuestas serán protegidas con elementos de fachadas tipo jardín vertical que se detallará más adelante. Además, la ventanería del primer nivel no cuenta con este tipo de sistemas, pero cabe recordar que cuenta de igual forma con vidrio de control solar.

Cuadro 16. Áreas destinadas a parasoles en las fachada principal y posterior del edificio

Fachada	Área con parasoles (m²)
Elevación principal (Este)	35
Elevación posterior (Oeste)	128
Total	163

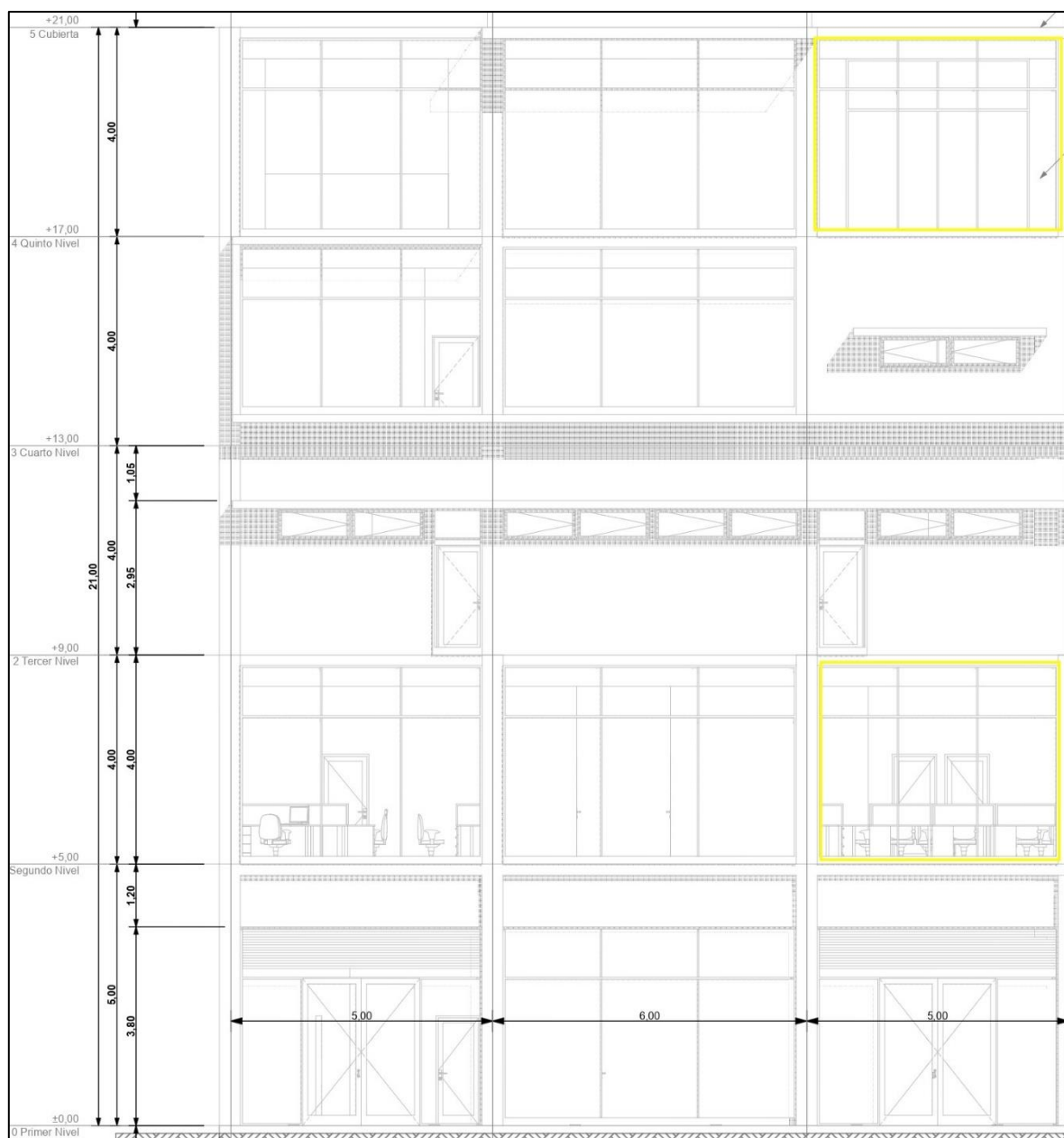


Figura 10. Área propuesta con parasoles en fachada Este

Fuente: (BCCR, 2015)

Modificador por: (Calderón, 2022)



Figura 11. Área propuesta con parasoles en fachada Oeste

Fuente: (BCCR, 2015)

Modificador por: (Calderón, 2022)

Para conseguir un uso eficiente de los parasoles se debe mantener un equilibrio entre el ingreso de luz y aire natural, el paisajismo y la protección contra el sol. Ya que se debe escoger una inclinación y separación de las lamas que permitan una defensa contra la radiación solar sin que esto disminuya significativamente la iluminación y ventilación natural, ni tampoco la visibilidad hacia el paisaje de los habitantes del edificio.

Por lo tanto, para escoger la dimensión, inclinación, longitud y separación de las lamas se debe considerar principalmente el soleamiento respectivo según la ubicación del proyecto, dirección predominante del viento y la cantidad de horas de incidencia solar en las distintas orientaciones del edificio.

A modo de referencia para esta propuesta, los parasoles se cotizaron con un proveedor nacional, y se escogieron parasoles ovalados con acabado en aluminio, con lamas de 200 mm de longitud, orientadas verticalmente y con soporte articulado para poder variar el ángulo de inclinación según se requiera. La Figura 12 muestra dos ejemplos con las lamas verticales y horizontales señalando el ángulo de inclinación (σ), la distancia entre lamas (D) y la longitud de la lama (L).

El principal factor que determina el ángulo de inclinación de las lamas es el recorrido del sol y su incidencia en las fachadas del edificio. Como los parasoles se colocaron en el costado Este y Oeste, estos se recomiendan que se orienten de forma vertical y dependiendo del ángulo de inclinación que se escoja así variará el factor de sombra, el cual se define como la fracción de radiación incidente en un hueco que no es bloqueada por la presencia de obstáculos de fachada como parasoles, voladizos, toldos, entre otros (Consuegra, 2008). Sin embargo, este factor es variante debido a que la posición del sol en el cielo y su relación con la superficie a tratar varía constantemente, dejando que la proporción de energía solar incidente cambie con la orientación y la hora del día. Por lo tanto, es aconsejable que la inclinación de las lamas se determine para proteger de la radiación solar en el lapso donde los rayos solares son más intensos ya que es el periodo más crítico, aunque en los restantes momentos del día haya paso de la luz ya que también es necesario.

El Cuadro 17 señala diferentes factores de sombra dependiendo del ángulo de inclinación y la orientación de las fachadas, factores pequeños significan que se proporciona mayor sombra, sin embargo, debe haber un equilibrio entre la transmisión y reflexión de la luz. Por esta razón, se propuso utilizar un ángulo de 45 grados en las dos fachadas (Este y Oeste) ya que genera un nivel de sombra confortable, por encima de la media sin caer en obstaculizar en exceso con un ángulo mayor como lo es de 60 grados.

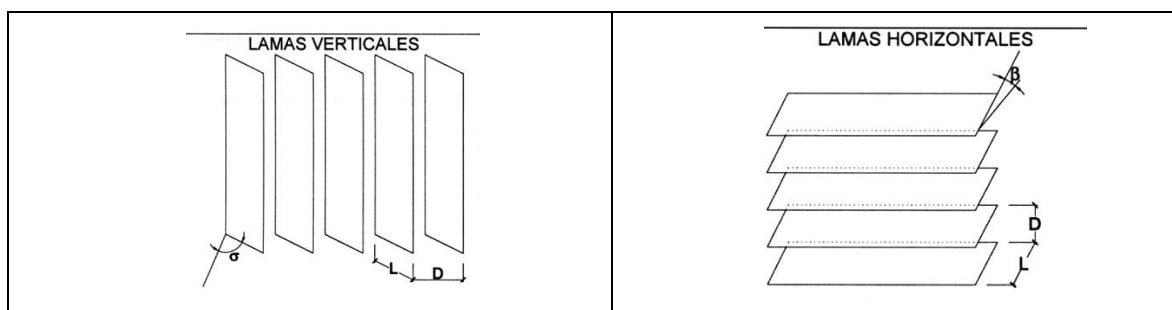


Figura 12. Ejemplo de lamas verticales y horizontales

Fuente: (Consuegra, 2008)

Cuadro 17. Factores de sombra de parasoles según su ángulo de inclinación y orientación de la fachada

		ANGULO DE INCLINACIÓN (σ)						
		-60	-45	-30	0	30	45	60
ORIENTACIÓN	SUR	0,37	0,44	0,49	0,53	0,47	0,41	0,32
	SURESTE	0,46	0,53	0,56	0,56	0,47	0,40	0,30
	ESTE	0,39	0,47	0,54	0,63	0,55	0,45	0,32
	OESTE	0,44	0,52	0,58	0,63	0,50	0,41	0,29
	SUROESTE	0,38	0,44	0,50	0,56	0,53	0,48	0,38

Fuente: (Consuegra, 2008)

Por otro lado, implementar este sistema abarcó los criterios 6.5.1, 6.1.7, 6.1.8 y 6.1.18 así nombrados en la norma RESET (véase Cuadro 26).

2.2.3.1 Costos asociados

Se cotizó con un proveedor nacional y este brindó los costos por metro cuadrado del material y la instalación en dólares. Para tener el costo en colones se utilizó el tipo de cambio del día de la cotización, el cual fue de 655 colones. El Cuadro 18 contiene los resultados.

Cuadro 18. Costos asociados a la propuesta de instalación de parasoles

Insumo	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
Parasol ovalado de aluminio con lama de 200 mm	m ²	360	\$ 274	\$ 44 662
Instalación	m ²	360	\$ 35	\$ 5 705
Costo total				\$ 50 367
Costo total				₡ 32 990 385

2.2.4 Paredes vivas

La pared viva consiste en una estructura, muro o pared que es recubierta parcial o totalmente de vegetación e integra un sistema de riego para el mantenimiento de las plantas, además, puede estar compuesta por una o varias especies, en este último caso escalando hacia un jardín vertical.

Las paredes vivas o popularmente llamadas "paredes verdes" traen múltiples beneficios, como la purificación del aire, la absorción de CO₂ y otros contaminantes, además reduce la temperatura del edificio al generar sombra y sirve como pantalla para mitigar la radiación solar y vientos predominantes. Sin embargo, dentro de sus principales desventajas se encuentra la atracción de plagas, demanda de recursos por mantenimiento y sustitución de especies y problemas de humedad si no se cuenta con un drenaje adecuado.

Por esa razón, se recomendó instalar especies con capacidad de resistir factores ambientales como el sol, el viento, la precipitación y las plagas, y que sean autóctonas de la zona del proyecto para que tengan una mejor adaptación, un menor consumo de agua y demanda de recursos por mantenimiento.

La propuesta para el edificio prototipo consistió en agregar en sus fachadas Este y Oeste una estructura donde pueda crecer una planta de tipo enredadera o trepadora y la recubra totalmente. Esta estrategia difiere de otras paredes verdes donde la planta se adhiere directamente a la pared del edificio, ya que en este caso se coloca una estructura que sobresale y a la vez sirve como pantalla protectora.

La Cuadro 13 y la Cuadro 14 señalan en color azul las zonas donde se propuso colocar las paredes verdes en las fachadas Este y Oeste respectivamente, recordando que la zona en amarillo fue destinada a los parasoles.

Se solicitó la recomendación de profesionales en un vivero cercano a la zona del proyecto para elegir las especies, este contempló la dirección predominante del viento, el soleamiento, la ubicación geográfica del edificio y las dimensiones de las paredes.

Las especies que se eligieron toleran bien la luz directa del sol en la mayoría del tiempo y también permanecer en semisombra. Esto es importante ya que, debido al recorrido solar en horas de la mañana la luz natural afectaría directamente la pared de la fachada Este y en horas de la tarde a la fachada Oeste. Para esta última se recomendó la planta denominada Passiflora Vitifoli y para la fachada Este la Ipomea. Estas especies requieren de suelos drenados y húmedos, pero sin caer al encharcamiento ya que no sería favorable para sus raíces, además, son originarias de zonas tropicales por lo que se adaptan fácilmente a climas templados.

Se propuso utilizar la Passiflora en esa orientación debido a que presenta tallos más gruesos y es más resistente a los embates naturales, por ende, podrá soportar mejor los vientos

predominantes que la colisionan de frente y de costado ya que la dirección predominante es hacia el Este y Noreste (IMN, 2022).

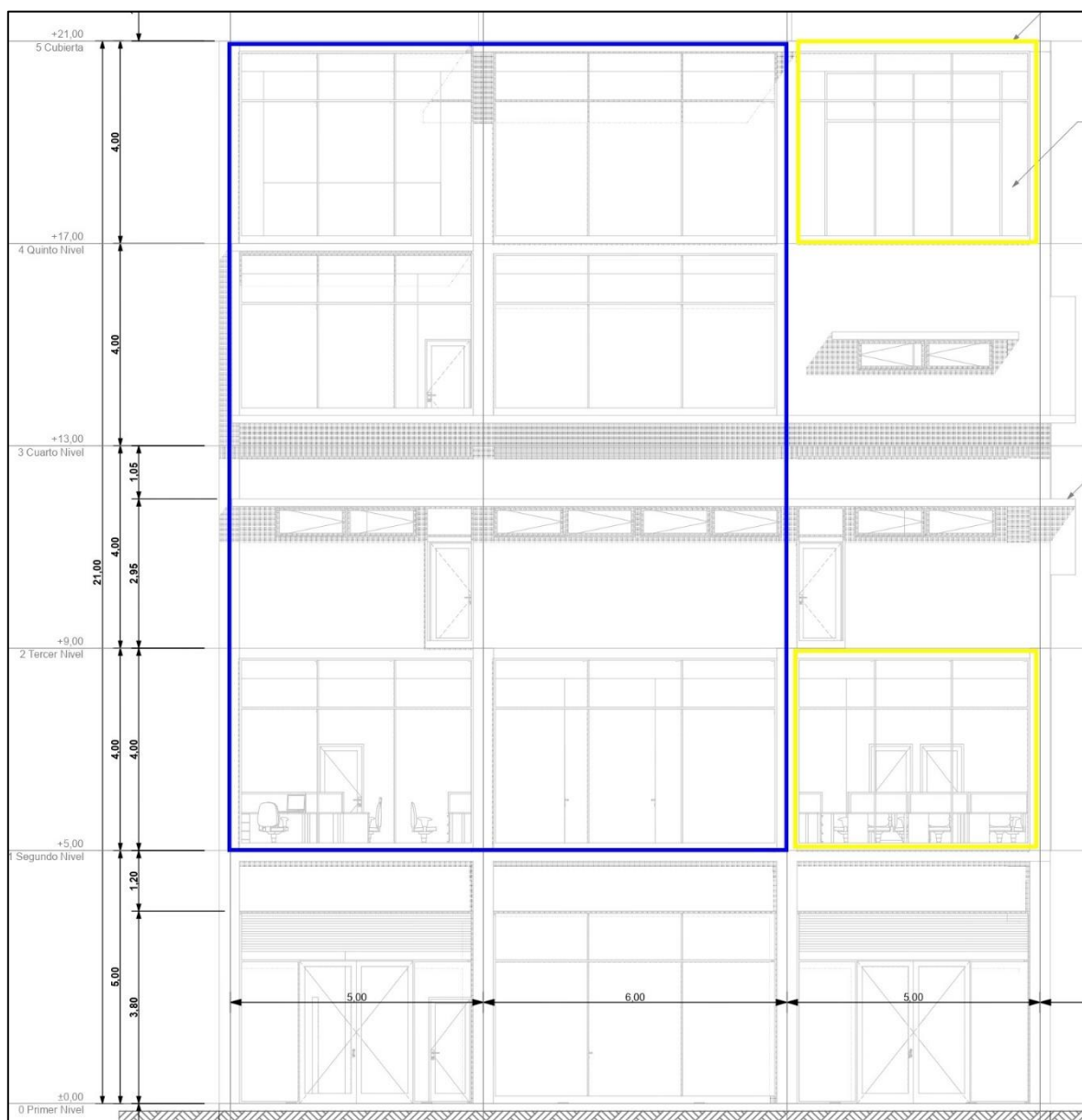


Figura 13. Área de parasoles y pared viva en fachada Este (principal)

Fuente: (BCCR, 2015)

Modificado por: (Calderón, 2022)



Figura 14. Área de parasoles y pared viva en fachada Oeste (posterior)

Fuente: (BCCR, 2015)

Modificado por: (Calderón, 2022)

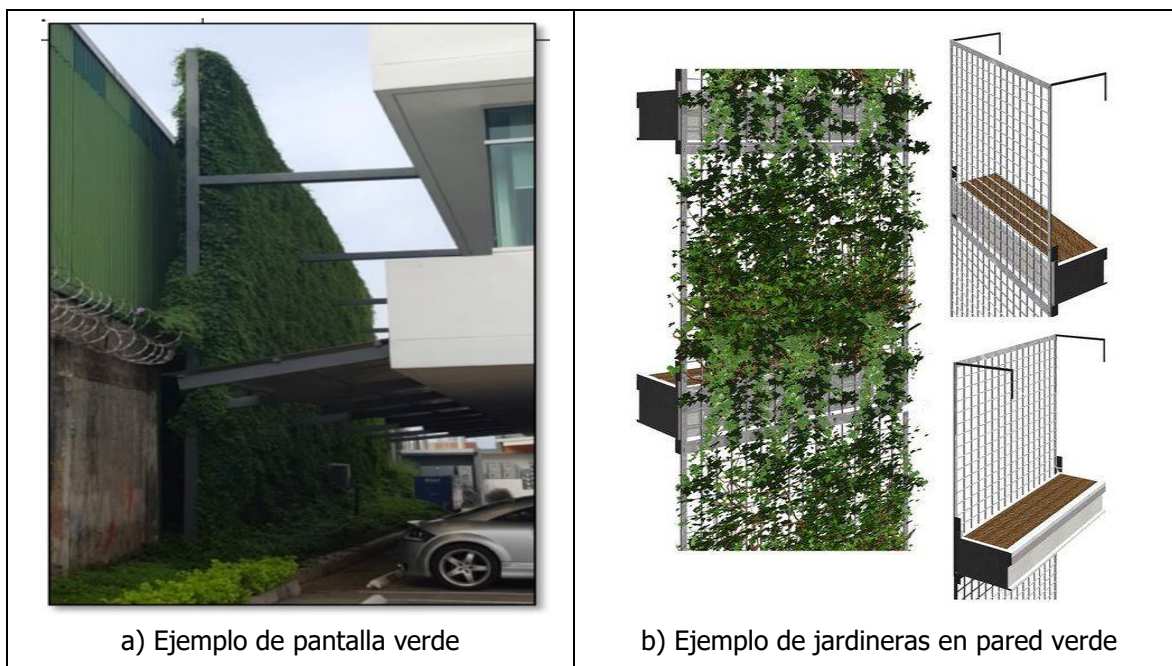
La pared viva inicia en el segundo nivel y se extiende hasta el quinto en ambas fachadas, se pretendió contar con una estructura similar a la que presenta la Figura 15, pero con una separación desde la pared de 50 cm en la vista posterior, y en la vista principal una separación de 200 cm en el segundo nivel que va disminuyendo hasta alcanzar una separación de 50 cm en el quinto nivel.

Se deja una separación de 200 cm con la intención de que en la fachada principal se habilite un espacio que funcione tipo balcón a lo largo de los 11 m, y así los usuarios de las oficinas cuenten con un espacio para salir y respirar aire fresco o puedan abrir sus puertas y ventanas.

La imagen b) de la Figura 15 muestra un ejemplo de las jardineras, sin embargo, estas solo se colocarían en el segundo nivel con su respectivo drenaje. Se cotizaron jardineras de 100 x 50 x 40 cm (largo, alto y ancho) y se requieren ocho para la fachada principal y cuatro para la posterior, la primera necesita 22 plantas y esta última 10 según la asesoría recibida, ya que se deben sembrar cada 50 cm.

Las dimensiones de las jardineras fueron también recomendadas ya que depende de la especie seleccionada. Para plantas de tipo enredadera se prefiere que sean sembradas en suelo firme ya que requieren de mucho espacio para desarrollarse, sin embargo, es posible sembrarlas en macetas grandes como las propuestas con la condición de que exista un correcto drenaje que mantenga ligeramente húmedo el sustrato sin recurrir al encharcamiento.

Con respecto a la estructura, esta se compone de tubos de acero galvanizado de tres pulgadas y malla electrosoldada para que las plantas tengan un apoyo en su crecimiento, la Figura 16 y Figura 17 muestra la distribución y cantidad de tubos utilizados. Además, para la construcción del balcón en la fachada principal se utilizan clavadores de cinco por tres pulgadas y tablilla de deck para el piso.





c) Ejemplo de estructura para enredaderas

Figura 15. Ejemplos de referencia para pared verde

Fuente: (Open Access Government, 2020)

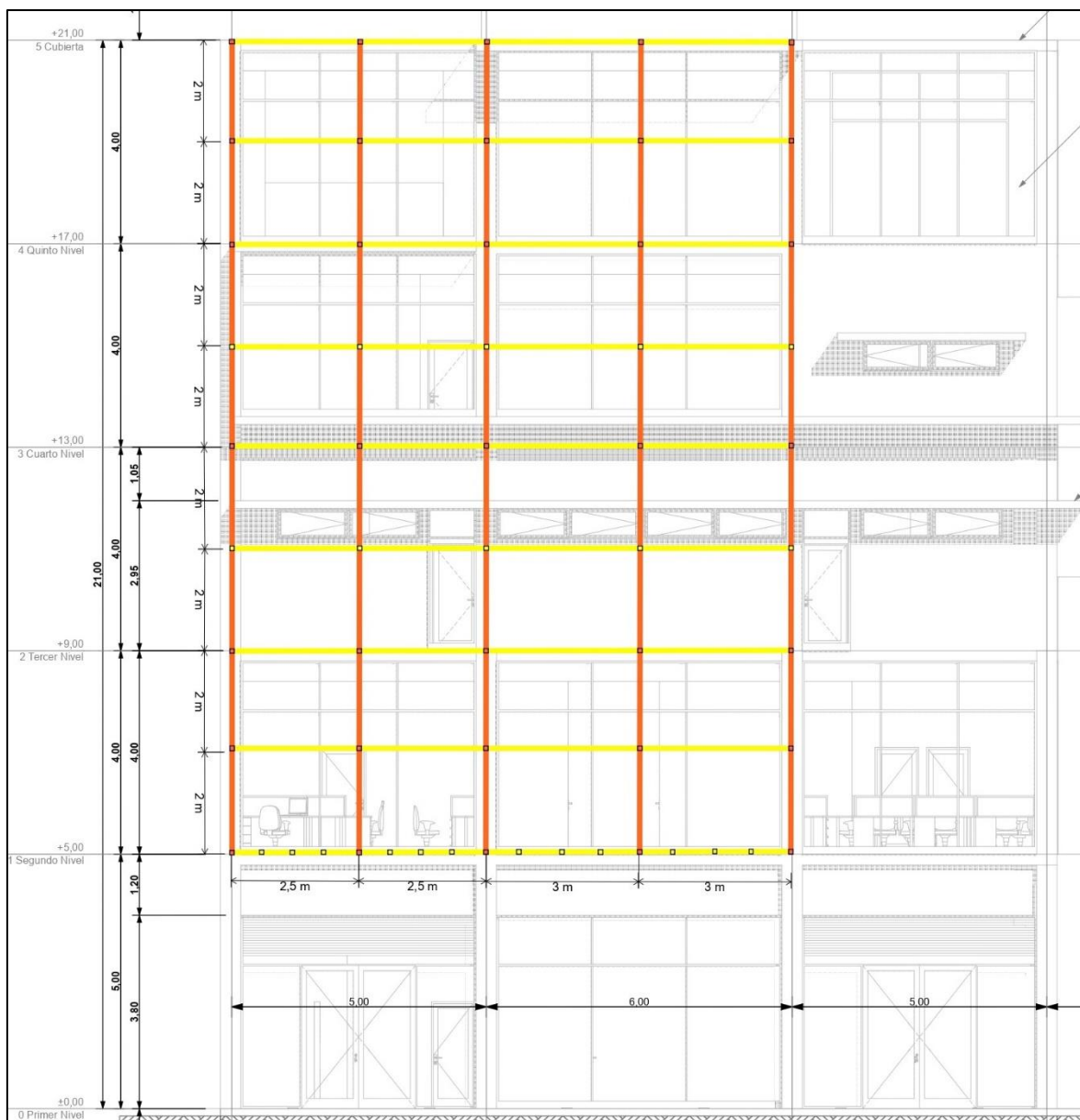


Figura 16. Estructura para la pared viva en la fachada Este (principal)

Fuente: (BCCR, 2015)

Modificado por: (Calderón, 2022)



Figura 17. Estructura para la pared viva en la fachada Oeste (posterior)

Fuente: (BCCR, 2015)

Modificado por: (Calderón, 2022)

2.2.4.1 Costos asociados

Se muestra un presupuesto general con los insumos más significativos, para ello se contempló el tubo de acero galvanizado, la malla electrosoldada, los clavadores y las tablillas para el piso y la mano de obra correspondiente a construir las estructuras en las dos fachadas. Además, se incluyeron las jardineras, las plantas y su instalación según cotización realizada con un vivero del país.

Cabe señalar que no se consideraron los costos por mantenimiento ya que corresponden a la etapa de operación del edificio y queda fuera del alcance, sin embargo, es relevante contemplar la demanda de agua, de sustrato, el recorte de hojas y la fumigación, dado que representan actividades periódicas de mantenimiento.

Cuadro 19. Costos asociados a la implementación de paredes vivas

Material	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Estructura				
Tubo 3x3", largo 6 m	Und	55	∅ 18 725	∅ 1 029 875
Malla electrosoldada de 220 x 600 cm	Und	21	∅ 21 500	∅ 451 500
Clavador para deck 5 x 3 x 220 cm	Und	15	∅ 4 395	∅ 65 925
Piso deck roble 2,5 x 14 x 220 cm	Und	78	∅ 13 750	∅ 1 072 500
Set de instalación para deck 2 m ²	Und	10	∅ 9 995	∅ 99 950
Mano de obra	na	na	na	∅ 194 400
Vegetación				
Jardinera para exterior, 100 x 50 x 40 cm	Und	12	∅ 50 214	∅ 602 568
Ipomea (fachada Este)	Und	22	∅ 1 500	∅ 33 000
Passiflora Vitifoli (fachada Oeste)	Und	10	∅ 3 500	∅ 35 000
Instalación	horas	8	∅ 3 000	∅ 24 000
Total				∅ 3 608 718

2.2.5 Recubrimiento para losa de techo

El presupuesto original contempla un manto asfáltico como sistema impermeabilizante para la losa de techo, por lo tanto, se propuso utilizar un impermeabilizante más eficiente que permita reflejar la luz solar y disminuir el efecto de isla calor.

El criterio 6.1.12 citado en la norma RESET se relaciona con esta estrategia, ya que su principal objetivo es reducir dicho efecto utilizando techos y pavimentos de baja absorción térmica. También, el criterio 6.1.8 tiene relevancia ya que una de sus finalidades es mitigar el efecto del sol y el calor a través de estrategias pasivas en techos y cubiertas de techo.

Al aplicar esta propuesta se logra tener un techo frío, estos se caracterizan por estar compuestos de superficies que reflejan la luz del sol y emitan o descarguen el calor eficientemente, reduciendo la temperatura del edificio y mejorando el confort de sus usuarios. Además, esto implica un ahorro energético y por ende económico al reducir la carga de enfriamiento y aumentan la durabilidad de la superficie al protegerla de la radiación solar y las constantes contracciones y expansiones del concreto.

Se consultó entre diferentes fabricantes nacionales y se encontró un producto impermeabilizante color blanco con certificación Energy Star para techos fríos. Según su ficha

técnica este disminuye la temperatura de la estructura reflejando en promedio el 79 % de los rayos solares y eliminando el 89 % del calor recibido, además, específicamente tiene una reflectancia de 82 % de acuerdo con la norma ASTM C 1549 (Lanco, Ficha técnica de producto: Urethanizer RC-994, 2016).

Por otro lado, el Cuadro 20 contiene la cantidad de producto requerido según el rendimiento indicado en su ficha técnica.

Cuadro 20. Cantidad requerida de producto para recubrimiento de losa de techo

Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Rendimiento del producto	m ² /gal	4,65	Fuente: (Lanco, 2016)
Área de losa	m ²	256	
Cantidad requerida	gal	55	

2.2.5.1 Costos asociados

El Cuadro 21 muestra el costo del material impermeabilizante indicado en el presupuesto y reajustado a junio 2022, así como el costo del producto propuesto tomado de un proveedor nacional. Se puede notar que utilizar este último conlleva un ahorro significativo de más del 50 %.

Cuadro 21. Costos asociados al impermeabilizante de la losa de techo

Insumo	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Impermeabilizante según presupuesto				
Manto asfáltico, incluye instalación	m ²	256	₡ 21 548	₡ 5 516 349
Costo total				₡ 5 516 349
Impermeabilizante propuesto				
Producto con certificado Energy Star	gal	55	₡ 28 000	₡ 1 541 505
Mano de obra				₡ 539 527
Costo total				₡ 2 081 032
Disminución de costos				₡ 3 435 317

2.2.6 Ventilación mecánica

A lo largo del capítulo se mencionaron diferentes estrategias pasivas para propiciar el confort térmico de los usuarios del edificio sin acudir al enfriamiento artificial. Sin embargo, el criterio 6.1.16 citado en la norma RESET menciona que en los casos en los que el clima no permita

confort en forma pasiva se prefiere el uso de ventiladores mecánicos como ayuda para generar ventilación en los espacios.

Esta propuesta consistió en instalar ventiladores de techo de bajo consumo energético en diferentes espacios de la edificación, de tal forma que los ocupantes puedan tener acceso a la ventilación en los momentos que sientan des confort. Además, se les provee el control y acceso a regular la temperatura y ventilación en sus espacios, lo cual cumple con otro de los criterios de RESET.

De acuerdo con EDGE (2018) se deben instalar ventiladores en todos los espacios habitables como dormitorios y salas de estar y en edificios con oficinas en los espacios destinados a oficinas abiertas y cerradas. Así mismo, EDGE facilita una tabla con el diámetro del ventilador y cantidad requerida de acuerdo con las dimensiones del aposento.

Obedeciendo a dicha referencia se propuso instalar el sistema en todo el edificio: en los tres locales comerciales del primer nivel, en la zona del centro de llamadas de las oficinas del segundo nivel, en los dormitorios y salas de estar de los apartamentos del tercer y cuarto nivel y en la zona de gimnasio del quinto nivel. El Cuadro 22 expone las dimensiones de cada espacio considerado y con ello el diámetro del ventilador y cantidad recomendada.

Cuadro 22. Diámetro y cantidad de ventiladores recomendados según dimensión del aposento

Espacio	Ubicación	Largo (m)	Ancho (m)	Diámetro requerido (m)	Cantidad requerida
Local 1	Nivel 1	11,0	5,0	1,5	2
Local 2	Nivel 1	11,0	5,0	1,5	2
Local 3	Nivel 1	11,0	5,0	1,5	2
Call center A	Nivel 2	12,6	5,0	1,4	3
Call center B	Nivel 2	12,6	5,0	1,4	3
Dormitorio principal	Apto. 1, nivel 3	3,8	3,4	1,2	1
Dormitorio	Apto. 1, nivel 3	4,2	3,4	1,2	1
Sala-comedor	Apto. 1, nivel 3	5,0	5,0	1,4	1
Dormitorio principal	Apto. 2, nivel 3	3,8	3,4	1,2	1
Dormitorio	Apto. 2, nivel 3	4,2	3,4	1,2	1
Sala-comedor	Apto. 2, nivel 3	5,0	5,0	1,4	1
Dormitorio principal	Nivel 4	5,0	5,0	1,4	1
Sala de estar	Nivel 4	5,0	5,0	1,4	1
Gimnasio	Nivel 5	11,0	5,0	1,5	2

Fuente: (EDGE, 2018)

Además, se supuso que los ocupantes acudirán a este sistema en situaciones críticas donde las estrategias pasivas no sean suficientes o el clima no permita el confort en forma pasiva. Por esta razón, se estableció el escenario donde se utilicen los ventiladores en las horas de mayor temperatura, las cuales son próximas al medio día, por lo que se sugirieron cinco horas de consumo, entre las nueve de la mañana y las dos de la tarde. Así mismo, se consideró la demanda para todos los días durante cinco meses al año, entre diciembre y abril, ya que es el periodo donde el Valle Central experimenta la época seca (Manso, Stolz, & Fallas, 2005), en la cual se tienen mayores temperaturas y sería el lapso más probable donde no se permita confort con las estrategias pasivas.

El Cuadro 23 presenta la demanda energética total por utilizar los ventiladores cinco horas diarias durante cinco meses al año, utilizando una eficiencia de 60 W por ventilador que es el valor promedio para ventiladores de techo con buen rendimiento (EDGE, 2018).

Cuadro 23. Demanda energética total por el uso de ventilación mecánica del edificio

Ventilador	Diámetro (m)	Potencia nominal (kW)	Cantidad	Consumo total (kW)	Consumo diario (h)	Consumo anual (h)	Consumo anual (kW-h)
1	1,2	0,60	4	2,4	5	755	1 812
2	1,4	0,60	10	6	5	755	4 530
3	1,5	0,60	8	4,8	5	755	3 624
Consumo total (kW-h)							9 966

La huella de carbono se calculó utilizando el factor de emisión del IMN (2021) para la energía eléctrica y según el Cuadro 24 las emisiones totales durante un año son de 0,281 toneladas de dióxido de carbono equivalente.

Cuadro 24. Huella de carbono total de propuesta sostenible sobre ventilación mecánica

Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Consumo de energía anual	kW – h	9 966	
Factor de emisión	kg CO _{2e} / kW – h	0,0282	Fuente: (IMN, 2021)
Emisiones al año	kg CO _{2e}	281,0	
Huella de carbono total anual (t CO_{2e})			0,281

2.2.6.1 Costos asociados

Se consideraron los costos de los ventiladores y su instalación, para ello se escogieron ventiladores de 1,2, 1,4 y 1,5 metros de diámetro con eficiencia cercana a los 60 W. Se consultó con un distribuidor nacional el precio de cada unidad y su instalación y estos resultados se reflejan en el siguiente Cuadro 25.

Cuadro 25. Costos asociados al sistema de ventilación mecánica propuesto

Ventilador	Cantidad	Costo unitario	Total
1	4	₪ 56 094	₪ 224 375
2	10	₪ 68 309	₪ 683 085
3	8	₪ 90 344	₪ 722 748
Total ventiladores			₪ 1 630 208
Instalación			₪ 570 573
Costo total			₪ 2 200 781

2.3 Resumen de los resultados obtenidos

2.3.1 Estrategias propuestas

Analizar los 12 criterios escogidos del apartado de Calidad y Bienestar Espacial implicó proponer diferentes estrategias. En primera instancia, se analizó la orientación del edificio con respecto al soleamiento y dirección del viento para lograr una climatización pasiva y con ello aprovechar la ventilación e iluminación natural y a su vez disminuir la incidencia directa de la radiación solar. Las fachadas que más tenían exposición al sol era la principal dirigida hacia el Este y la posterior hacia el Oeste, además, el rumbo del viento predominante iba hacia el Este y Noreste y en consecuencia este ingresa mayoritariamente por las fachadas Oeste y Sur, sin embargo, esta última poseía menos ventanas.

Por lo tanto, para lograr una ventilación natural se propuso sustituir las ventanas y puertas de vidrio por aquellas que tengan la posibilidad de abrirse y de esta manera lograr una ventilación cruzada y circulación del aire, también se sugirió colocar nuevas ventanas en varios espacios recurrentes por los usuarios del nivel uno, dos y tres.

Por otro lado, la instalación de parasoles y el vidrio de control solar son estrategias que brindan mayor confort térmico. Dicho vidrio cumple con la función de disminuir la transferencia de calor al ambiente interior reflejando la mayor parte de los rayos del sol, mientras que los parasoles,

además de impedir el paso directo de la luz, genera sombra permitiendo el paso del viento y cierto porcentaje de luz natural y con ello lograr una penumbra interior comfortable.

Los parasoles se colocaron en las fachadas Este y Oeste a partir del segundo nivel y se complementan con la pared viva que también se propuso en dicha ubicación. De esta manera ambos sistemas protegen de la radiación solar y del deslumbramiento añadiendo frescura y purificación al ambiente por la vegetación de la pared.

Entre otras estrategias, se recomendó utilizar para la losa de techo un impermeabilizante de baja absorción térmica que mitigue el efecto del sol y así disminuir la temperatura de la estructura. El producto utilizado tiene certificación Energy Star y garantiza un 79 % de reflexión de los rayos del sol.

Se pretende que las propuestas anteriores trabajen en conjunto y de manera complementaria para propiciar confort a los usuarios de forma pasiva y disminuir al máximo la demanda energética por el uso de enfriamiento artificial. Sin embargo, en los momentos en que el clima no permita el confort de forma pasiva se recomendó el uso de ventiladores mecánicos de techo de bajo mantenimiento y alta eficiencia energética. Esto genera una huella de carbono, pero significativamente menor en comparación con utilizar sistemas de aires acondicionados.

El Cuadro 26 señala los criterios de la norma RESET que se cumplen de acuerdo a la estrategia planteada, algunos de ellos se repiten en varias propuestas porque una o varias de estas cumplen con los requisitos del criterio; por ejemplo, el criterio 6.1.5 se incluye en la mayoría ya que especifica que se deben utilizar estrategias pasivas.

El requisito 6.1.15 a pesar de ser elegible, se determinó que no era necesario cuando se realizó el análisis climático de la zona del proyecto. Ya que este describe que en los casos en los que el diferencial diario de temperatura lo favorezca, se utiliza el concepto de masa térmica, sin embargo, el diferencial de temperatura es de aproximadamente 7,6 °C según el reporte del IMN en la estación meteorológica más cercana al proyecto y esta diferencia se considera insuficiente sin merecer el esfuerzo de implementar los requisitos. Según Germer (1986) se requiere de un diferencial de temperatura mayor a 10 °C para que así sea.

Cuadro 26. Resumen de criterios RESET evaluados para el Capítulo 2 - Calidad y bienestar espacial

Estrategia	Criterios asociados
Ventilación natural	6.1.5, 6.1.6, 6.1.19, 6.1.25

Estrategia	Criterios asociados
Vidrio de control solar	6.1.5, 6.1.7, 6.1.8, 6.1.18
Parasoles	6.1.5, 6.1.7, 6.1.8, 6.1.18
Paredes vivas	6.1.5, 6.1.7, 6.1.8, 6.1.10
Recubrimiento para losa de techo	6.1.5, 6.1.12, 6.1.8
Ventilación mecánica	6.1.16, 6.1.17, 6.1.25
No necesario	6.1.15

2.3.2 Huella de carbono y costos

Se presenta un resumen de los resultados obtenidos de la huella de carbono para la línea base y para el escenario sostenible, el cual incorpora las estrategias, así como los costos relacionados.

Los criterios evaluados pretenden brindar confort térmico a los usuarios de forma pasiva, por lo tanto, se decidió que la huella de carbono asociada a la línea base solamente se enfocara en el consumo energético que se requiere si se recurre al enfriamiento artificial por sobre la climatización y un diseño pasivo. Esta huella fue de 10,34 t CO_{2e} según se muestra en el Cuadro 27, mientras que la implementación de los requisitos de RESET dirigen a cero emisiones porque no se estaría usando aire acondicionado, aunque sí ventilación mecánica que involucra una huella de 0,28 t CO_{2e}, pero es significativamente menor generando un gran ahorro de 10,06 t CO_{2e} anuales.

Debido al alcance planteado para la huella de carbono de la línea base, no se consideran las emisiones asociadas a la mano de obra, materiales utilizados, transporte y otros recursos en ninguno de los dos escenarios.

Por otro lado, se puede notar (Cuadro 27) que el mayor costo de la línea base se asocia al equipo de aire acondicionado, seguido de la ventanería convencional, mientras que, el vidrio de control solar y los parasoles representan los costos más elevados del escenario sostenible. En total se obtiene un aumento en los costos de 5 248 949 colones por cumplir con los requisitos de RESET, sin embargo, por razones de alcance de este trabajo, solo se abarcan costos directos como materiales y mano de obra y no relacionados con la operación, por lo tanto, a largo plazo es más beneficioso este escenario ya que anualmente el gasto de la factura eléctrica será significativamente menor.

Cuadro 27. Resumen de huella de carbono y costos del Capítulo 02 - Calidad y bienestar espacial

Estrategia	Huella línea base (t CO _{2e})	Huella escenario sostenible (t CO _{2e})	Ahorro (-) Aumento (+) (t CO _{2e})	Costo sin estrategia	Costo con estrategia	Ahorro (-) Aumento (+)
Ventilación natural	10,34	0	-10,06	₡ 86 189 284	₡ 0	-₡ 86 189 284
Vidrio de control solar		0		₡ 35 126 111	₡ 91 199 777	₡ 56 073 666
Parasoles		0		₡ 0	₡ 32 990 385	₡ 32 990 385
Paredes vivas		0		₡ 0	₡ 3 608 718	₡ 3 608 718
Recubrimiento losa de techo		0		₡ 5 516 349	₡ 2 081 032	-₡ 3 435 317
Ventilación mecánica		0,28		₡ 0	₡ 2 200 781	₡ 2 200 781
Total	10,34	0,28	-10,06	₡ 126 831 744	₡ 132 080 693	₡ 5 248 949

3 CAPÍTULO 3 – ENTORNO Y TRANSPORTE

Este capítulo abarcó los criterios que aplicaban del apartado de *Entorno y transporte* de la norma RESET, según su impacto en la huella de carbono. Se escogieron tres de estos, sin embargo, uno ya fue evaluado junto a los criterios del capítulo anterior, *Calidad y bienestar espacial*, debido a que compartían el mismo objetivo, por lo tanto, solo se describió la línea base de emisiones y la propuesta sostenible de ahorro para los dos criterios restantes, los cuales fueron analizados en conjunto porque se orientaban a cumplir la misma meta.

Ni el escenario base ni el sostenible incurrieron en costos que impactaran el presupuesto del proyecto, sin embargo, se detalló la metodología realizada para calcular la huella de carbono en cada uno. Cabe señalar, que los criterios se citaron de la misma forma en que los describe la norma RESET.

3.1 Criterio 6.2.11

La norma indica para este criterio que “se utilicen materiales de baja reflectividad y/o soluciones que muestran cómo las fachadas y cubiertas evitan o reducen la incidencia directa de la radiación solar, sin trastornar los hábitats existentes y la vida en los entornos urbanos” (INTECO, 2020).

Este requisito se seleccionó porque implementa estrategias sostenibles que guían hacia un mayor confort térmico, lo cual, disminuye la demanda de enfriamiento artificial dentro del edificio y con ello la huella de carbono asociada. Sin embargo, las propuestas planteadas en el capítulo anterior, *Calidad y bienestar espacial*, ya cumplen con el valor de referencia que solicita la norma para este criterio, debido a que estas consisten en implementar vidrio de control solar, parasoles y paredes vivas en las distintas fachadas del edificio, además de aplicar un recubrimiento en la losa de techo que refleje eficientemente los rayos del sol. Por esta razón, se decidió anexas el presente criterio junto a los otros ya que sus estrategias obedecen al mismo objetivo.

3.2 Criterio 6.2.19 y 6.2.22

Los criterios 6.2.19 y 6.2.22 mencionan respectivamente: “se cuenta con acceso a medios de transporte colectivo para usuarios” y “se favorece el uso de automóviles con tecnologías de baja emisión y eficiencia energética”. En el primero se facilita el uso de medios de transporte alternativos al privado ya que resultan en menores emisiones de GEI, y en el segundo, se

promueve el uso de medios de transporte con eficiencia energética para sustituir aquellos que realizan la combustión de combustibles fósiles para su funcionamiento.

Se evaluaron los dos criterios en conjunto porque ambos se dirigen a disminuir la huella de carbono asociada al consumo de combustible debido al transporte y, por lo tanto, se estableció una misma línea base de consumo para los dos. El criterio 6.2.19 lo hace motivando a los usuarios del edificio a tomar el transporte colectivo en lugar del transporte privado, por eso, RESET estableció como valor de referencia a cumplir que se cuente con transporte colectivo a menos de 500 m de la ubicación del proyecto, mientras que para el 6.2.22 se solicitó que el 2 % del espacio de estacionamiento de vehículos sea reservado para vehículos con baja emisión.

Por lo tanto, en esta sección se calculó la huella de carbono para la línea base y para el escenario sostenible bajo la acción conjunta de estos dos requisitos.

3.2.1 Línea base de emisiones

Se plantearon los siguientes alcances para calcular el consumo de combustible anual asociado al transporte de los usuarios del edificio:

1. El tipo de vehículo considerado es un automóvil liviano a gasolina.
2. La cantidad de vehículos considerados en el cálculo es igual a la suma de los espacios de estacionamiento que tiene el edificio en su parqueo externo y sótano para usuarios residentes y trabajadores.
3. Debido al punto anterior, se contemplaron 21 vehículos de los usuarios que se transportan desde o hacia el edificio por motivos laborales.
4. Se consideró el total de los 12 espacios del parqueo del sótano al definir que es destinado para usuarios residentes y trabajadores del edificio, y se tomaron 9 de los 12 espacios del parqueo externo al definir 3 espacios para clientes que quedan excluidos del cálculo.
5. La distancia de viaje promedio diaria que recorre cada vehículo es de 17 km y dentro de la GAM (Programa Estado de la Nación, 2018).
6. Se consideran solamente cinco días por semana como el tiempo donde los usuarios utilizan su vehículo para dicha distancia de viaje.
7. El rendimiento en el consumo de combustible del vehículo es de 0,125 l/km (Gómez, 2018).

Los datos mencionados se pueden observar en el Cuadro 28, donde también se aprecia un consumo diario por vehículo de 2,13 litros de gasolina, para un total anual de 12 269 litros de gasolina para los 24 automóviles.

Cuadro 28. Parámetros considerados para el cálculo del combustible por transporte de los usuarios del edificio

Parámetro	Unidad	Cantidad	Comentario
Vehículos del parqueo externo	und	9	
Vehículos del parqueo sótano	und	12	
Distancia de viaje promedio diaria por vehículo	km	17	Fuente: (Programa Estado de la Nación, 2018)
Rendimiento	l/km	0,125	Fuente: (Gómez, 2018)
Consumo de combustible diario por vehículo	l gasolina	2,13	
Consumo de combustible anual por vehículo	l gasolina	511	Cinco días por semana
Consumo total anual de combustible	l gasolina	10 735	

Se asumió que el parqueo externo y el sótano (véase Figura 18 y Figura 19) se encuentran disponibles para los usuarios residentes y trabajadores del edificio y por lo tanto viajarán desde o hacia el edificio en su vehículo privado de lunes a viernes por motivos laborales como parte de su rutina. Así mismo, se determinó una distancia promedio de viaje diaria de 17 km según cifras del Programa Estado de la Nación (2018) en la GAM.

Dentro del cálculo para el consumo de combustible se utilizaron los 12 espacios de estacionamiento del parqueo del sótano, ya que son ocupados por residentes y trabajadores del edificio que viajan con sus vehículos desde o hacia este por motivos laborales, sin embargo, del parqueo externo se excluyeron tres espacios ya que son destinados para clientes de los locales comerciales y quedan fuera del alcance del consumo dado que no se movilizan por motivos laborales.

El Reglamento de Construcciones (INVU, 2018) establece que por cada 50 m² de área comercial o fracción mayor de 25 m² adicionales, excluyendo áreas de circulación, cuartos de máquinas y servicios sanitarios, se debe disponer de un espacio de estacionamiento. La suma del área comercial fue de 165 m² y por ello se definieron tres estacionamientos destinados para comercio.



Figura 18. Parqueo externo del edificio



Figura 19. Parqueo del sótano del edificio

Fuente: (BCCR, 2015)

El consumo de combustible del vehículo se calculó a través de los ciclos de conducción. Estos son desarrollados para representar los patrones de manejo de un área, región o tramo de carretera específica, por lo que deben reflejar las condiciones de circulación reales de los vehículos, considerando parámetros como el tiempo, la velocidad, la aceleración y la distancia, tanto promedio y total, tiempos de frenado, de volteo, de aceleración y desaceleración, entre otros (Gómez, 2018). Por lo tanto, los ciclos de conducción se utilizan para diferentes fines, como la estimación de la ingeniería de tránsito, la estimación de emisiones de GEI y la estimación del consumo específico de combustible.

La ley Federal de los Estados Unidos ha establecido varios ciclos de conducción que son empleados para confirmar los resultados de emisiones declaradas por los fabricantes de vehículos, con el fin de dar cumplimiento a la legislación en materia de emisiones contaminantes (Gómez, 2018).

Para calcular el consumo de combustible para el presente trabajo, se utilizó el ciclo de conducción denominado "FTP-75: Federal Test Procedure", el cual es empleado para determinar el consumo específico de combustible cuando el vehículo opera en la ciudad y representa una distancia recorrida de 11,04 millas (17,77 km), en un tiempo de 1 874 segundos (31,23 min) y una velocidad promedio 21,19 millas por hora (34,10 km/h) (Environmental Protection Agency, 2022).

De esa manera, el rendimiento de 0,125 l/km se obtuvo como el inverso del promedio de consumo de combustible, asociado a dicho ciclo, de 20 vehículos livianos de diferentes marcas presentado por Gómez (2018). La Figura 20 muestra el rendimiento del combustible para distintos ciclos de conducción, sin embargo, el que se encuentra subrayado en amarillo es el de interés y dio como resultado un consumo promedio de 22,55 millas por galón (mpg), lo que es igual a 7,98 km/l y su inverso de 0,125 l/km.

De esta manera, se logró obtener un vehículo de referencia con características constructivas semejantes a las que se pueden encontrar circulando en la ciudad, donde el año de fabricación varía entre el 2010 y 2017, la masa promedio de la flota es de 1 548 kg y la capacidad promedio del motor es de 2 400 cc (Gómez, 2018).

Vehículo	Año	Rendimiento de combustible <i>F.E</i>								
		(MPG)			(km·L ⁻¹)					
		FTP-75	HWFET	UDDS	EDC	EUDC	NEDC	JC08	JC10-15	
1 Suzuki Kizashi	2014	23	30	26	8,6	15,1	11,9	11,8	13	
2 Mazda CX-5	2017	23	29	26	10,8	15,5	13,3	14,8	10,5	
3 Mazda 3	2014	29	40	33	11,4	19,5	15,5	17,2	13,6	
4 Mazda 5	2010	22	28	24	9,1	15,2	12,2	14,4	10,5	
5 Volkswagen Golf GTI	2017	24	34	28	9,3	18,2	13,5	16	13	
6 Volkswagen Golf R	2014	23	30	25	11,6	16,7	14,3	14,4	12,4	
7 Volkswagen Touareg	2017	17	23	19	10,1	19	13,3	9,8	9,5	
8 Mitsubishi Outlander	2015	24	29	26	9,7	14,9	12,5	14,6	10,7	
9 Nissan Juke	2016	28	32	30	13,7	20	17,1	13,4	11,8	
10 Nissan GT-R	2016	16	22	19	8,8	17	11,8	8,8	8,4	
11 Subaru Impreza	2017	24	32	27	10,9	17,5	14,3	16,8	13,6	
12 Subaru Legacy	2017	23	34	29	9,2	14,5	12	14,8	11,9	
13 Subaru WRX	2015	20	27	23	7,9	13,9	10,9	13,2	10	
14 Mini Cooper Paceman	2015	27	34	30	12	18,2	15,4	16,7	13	
15 Mini Cooper S	2015	26	35	29	14,3	21,7	18,2	19	15,2	
16 BMW 640i Convertible	2017	20	29	23	9,3	16,4	12,8	12,2	8,9	
17 Mercedes Benz AMG CLA45 4Matic	2017	23	30	26	10,9	17,6	13,9	13,2	11,2	
18 Jaguar F-Type Coupe	2016	19	28	22	7	14,5	10,4	12,2	8,9	
19 Jaguar XJ	2016	15	23	18	5,5	11,5	8,3	11,1	8,9	
20 Audi A4 Avant 2.0	2017	25	33	28	13,3	19,6	16,9	18,4	14,4	

Figura 20. Rendimiento de combustible para diferentes marcas de vehículos livianos

Fuente: (Gómez, 2018)
Modificado por: (Calderón, 2022)

El Cuadro 29 presenta las emisiones de los GEI por el consumo anual de 10 735 litros de gasolina según el alcance mencionado. Para ello se utilizaron los factores de emisión brindados por el IMN (2021) para transporte terrestre con catalizador. La huella total generada fue de 25,16 t CO_{2e}.

Cuadro 29. Huella de carbono total de criterios RESET 6.2.19 y 6.2.22 para la línea base

Parámetro	Unidad	Cantidad	Comentario
Dióxido de carbono (CO₂)			
Factor de emisión	kg CO _{2e} /l combustible	2,231	Fuente: (IMN, 2021)
Consumo total de gasolina	l	10 735	
Emisión total	kg CO _{2e}	23 950	
Metano (CH₄)			
Factor de emisión	g CH ₄ /l combustible	0,907	Fuente: (IMN, 2021)
Consumo total de gasolina	l	10 735	
Emisión total	g CH ₄	9 737	
PCG		28	Fuente: (IPCC, 2014)
Emisión total	kg CO _{2e}	272,6	
Óxido nitroso (N₂O)			
Factor de emisión	g N ₂ O/l combustible	0,283	Fuente: (IMN, 2021)
Consumo total de gasolina	l	10 735	
Emisión total	g N ₂ O	3 038	
PCG		310	Fuente: (IPCC, 2014)
Emisión total	kg CO _{2e}	941,8	
Huella de carbono total (kg CO _{2e})		25 164	
Huella de carbono total (t CO_{2e})		25,16	

3.2.1.1 Costos asociados

En este escenario no aplicó ningún costo económico, ya que la propuesta para la línea base no impacta el presupuesto del edificio. Y cabe recordar que el gasto relacionado con el consumo del combustible por parte de los usuarios es un costo fuera del alcance de este proyecto.

3.2.2 Evaluación de los criterios RESET

El criterio 6.2.19 solicita que los usuarios del edificio cuenten con acceso a transporte colectivo a menos de 500 m de distancia, lo cual, se cumple ya que el proyecto se ubica en una zona céntrica de la GAM, específicamente en el distrito San Francisco de Goicoechea.

La Figura 21 muestra un mapa que señala en amarillo el recorrido de todas las rutas de autobuses que pasan cerca del proyecto tomado de ARESEP (2019) y en rojo la ubicación del edificio. Se puede notar, dentro del radio de 500 m, la cercanía principalmente con los tramos de la Ruta Nacional Primaria 32 y la Ruta Nacional Secundaria 108, que son por las que más circula el transporte público hacia y desde diferentes destinos.



Figura 21. Cercanía del proyecto con rutas de transporte público

Fuente: (ARESEP, 2019)

Modificado por: (Calderón, 2022)

Además, la norma RESET solicita como evidencia el listado de los usuarios del proyecto y su medio de transporte, de esta manera se determinan aquellos que viajan en transporte privado ya que es el medio que se pretende evitar. Sin embargo, no se cuenta con esta información al tratarse de un proyecto prototipo sin ejecución real.

Por otra parte, el criterio 6.2.22 solicita que al menos el 2 % del espacio de estacionamiento se reserve para vehículos de baja emisión y esto representa menos de un estacionamiento ya que se cuenta con un total de 21 espacios, por lo tanto, si se reserva un solo espacio se estaría cumpliendo el requisito.

Debido a lo anterior, se propuso evaluar estos dos criterios en conjunto considerando el escenario donde se reduce a cinco la cantidad de vehículos en la zona de estacionamiento externo, al suponer que cerca de la mitad de los usuarios que viajaban en su propio vehículo deciden utilizar el transporte colectivo. Así mismo, se propuso reducir los vehículos que utilizan el estacionamiento del sótano ya que este disminuirá su capacidad a solo seis espacios, dos por cada apartamento, debido a una propuesta que forma parte del Capítulo 4 - Suelos y paisajismo que se detallará en la siguiente sección.

Por lo tanto, se consideraron un total de 11 vehículos para el cálculo de la huella de carbono, y se utilizó la misma distancia de viaje, rendimiento del combustible y otros supuestos que en la línea base. Esta información se muestra en el Cuadro 30, de donde también se observa un consumo total anual de 5 623 litros de gasolina, 47,6 % menos que en el escenario base.

Cuadro 30. Consumo total anual de combustible por transporte de los usuarios del edificio

Parámetro	Unidad	Cantidad	Comentario
Vehículos del parqueo externo	und	5	
Vehículos del parque sótano	und	6	
Distancia de viaje promedio diaria por vehículo	km	17	Fuente: (Programa Estado de la Nación, 2018)
Rendimiento	l/km	0,125	Fuente: (Gómez, 2018)
Consumo de combustible diario por vehículo	l gasolina	2,13	
Consumo de combustible anual por vehículo	l gasolina	511	Cinco días por semana
Consumo total anual de combustible	l gasolina	5 623	

Dado que el edificio prototipo es un proyecto que no se encuentra en ejecución real, es limitante tener acceso a información específica que lleve a un resultado más preciso, sin embargo, se decidió plantear una reducción cercana al 50 % de vehículos a modo de referencia, con el fin de determinar el impacto en la huella de carbono a pesar que no se tenga certeza si ese escenario será el real ya que dependerá de más factores.

Dicho lo anterior, la huella de carbono bajo este escenario resultó ser de 13,18 t CO_{2e} según señala el Cuadro 31. Las emisiones se calcularon utilizando los mismos factores de emisión y potenciales de calentamiento global (PCG) que en la línea base.

Cuadro 31. Huella de carbono total de criterios RESET 6.2.19 y 6.2.22 para el escenario sostenible

Parámetro	Unidad	Cantidad	Comentario
Dióxido de carbono (CO₂)			
Factor de emisión	kg CO _{2e} /l combustible	2,231	Fuente: (IMN, 2021)
Consumo total de gasolina	l	5 623	
Emisión total	kg CO _{2e}	12 545	
Metano (CH₄)			
Factor de emisión	g CH ₄ /l combustible	0,907	Fuente: (IMN, 2021)
Consumo total de gasolina	l	5 623	
Emisión total	g CH ₄	5 100	
PCG		28	Fuente: (IPCC, 2014)

Parámetro	Unidad	Cantidad	Comentario
Emisión total	kg CO _{2e}	143	
Óxido nitroso (N₂O)			
Factor de emisión	g N ₂ O/l combustible	0,283	Fuente: (IMN, 2021)
Consumo total de gasolina	l	5 623	
Emisión total	g N ₂ O	1 591	
PCG		310	Fuente: (IPCC, 2014)
Emisión total	kg CO _{2e}	493	
Huella de carbono total (kg CO _{2e})		13 181	
Huella de carbono total (t CO_{2e})		13,18	

3.2.2.1 Costos asociados

Evaluar los criterios de RESET no implicó ningún costo económico extra o con impacto en el presupuesto. Sin embargo, en el siguiente capítulo (Suelos y Paisajismo) se abordó la disminución en el presupuesto por la reducción del área del sótano, ya que forma parte de la propuesta en dicho apartado.

3.2.3 Comparación de resultados

La disminución en la huella de carbono fue de 47,6 % al evaluar los criterios de RESET, esto bajo el supuesto de que la cantidad de viajes en transporte privado hacia o desde el edificio se reduce a la mitad debido al cercano acceso del transporte colectivo y al incentivo de estacionamientos reservados para usuarios de vehículos con eficiencia energética.

Por lo tanto, se determinó una relación directamente proporcional entre la cantidad de vehículos utilizados para viajar de forma individual y las emisiones de GEI, ya que a medida que los usuarios del edificio sustituyan transportarse en su propio vehículo por uno colectivo, las emisiones disminuirán.

Por otro lado, en el sentido económico no se determinó ningún gasto en los dos escenarios, ya que las propuestas no afectaban el presupuesto del proyecto.

3.3 Resumen de resultados obtenidos

Esta sección presenta un resumen de las estrategias implementadas para el escenario sostenible, la huella de carbono para dicho escenario y su línea base y los costos económicos relacionados.

Los valores positivos de Cuadro 33 representan un aumento en las emisiones o en los costos y los valores negativos significa que hubo un ahorro en estos. Se puede notar (Cuadro 32) que solo para los dos criterios analizados en conjunto se cuantificaron las emisiones, dado que la estrategia que cumple con el criterio 6.2.11 se abordó junto a las propuestas en el Capítulo 2 - Calidad y bienestar espacial.

Por lo tanto, en este capítulo se obtuvo un ahorro en la huella de carbono de 11,98 t CO_{2e} y además no se vio afectado el presupuesto original del proyecto ya que no aplicó ningún costo.

Cuadro 32. Resumen de criterios RESET evaluados en Capítulo 3 – Entorno y transporte

Criterio RESET	Estrategia sostenible
6.2.11	Estrategia abordada en el Capítulo 2- Calidad y bienestar espacial
6.2.19 y 6.2.22	Escenario supuesto con reducción del 50 % de vehículos ocupando el estacionamiento del edificio

Cuadro 33. Resumen de huella de carbono y costos del Capítulo 3 – Entorno y transporte

Criterio RESET	Huella línea base (t CO_{2e})	Huella escenario sostenible (t CO_{2e})	Ahorro (-) Aumento (+) (t CO_{2e})	Costos línea base	Costos escenario sostenible	Ahorro (-) Aumento (+)
6.2.11	0,0	0,0	0,0	∅ 0	∅ 0	∅ 0
6.2.19 y 6.2.22	25,16	13,18	-11,98	∅ 0	∅ 0	∅ 0
Total	25,16	13,18	-11,98	∅ 0	∅ 0	∅ 0

4 CAPÍTULO 4 – SUELOS Y PAISAJISMO

En este capítulo se analizaron cuatro criterios del apartado *Suelos y paisajismo* de la norma RESET, los cuales fueron seleccionados debido a su impacto en las emisiones de GEI del edificio en su etapa de diseño.

Se plantearon propuestas para obtener la huella de carbono de la línea base y del escenario sostenible, en el cual, es donde se evaluaron los requisitos de la norma para determinar el ahorro en emisiones, así como también el impacto a nivel económico al compararse con el presupuesto del escenario base. Cabe señalar, que los criterios fueron descritos de la misma forma en que los cita la norma RESET.

4.1 Criterio 6.4.1

Este criterio promueve que el sistema de cimentación utilizado minimice la necesidad de sustituir el suelo en general. Para evaluar la huella de carbono asociada se plantearon dos sistemas de cimentación distintos y en cada uno se calculó el volumen de suelo que debía ser removido y las emisiones asociadas a las excavaciones en sitio por la demanda de combustible de la maquinaria utilizada.

Se analizó la cimentación tipo placas aisladas con vigas de amarre que es la indicada en el diseño del edificio, versus la cimentación tipo losa flotante que es un sistema también recurrido en la práctica. Con ello, se determinó el sistema que generó la menor huella y se escogió como propuesta para el escenario sostenible, y la otra opción se propuso como la línea base.

4.1.1 Cimentación tipo placas aisladas

El edificio prototipo contempló este sistema de cimentación en su diseño estructural, el cual consiste en colocar placas o zapatas cuadradas o rectangulares aisladas entre ellas, pero generalmente conectadas a través de vigas de concreto comúnmente llamadas vigas de amarre.

La Figura 22 muestra el diseño según los planos constructivos del proyecto, en donde se puede ver que se utilizan mayoritariamente placas cuadradas de 3,40 m de lado distribuidas en toda la huella del edificio, y una placa cuadrada de 9,0 m de lado que soporta las cargas del ducto del ascensor. Así mismo, la Figura 23 indica el detalle de los cimientos para la zona de las escaleras de emergencia con zapatas cuadradas de 1,8 m de largo conectadas a través de

vigas. Finalmente, la Figura 24 contiene el detalle para las vigas que amarran las placas de fundación y las placas en la zona de las escaleras.

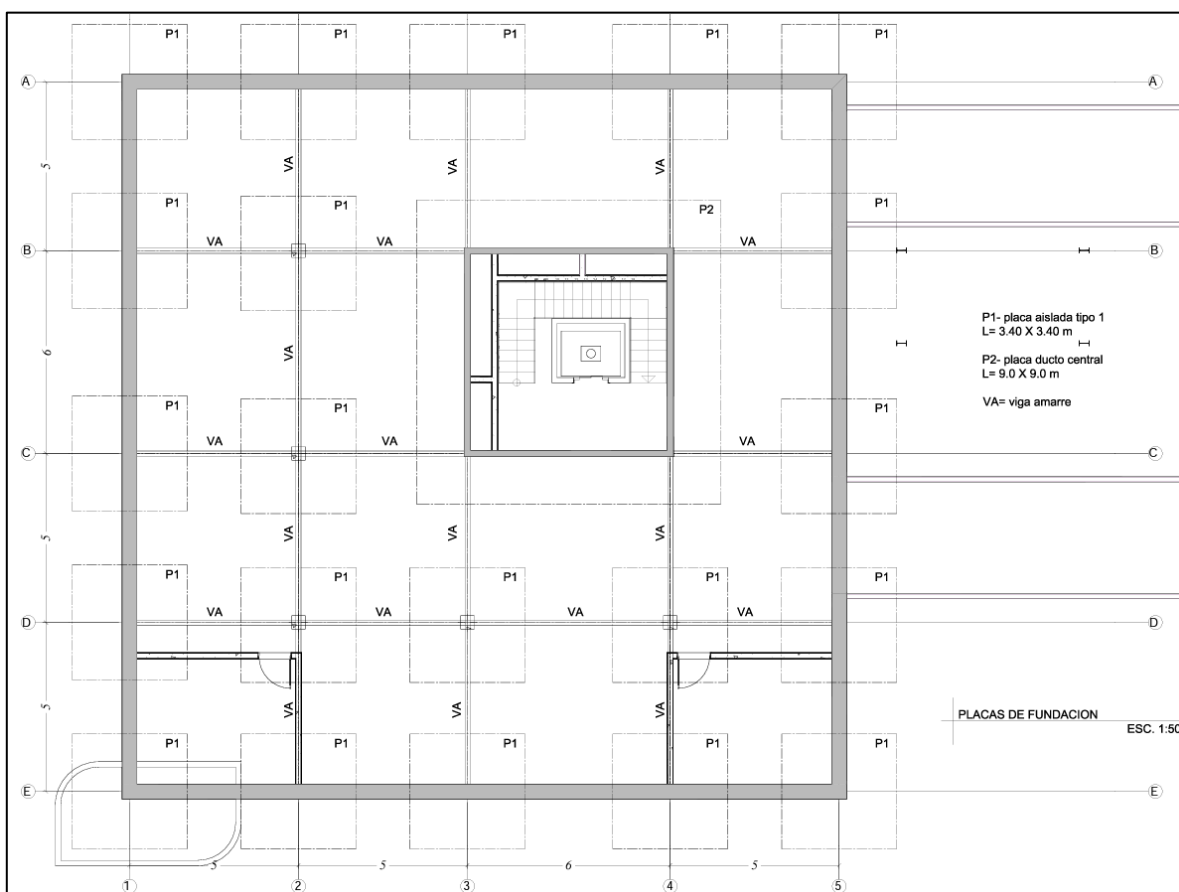


Figura 22. Placas de fundación del edificio prototipo

Fuente: (BCCR, 2015)

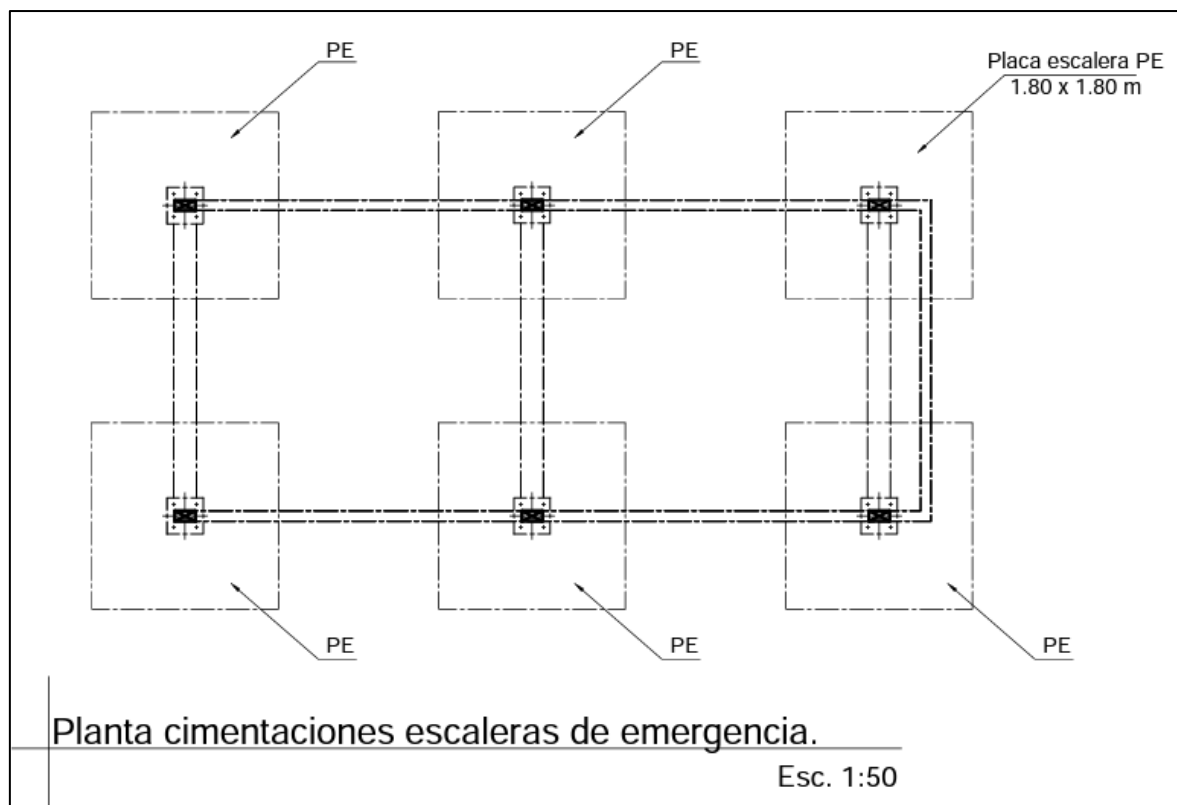


Figura 23. Planta de cimentaciones para las escaleras de emergencia

Fuente: (BCCR, 2015)

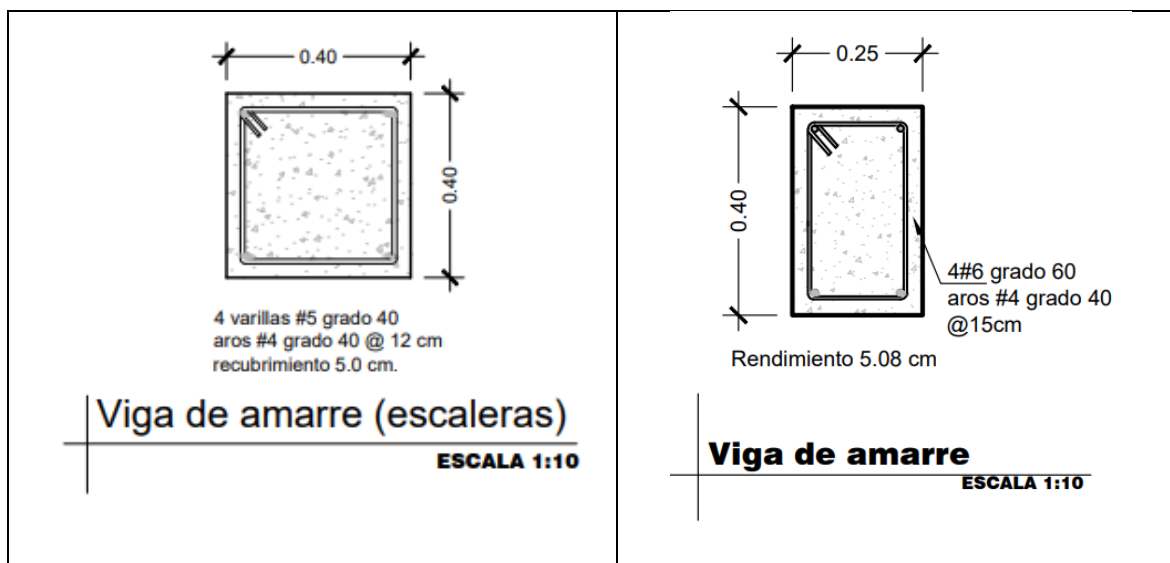


Figura 24. Detalle de vigas de amarre

Fuente: (BCCR, 2015)

Se calculó el volumen de excavación requerido para construir los cimientos y resultó ser 899 m³ como lo indica el Cuadro 34. La placa PA-01 tiene 340 cm de lado y 45 cm de espesor, la PA-02 tiene 900 cm de lado y 55 cm de espesor y la placa PE tiene 180 cm de lado y 25 cm de espesor. Para el cálculo del volumen se utilizó 205 cm de la profundidad de desplante (incluye 5 cm de sello pobre) según indican los planos, además, se calcularon 10 cm de excavación extra en cada lado de todos los elementos para el espacio de las formaletas.

Cuadro 34. Volumen de excavación requerido para el sistema de cimentación de placas aisladas

Tipo de estructura	Volumen unitario (m³)	Cantidad	Volumen total (m³)
Placa aislada PA-01	26,5	21	556
Placa aislada PA-02	173	1	173
Placa aislada PE	8,1	6	49
Viga de amarre 5m	4,6	18	83
Viga de amarre 6m	5,5	2	11
Viga de amarre PE	3,8	7	27
Volumen total (m³)			899

4.1.1.1 Emisiones

Se determinó la huella de carbono por el consumo de combustible de la maquinaria encargada de excavar los 899 m³ de suelo. Se supuso una retroexcavadora comúnmente utilizada en proyectos constructivos a modo de referencia y se calculó el tiempo total requerido para la excavación, utilizando un rendimiento de 0,04 h/m³ según la base de datos de Anglin (2020) para maquinaria de este tipo. Así mismo, se utilizó un consumo de combustible de la retroexcavadora de 15 l/h según su ficha técnica y con esto se obtuvo una demanda total de 539,5 litros. El Cuadro 35 muestra estos resultados.

Cuadro 35. Consumo de combustible de maquinaria de excavación para la cimentación de placas aisladas

Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Rendimiento retroexcavadora	h/m ³	0,04	Fuente: (Anglin, 2020)
Volumen de excavación	m ³	899	
Tiempo de excavación	h	35,97	
Consumo de combustible	l/h	15	Fuente: (Caterpillar, 2018)
Consumo total de diésel	l	539,5	

Para calcular la huella se utilizaron los factores de emisión para el consumo de diésel brindados por el IMN (2021) para el dióxido de carbono, metano y óxido nitroso, considerando la industria de la construcción como la actividad fuente de las emisiones. En el siguiente Cuadro 36 se muestran los resultados obtenidos donde se puede ver una huella de 1,42 t CO_{2e}.

Cuadro 36. Huella de carbono total del sistema de cimentación tipo placas aisladas

Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Dióxido de carbono (CO₂)			
Factor de emisión	kg CO _{2e} /l combustible	2,613	Fuente: (IMN, 2021)
Consumo total de diésel	l	539,5	
Emisión total	kg CO _{2e}	1 409,7	
Metano (CH₄)			
Factor de emisión	g CH ₄ /l combustible	0,122	Fuente: (IMN, 2021)
Consumo total de diésel	l	539,5	
Emisión total	g CH ₄	65,82	
PCG	-	28	Fuente: (IPCC, 2014)
Emisión total	kg CO _{2e}	1,843	
Óxido nitroso (N₂O)			
Factor de emisión	g N ₂ O/l combustible	0,02442	Fuente: (IMN, 2021)
Consumo total de diésel	l	539,5	
Emisión total	g N ₂ O	13,17	
PCG	-	310	Fuente: (IPCC, 2014)

Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Emisión total	kg CO _{2e}	4,084	
Huella de carbono total (kg CO _{2e})		1 415,6	
Huella de carbono total (t CO_{2e})		1,42	

4.1.1.2 Costos

Se presentan los costos de los materiales más representativos como el concreto y el acero de refuerzo utilizados para las cimentaciones, según el presupuesto y reajustados a junio del 2022.

Cuadro 37. Costos asociados al sistema de cimentación tipo placas aisladas

Material	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Placa aislada PA-01				
Concreto premezclado de 210 kg/cm ²	m ³	121	₡ 113 293	₡ 13 708 466
Varilla de acero # 7 deformada, grado 60	und	1 512	₡ 14 299	₡ 21 620 805
Placa aislada PA-02				
Concreto premezclado de 210 kg/cm ²	m ³	49	₡ 113 293	₡ 5 506 045
Varilla de acero # 6 deformada, grado 60	und	368	₡ 9 863	₡ 3 629 697
Placa aislada PE				
Concreto premezclado de 210 kg/cm ²	m ³	6	₡ 113 293	₡ 660 725
Varilla de acero # 3 deformada, grado 40	und	6	₡ 2 182	₡ 13 093
Varilla de acero # 4 deformada, grado 40	und	58	₡ 3 956	₡ 229 457
Varilla de acero # 7 deformada, grado 60	und	5	₡ 14 299	₡ 71 497
Viga de amarre placas aisladas PA-01 y PA-02				
Concreto premezclado de 210 kg/cm ²	m ³	11	₡ 113 293	₡ 1 189 578
Varilla de acero # 4 deformada, grado 40	und	87	₡ 3 956	₡ 344 186
Varilla de acero # 5 deformada, grado 60	und	96	₡ 7 703	₡ 739 516
Viga de amarre placa aislada PE				
Concreto premezclado de 210 kg/cm ²	m ³	3	₡ 113 293	₡ 393 354
Varilla de acero # 4 deformada, grado 40	und	24	₡ 3 956	₡ 94 948
Varilla de acero # 5 deformada, grado 60	und	26	₡ 7 703	₡ 200 286
Costo total				₡ 48 401 653

4.1.2 Cimentación tipo losa flotante

Este es un sistema de cimentación superficial que se utiliza cuando la carga del edificio es elevada y las zapatas aisladas o zapatas corridas no resultan útiles, o bien porque las características mecánicas del suelo lo demanden. Consiste en una sola placa o losa flotante apoyada directamente sobre el terreno que reparte uniformemente las cargas recibidas. La losa está sometida principalmente a esfuerzos de flexión y su espesor será proporcional a estos.

Esta propuesta abarcó un diseño simplificado de la losa flotante, ya que un diseño estructural detallado quedó fuera del alcance de esta investigación, por lo que los resultados fueron aproximados.

El espesor de la losa se consideró de 55 cm porque fue el mayor espesor utilizado en las zapatas aisladas (PA-02), por lo tanto, se garantizó que se cumpliera con las longitudes de desarrollo del acero de refuerzo en la base de las columnas, con los recubrimientos y con la resistencia ante las mayores cargas que transmite la estructura, ya que las placas aisladas también cumplieron con esto. De igual manera se sugirió la misma profundidad de desplante que en las placas aisladas con una longitud de 205 cm.

Se propuso una losa de 21 m de largo y de ancho, unida a otra de 7,5 m x 3,0 m que sirve a las escaleras. Se determinó esta área ya que cubre toda la huella del edificio y de esta manera se garantizó que se cumpliera con la resistencia que se requiere por las cargas transmitidas, ya que el área de cobertura es mayor con respecto al de las placas aisladas y si estas resisten con menos área entonces la losa lo hará con mayor ventaja.

Por otro lado, se siguieron las especificaciones dadas por el código de diseño ACI 318-19 para calcular la cantidad de acero de refuerzo, la separación entre las varillas y el recubrimiento.

Para el refuerzo longitudinal y transversal se utilizó el mínimo especificado por el código de diseño, calculado a través de la Ecuación 2. Mediante la Ecuación 3 se obtuvo el espaciamiento entre las varillas de acero y con ello finalmente determinar el número y grado requerido. Se utilizó varilla número cuatro de grado 40 cada 35 cm a lo largo y ancho de la losa de tal manera que se forme una malla de acero y se coloque en la parte superior e inferior.

$$A_s \text{ mín} = 0,0018 * b * h \quad [2]$$

Donde:

$A_{s\ min}$: Acero de refuerzo mínimo [cm^2]

b : Longitud de losa [cm]

h : Espesor de losa [cm]

$$S = 38 * \frac{2\ 800}{f_s} - 2,5 * C_c \quad [3]$$

Donde:

S : Espaciamiento máximo para el refuerzo longitudinal y transversal [cm]

f_s : Esfuerzo en el refuerzo calculado para las cargas de servicio = $\frac{2}{3}f_y$ [kg/cm^2]

Con f_y como resistencia a la fluencia del acero de refuerzo [kg/cm^2]

C_c : Recubrimiento libre a la cara de tracción [cm]

El siguiente Cuadro 38 muestra las características antes mencionadas de la losa flotante y el Cuadro 39 señala el volumen total de excavación considerando los 10 cm extras por la formaleta.

Cuadro 38. Características de diseño de la losa flotante propuesta

Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Espesor de losa	cm	55	
Longitud de losa principal	cm	2 100	
Ancho de losa principal	cm	2 100	
Longitud de losa escalera	cm	750	
Ancho de losa escalera	cm	300	
Profundidad de desplante	cm	205	
Refuerzo mínimo longitudinal y transversal	cm^2	228	Según ACI 318-19
Espaciamiento para el refuerzo longitudinal y transversal	cm	35	Según ACI 318-19
Recubrimiento	cm	7,5	Según ACI 318-19
Resistencia a la fluencia para acero grado 40	kg/cm^2	2 800	

Cuadro 39. Volumen de excavación requerido para el sistema de cimentación de losa flotante

Tipo de estructura	Volumen de excavación (m ³)	Cantidad	Volumen total (m ³)
Losa flotante principal	921	1	921
Losa flotante escaleras	50	1	50
Volumen total (m³)			971

1.1.1.1 Emisiones

Para calcular la huella de carbono se aplicó el mismo procedimiento que en las placas aisladas, obedeciendo a los mismos rendimientos y consumo de la maquinaria e iguales factores de emisión para el diésel. En este caso se obtuvo un tiempo y consumo total aproximado de 11,4 horas y 171 litros respectivamente y esto llevó a una huella de 0,448 t CO_{2e}.

Cuadro 40. Consumo de combustible de maquinaria de excavación para la cimentación de losa flotante

Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Rendimiento retroexcavadora	h/m ³	0,04	Fuente: (Anglin, 2020)
Volumen de excavación	m ³	971	
Tiempo de excavación	h	38,84	
Consumo de combustible	l/h	15	Fuente: (Caterpillar, 2018)
Consumo total de diésel	l	582,6	

Cuadro 41. Huella de carbono total del sistema de cimentación tipo losa flotante

Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Dióxido de carbono (CO₂)			
Factor de emisión	kg CO _{2e} /l combustible	2,613	Fuente: (IMN, 2021)
Consumo total de diésel	l	582,6	
Emisión total	kg CO _{2e}	1 522	
Metano (CH₄)			
Factor de emisión	g CH ₄ /l combustible	0,122	Fuente: (IMN, 2021)
Consumo total de diésel	l	582,6	
Emisión total	g CH ₄	71,08	
PCG		28	Fuente: (IPCC, 2014)

Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Emisión total	kg CO _{2e}	1,99	
Óxido nitroso (N₂O)			
Factor de emisión	g N ₂ O/l combustible	0,02442	Fuente: (IMN, 2021)
Consumo total de diésel	l	582,6	
Emisión total	g N ₂ O	14,23	
PCG		310	Fuente: (IPCC, 2014)
Emisión total	kg CO _{2e}	4,411	
Huella de carbono total (kg CO _{2e})		1 529	
Huella de carbono total (t CO_{2e})		1,53	

1.1.1.2 Costos

Se incluyeron únicamente los costos por los materiales más representativos como el concreto y acero. En este caso se demandaron 306 m³ de concreto y 1 060 varillas número cuatro que cumplieron con el refuerzo mínimo colocando doble malla en la losa.

Cuadro 42. Costos asociados al sistema de cimentación tipo losa flotante

Material	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Concreto premezclado de 210 kg/cm ²	m ³	306	₡ 113 293	₡ 34 657 495
Varilla de acero # 4 deformada, grado 40, 6 m	und	1 060	₡ 3 956	₡ 4 193 532
Costo total				₡ 38 851 027

4.1.3 Comparación de resultados

La cimentación con placas aisladas y vigas de amarre resultó ser el sistema con menor necesidad de remoción del suelo, a pesar de que las dos opciones son cimentaciones superficiales. Se obtuvo un volumen de excavación de 899 m³ que generó una huella de 1,42 t CO_{2e} para las zapatas aisladas, mientras que en la losa flotante se requerían excavar 971 m³ de terreno generando una huella de 1,53 t CO_{2e}, cuyo aumento fue aproximadamente de 7,2 %.

Este comportamiento era el esperado ya que la losa requiere de mayor área para poder resistir las magnitudes de esfuerzos que no son capaces de recibir el conjunto de placas aisladas. Aunque esta opción representa un sobre diseño para las condiciones de carga que tiene el edificio, se decidió evaluarla dado que es una opción recurrente en la práctica y de esta forma se pudo analizar la variación en la huella de carbono.

En cuanto al aspecto económico, el comportamiento que se obtuvo no fue el esperado, ya que resultó menos costoso la opción de la losa flotante con casi 10 000 000 colones de diferencia. Para el presupuesto de esta solo se consideró el costo del concreto y acero de refuerzo, pero en este último la cantidad calculada abarca solamente el refuerzo mínimo requerido, por lo tanto, cabe la posibilidad que en el diseño detallado se requiera de más acero en zonas específicas y esto aumente el costo.

Con base en el criterio de la menor huella de carbono, el escenario sostenible resultó ser la cimentación con placas aisladas y vigas de amarre, y el escenario a considerar como línea base sería la losa flotante.

4.2 Criterio 6.4.2

Este criterio indica que debe reducirse o evitarse la remoción de suelo y la nivelación e intervención natural del terreno. Además, se incita a recuperar el material intervenido para ser utilizado posteriormente dentro del proyecto y así disminuir la cantidad de acarreos que van hacia la zona de disposición final.

La huella de carbono se centró en cuantificar las emisiones de GEI debidas al transporte del material que sale del terreno para su posterior descarga. Por esa razón, se tomó como línea base el volumen total de suelo extraído señalado en el presupuesto y como escenario sostenible se plantearon propuestas para reducir el volumen de suelo excavado y conservar en el proyecto cierta parte de aquel extraído para su futura reutilización.

RESET presenta como valor de referencia a cumplir que el volumen de terreno de corte en banco a sacar del proyecto por medio de acarreos debe ser inferior al producto de 0,5 por el área de huella de la edificación. Considerando la huella del edificio de 292 m² entonces la cantidad total de suelo que debería salir en acarreos serían 146 m³.

4.2.1 Línea base de emisiones

Se consultó el presupuesto del edificio para identificar el volumen de terreno contemplado en acarreos. Se obtuvieron 252 m³ en la limpieza del terreno como parte de los trabajos preliminares y 2 856 m³ debido a los movimientos de tierras por las fundaciones. En total resultaron ser 3 108 m³ de suelo intervenido a sacar del proyecto, véase Cuadro 43.

Cuadro 43. Suelo removido en el área del proyecto según presupuesto original

Suelo removido	Unidad	Cantidad
Limpieza de terreno	m ³	252
Movimiento de tierras por fundaciones	m ³	2 856
Volumen total (m³)		3 108

El diseño del edificio prototipo considera un sótano de 21 x 21 metros a cuatro metros bajo el nivel de piso terminado. Se destina para parqueos y su acceso es a través de dos rampas, como se puede ver en la Figura 25, además, el volumen de su suelo excavado representa más del 50 % del total.



Figura 25. Identificación del sótano del proyecto y sus accesos

Fuente: (BCCR, 2015)

Modificado por: (Calderón, 2022)

Para calcular la huella de carbono se siguieron los siguientes pasos:

1. Determinar la capacidad de carga del camión de acarreo supuesto.
2. Determinar el consumo de combustible del camión según su ficha técnica.
3. Determinar la capacidad de carga del balde (o cargador) del retroexcavador supuesto.
4. Estimar el tiempo total que demora el camión en completar un viaje (ida y vuelta) y el consumo de combustible.
5. Estimar los viajes totales requeridos y el consumo total de combustible.
6. Aplicar los factores de emisión para el dióxido de carbono, metano y ácido nítrico brindados por el IMN (2021) y con ello obtener el dióxido de carbono equivalente que contiene la huella.

Como parte de la maquinaria utilizada se supuso una vagoneta con capacidad de 18 m³ y un retroexcavador con un balde de 1,2 m³. La información sobre consumo del combustible (diésel) de la vagoneta se obtuvo de su fabricante, este fue de 36 litros por hora y es parte de un consumo medio, el cual aplica cuando el vehículo se desplaza sobre caminos de acarreo en buen estado sin considerarse excelentes, con pocas obstrucciones o irregularidades en funcionamiento continuo, con peso bruto menor al establecido en la ficha técnica. Estos datos también se pueden ver en el Cuadro 44.

Para obtener el tiempo total que demora la vagoneta en completar un viaje se utilizaron las ecuaciones propuestas por Dagostino y Feigenbaum (2002) en su libro "Estimating in Building Construction", a continuación, se definen estas ecuaciones y sus variables.

C_c : Capacidad de carga del camión según fabricante.

C_{cB} : Capacidad de carga del camión medida en banco (condición natural del material al considerar su hinchamiento).

C_{balde} : Capacidad de carga del balde del retroexcavador.

C_{baldeB} : Capacidad de carga del balde del retroexcavador medida en banco.

T_{retro} : Tiempo del retroexcavador desde que se bota un baldado, se gira, se extrae y se inicia un nuevo botado.

T_{mc} : Tiempo de maniobra del camión, desde que sale del punto de carga e inicia el recorrido.

T_{carr} : Tiempo en carretera, desde la entrada del proyecto hasta la entrada del punto de descarga.

T_v : Tiempo de volteo y botado que tarda la vagoneta en descargar el material.

T_c : Tiempo promedio que tarda el camión en ser llenado.

T_p : Tiempo que tarda el camión en posicionarse para ser cargado.

T_{vc} : Tiempo total por viaje del camión, considera: ser cargado, maniobrar, viajar cargado, botar, regresar vacío y posicionarse para ser cargado.

$$C_{cB} = \frac{C_c}{1 + \text{hinchamiento}} \quad [4]$$

$$C_{baldeB} = \frac{C_{balde}}{1 + \text{hinchamiento}} * \text{factor}_{\text{llenado}} \quad [5]$$

$$T_c = \frac{C_{cB}}{C_{baldeB}} * T_{\text{retro}} + T_{mc} - T_{\text{retro}} \quad [6]$$

$$T_{vc} = T_{mc} + 2T_{carr} + T_v + T_p \quad [7]$$

Siguiendo el proceso descrito anteriormente y las ecuaciones planteadas, se estimaron un total de 224 viajes que demandaron 14 603 litros de diésel. El Cuadro 44 muestra todos los resultados obtenidos.

Cuadro 44. Parámetros considerados en el cálculo del consumo de combustible para acarreos

Parámetro	Unidad	Cantidad	Comentario
Rendimientos maquinaria			
C_c	m^3	18	Fuente: (Caterpillar, 2014) (a ras)
C_{cB}	m^3	14	Con 30 % de hinchamiento
C_{balde}	m^3	1,2	Fuente: (Caterpillar, 2014) (a ras)
C_{baldeB}	m^3	1,1	Con un factor de llenado de 1,2
Consumo combustible camión	l/h	36	Fuente: (Caterpillar, 2014)
Tiempos estimados			
T_{retro}	min	0,45	Fuente: (Dagostino y Feigenbaum, 2002)

Parámetro	Unidad	Cantidad	Comentario
T_{mc}	min	0,88	Fuente: (Dagostino y Feigenbaum, 2002)
T_{carr}	min	50	Fuente: (Google Maps, 2022)
T_v	min	0,63	Fuente: (Dagostino y Feigenbaum, 2002)
T_c	min	6,05	Ecuación 6
T_p	min	0,88	Fuente: (Dagostino y Feigenbaum, 2002)
T_{vc}	min	108	Ecuación 7
Resultados finales			
T_{vc}	h	1,81	
Combustible por viaje	l	65	
Viajes totales	und	224	
Combustible total	l	14 603	

Con el volumen total de combustible requerido se pudo calcular la emisión de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso aplicando los factores de emisión respectivos para el diésel y el potencial de calentamiento global (PCG) que permitió convertirlos a dióxido de carbono equivalente. Estos resultados se señalan en el Cuadro 45 donde se aprecia una huella de 38,3 t CO_{2e}.

Cuadro 45. Huella de carbono total del criterio RESET 6.4.2 para la línea base

Parámetro	Unidad	Cantidad	Comentario
Dióxido de carbono (CO₂)			
Factor de emisión	kg CO _{2e} /l combustible	2,613	Fuente: (IMN, 2021)
Consumo total de diésel	l	14 603	
Emisión total	kg CO _{2e}	38 157	
Metano (CH₄)			
Factor de emisión	g CH ₄ /l combustible	0,122	Fuente: (IMN, 2021)
Consumo total de diésel	l	14 603	
Emisión total	g CH ₄	1 781,5	

Parámetro	Unidad	Cantidad	Comentario
PCG		28	Fuente:(IPCC, 2014)
Emisión total	kg CO _{2e}	49,9	
Óxido nítrico (N₂O)			
Factor de emisión	g N ₂ O/l _{combustible}	0,02442	Fuente: (IMN, 2021)
Consumo total de diésel	l	14 603	
Emisión total	g N ₂ O	356,6	
PCG		310	Fuente: (IPCC, 2014)
Emisión total	kg CO _{2e}	110,6	
Huella de carbono total (kg CO _{2e})		38 317	
Huella de carbono total (t CO_{2e})		38,3	

4.2.1.1 Costos asociados

Para analizar el impacto en el presupuesto por evaluar este criterio de RESET, se identificaron los elementos estructurales que podrían verse disminuidos por la reducción en las excavaciones del proyecto y se obtuvieron sus costos totales de acuerdo con el presupuesto y reajustados a junio 2022. De igual forma se presentó el costo total por el acarreo del volumen original de terreno.

Cuadro 46. Costos asociados a la línea base del criterio RESET 6.4.2

Estructura	Costo total
Columnas	Ø 4 817 848
Muro ducto	Ø 14 216 978
Vigas de entrepiso	Ø 8 993 947
Losa entrepiso	Ø 17 571 705
Losa de piso	Ø 27 253 495
Escaleras principales	Ø 769 343
Paredes de cerramiento	Ø 935 713
Placa aislada P1	Ø 39 172 513
Vigas de amarre	Ø 2 273 280
Viajes de vagonetas	Ø 15 024 816
Total	Ø 131 029 637

4.2.2 Evaluación del criterio RESET

Para disminuir la cantidad de viajes por el acarreo se plantearon dos propuestas, la primera, consistió en conservar el suelo excavado para que se reutilice posteriormente en el relleno del zacate block de la zona del parqueo externo, en la capa vegetal de la zona verde intervenida y en pequeños taludes de una zona extra de jardín propuesta. En la Figura 26 se pueden identificar las dos primeras áreas; el jardín extra se pretende ubicar a un costado del edificio ya que el terreno cuenta con mayor área de la que se observa en la Figura 26.



Figura 26. Identificación de zacate block y zona verde del proyecto

Fuente: (BCCR, 2015)

Modificado por: (Calderón, 2022)

Así mismo, se propuso reducir la cantidad de terreno de excavación eliminando 126 m² del sótano, de tal forma que sea utilizado solamente por los residentes de los tres apartamentos del edificio y dejando dos espacios de parqueo para cada uno.

En la Figura 27 se puede apreciar señalado en naranja el área que sería eliminada, en la cual, originalmente se ubicaban dos bodegas que pasarían a ubicarse en la zona señalada de azul.

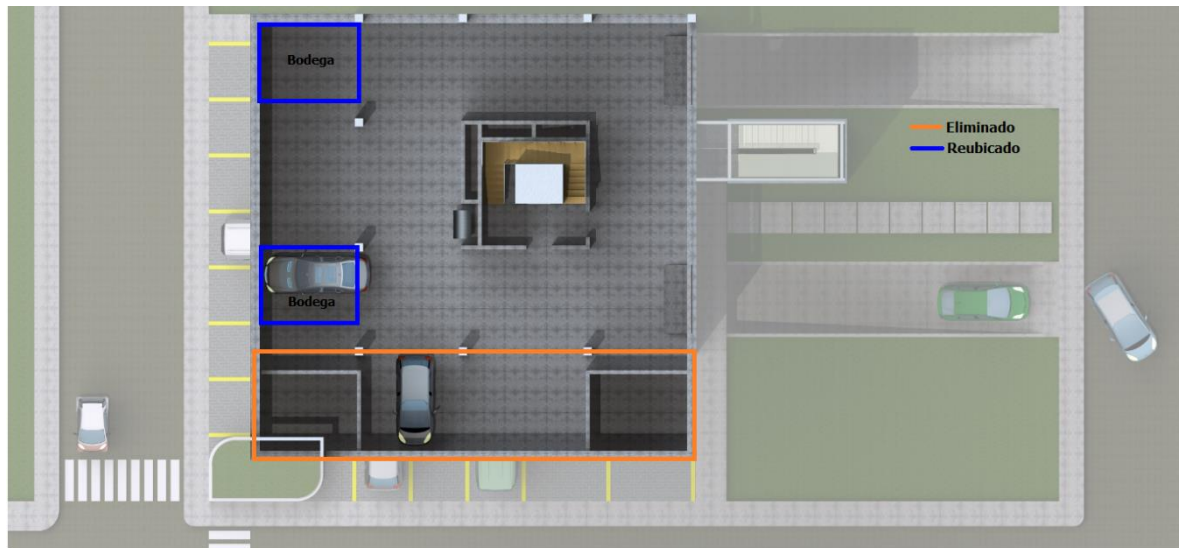


Figura 27. Sótano modificado

Fuente: (BCCR, 2015)

Modificado por: (Calderón, 2022)

La zona del sótano eliminada se ubica entre los ejes D-E y 1-5 del proyecto, y en consecuencia los cimientos ahí ubicados se pueden descartar ahorrando de esta manera excavaciones. La Figura 28 señala en naranja las placas aisladas y vigas de amarre que se eliminarían y en azul los muros que deben reubicarse.

Esta propuesta también tiene un impacto en el presupuesto ya que se ocuparían menos recursos para la construcción del contrapiso del sótano y losa y vigas del entrepiso.

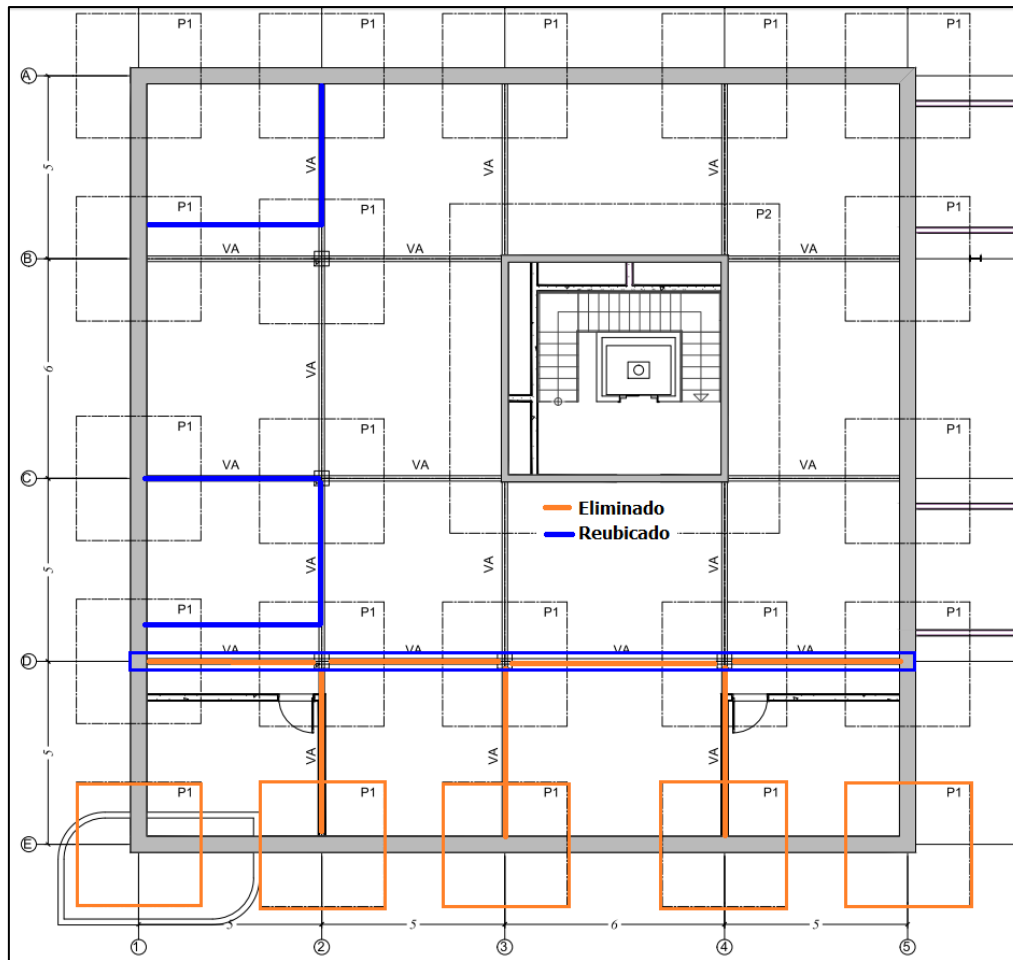


Figura 28. Cimentaciones afectadas por disminución de área de sótano

Fuente: (BCCR, 2015)

Modificado por: (Calderón, 2022)

El Cuadro 47 contiene los volúmenes de suelo reservado o ahorrado debido a las estrategias mencionadas. Se puede notar que se consiguió un total de 900 m^3 menos de terreno y esto dejó como resultado un total de $2\,208 \text{ m}^3$ de terreno por acarrear (véase Cuadro 48). Así mismo, el Cuadro 49 señala la nueva cantidad total de viajes y el consumo de combustible requerido.

Finalmente, se calculan las emisiones de GEI para $10\,373$ litros de diésel de la misma forma que en la línea base, en este caso se generó una huella de $27,2 \text{ tCO}_{2e}$ como lo muestra el Cuadro 50.

Cuadro 47. Volumen de suelo reservado o ahorrado debido a estrategias implementadas

Volumen de suelo reservado	Unidad	Cantidad
Zacate block	m ³	13
Capa vegetal zona verde intervenida	m ³	61
Taludes para jardín	m ³	93
Sótano	m ³	567
Cimientos	m ³	166
Total (m³)		900

Cuadro 48. Nuevo volumen de suelo para viajes de acarreo

Volumen de suelo	Unidad	Cantidad
Suelo original a sacar del proyecto	m ³	3 108
Suelo reservado	m ³	900
Suelo nuevo a sacar del proyecto	m ³	2 208

Cuadro 49. Nuevo consumo de combustible para viajes de acarreo

Parámetro	Unidad	Cantidad
Tiempo total por viaje del camión (T _{vc})	h	1,81
Consumo de combustible por cada viaje	l	65
Viajes totales	und	159
Consumo total de combustible	l	10 373

Cuadro 50. Huella de carbono total del criterio RESET 6.4.2 para el escenario sostenible

Parámetro	Unidad	Cantidad	Comentario
Dióxido de carbono (CO₂)			
Factor de emisión	kg CO _{2e} /l combustible	2,613	Fuente: (IMN, 2021)
Consumo total de diésel	l	10 373	
Emisión total	kg CO _{2e}	27 106	
Metano (CH₄)			

Parámetro	Unidad	Cantidad	Comentario
Factor de emisión	g CH ₄ /lcombustible	0,122	Fuente: (IMN, 2021)
Consumo total de diésel	l	10 373	
Emisión total	g CH ₄	1265,5	
PCG		28	Fuente: (IPCC, 2014)
Emisión total	kg CO _{2e}	35,4	
Óxido nítrico (N₂O)			
Factor de emisión	g N ₂ O/lcombustible	0,02442	Fuente: (IMN, 2021)
Consumo total de diésel	l	10 373	
Emisión total	g N ₂ O	253,3	
PCG		310	Fuente: (IPCC, 2014)
Emisión total	kg CO _{2e}	78,53	
Huella de carbono total (kg CO _{2e})		27 219	
Huella de carbono total (t CO_{2e})		27,2	

4.2.2.1 Costos asociados

Debido a las estrategias implementadas, varios elementos estructurales se eliminaron del diseño original, por eso, se determinó el porcentaje que representa esta disminución con respecto al total y de esa forma se aplicó este descuento al costo total original para establecer el ahorro.

Además de lograr el ahorro en los costos por los acarrees, también se consiguió en las vigas de entrepiso, las losas de piso y entrepiso, las placas aisladas y las vigas de amarre. El Cuadro 51 detalla todos los resultados.

Cuadro 51. Costos asociados al escenario sostenible del criterio RESET 6.4.2

Estructura	Costo total	Disminución	Nuevo costo
Columnas	∅ 4 817 848	0 %	∅ 4 817 848
Muro ducto	∅ 14 216 978	0 %	∅ 14 216 978
Vigas de entrepiso	∅ 8 993 947	30 %	∅ 6 295 763
Losa entrepiso	∅ 17 571 705	22 %	∅ 13 760 974
Losa de piso	∅ 27 253 495	22 %	∅ 21 343 098
Escaleras principales	∅ 769 343	0 %	∅ 769 343

Estructura	Costo total	Disminución	Nuevo costo
Paredes de cerramiento	∅ 935 713	0 %	∅ 935 713
Placa aislada P1	∅ 39 172 513	24 %	∅ 29 845 724
Vigas de amarre	∅ 2 273 280	35 %	∅ 1 477 632
Viajes de vagonetas	∅ 15 024 816	29 %	∅ 10 673 208
Total	∅ 131 029 637		∅ 104 136 280
Ahorro	∅		26 893 357

4.2.3 Comparación de resultados

4.2.3.1 *Emisiones de GEI*

La huella de carbono disminuyó aproximadamente un 29 % al pasar de 38,3 a 27,2 toneladas de dióxido de carbono equivalente. La cantidad de viajes por acarreo del material al evaluar el criterio fue de 159 versus los 224 de la línea base y esto generó un ahorro de 4 230 litros de combustible.

Además, no se cumplió con el valor de referencia establecido por la norma, ya que el volumen de suelo a sacar del proyecto fue de 2 208 m³ en lugar de los 146 m³ requeridos, a pesar de disminuir el 29 % de los acarreos.

4.2.3.2 *Costos*

Se obtuvo un ahorro en el presupuesto del 20,5 % al implementar las estrategias sostenibles. El aspecto más influyente fue descartar el área del sótano porque causó una disminución en la demanda de recursos para la construcción de los cimientos y estructuras de piso y contrapiso ubicados en el área eliminada.

4.3 **Criterio 6.4.18 y 6.4.19**

Estos dos criterios se encuentran bajo el objetivo de RESET de minimizar el uso de agua potable para el riego. Para cumplirlo, el criterio 6.4.18 propone utilizar especies adaptadas al régimen pluvial del lugar y de esta forma disminuir la necesidad de riego constante. Y el requisito 6.4.19 plantea utilizar un sistema de riego eficiente que evidencie el aprovechamiento de las aguas tratadas o agua de lluvia.

Se evaluaron estos dos criterios en conjunto ya que el objetivo es igual para ambos y se planteó una propuesta general para cumplir con sus requisitos. Se calculó un mismo consumo base al

suponer el sistema de riego por aspersión con agua potable, versus el escenario sostenible donde no se tiene demanda de irrigación por la implementación de especies autóctonas, sin embargo, si el riego es necesario se previó que sea de agua residual tratada.

4.3.1 Línea base de emisiones

El diseño del edificio prototipo no considera una zona para jardín, solo contiene área verde cerca de las rampas de acceso del sótano como lo muestra la Figura 29, por lo tanto, se propuso implementar un área al costado que sea dedicada a la permanencia de vegetación que embellezcan la fachada e inspire un mejor ambiente para los usuarios.

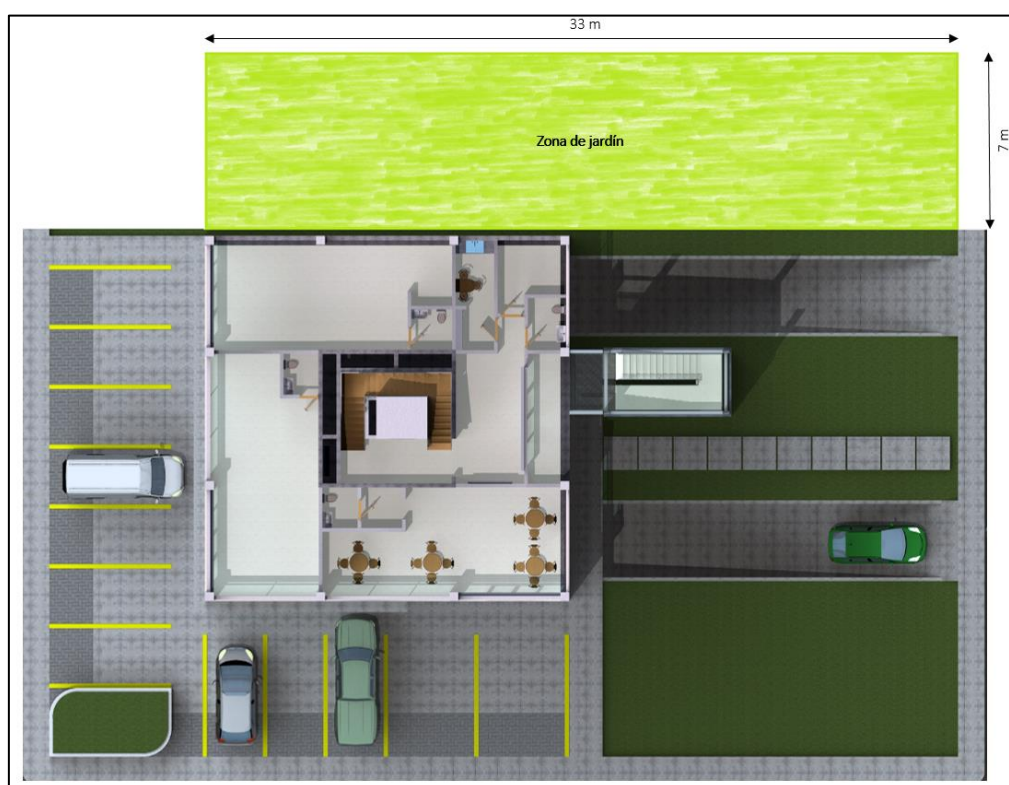


Figura 29. Área de jardín propuesta

Fuente: (BCCR, 2015)

Modificado por: (Calderón, 2022)

Para calcular la línea base se consideró el consumo de agua potable necesario para regar la zona verde diariamente durante un año. El Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) (2021), publicó una dotación de cinco litros por metro cuadrado diarios para jardines y parques en general, en su *Manual Técnico de Dotaciones de Agua*, por lo tanto, se utilizó este dato bajo el supuesto que el jardín se regaría la misma cantidad de agua diariamente. La zona de riego

es de 231 m² y se obtuvo un consumo de agua diario y anual de 1 155 y 421 575 litros respectivamente como se aprecia en el Cuadro 52.

Cuadro 52. Consumo de agua potable anual por riego de jardín

Parámetro	Unidad	Cantidad
Dotación para jardines y parques en general	l/m ² /día	5
Área de jardín	m ²	231
Consumo de agua diario	l/día	1 155
Consumo de agua anual	l/año	421 575

Para calcular la huella de carbono se utilizó el factor de emisión presente en el "Inventory of Carbon and Energy" realizado en la Universidad de Bath por Hammond y Jones (2011). Este contempla el carbono incorporado del producto desde la cuna hasta la puerta, por lo tanto, considera los procesos desde la extracción, tratamiento y almacenamiento del agua hasta el momento en que sale de la fábrica o empresa de acueductos.

Cabe señalar, que el valor del factor de emisión depende de la integralidad del proceso que conlleva dotar a la población de agua potable, ya que las emisiones de GEI varían si para ello se llevan a cabo procesos químicos o industriales de mayor impacto ambiental o demanda energética. Por lo tanto, va a depender del contexto económico, social y ambiental de cada país o región.

Se vio en la necesidad de usar este factor ya que a nivel nacional no se cuenta con un análisis de ciclo de vida para la dotación de agua potable. Por lo tanto, se debe tener presente la limitación que conlleva su uso, pues hace referencia a la realidad del Reino Unido y la Unión Europea.

El Cuadro 53 presenta los resultados obtenidos de donde se puede notar una huella de 0,422 toneladas de dióxido de carbono.

Cuadro 53. Huella de carbono total de criterios RESET 6.4.18 y 6.4.19 para la línea base

Parámetro	Unidad	Cantidad	Comentario
Factor de emisión	kg CO _{2e} /kg agua	0,001	Fuente: (Hammond y Jones, 2011)

Parámetro	Unidad	Cantidad	Comentario
Consumo de agua anual	m ³ /año	422	
Factor de conversión	kg/m ³	1 000	Densidad promedio del agua potable
Consumo de agua anual	kg	421 575	
Emisión total anual	kg CO _{2e} /año	422	
Huella de carbono total (t CO_{2e})		0,422	

4.3.1.1 Costos asociados

No se incluyeron los costos en este escenario base ni en el sostenible debido a que el presupuesto del proyecto no abarcó aquellos relacionados con el sistema de riego, ni se contó con la trazabilidad suficiente para poder calcularlos según la concepción original del diseño, por lo tanto, al incluirlos, los resultados no reflejarían una línea base precisa.

Por otro lado, aquellos costos relacionados con el gasto de agua o electricidad quedan fuera del alcance de esta investigación, dado que solo se cuantifican los costos directos como los materiales y mano de obra.

4.3.2 Evaluación del criterio RESET

Para evaluar los dos criterios se estableció una huella de carbono con cero emisiones ya que no se utilizaría el agua potable para el riego del jardín. Se supuso un escenario donde se utilizan especies autóctonas que sean resistentes y se adapten de mejor manera a la situación climática de la zona del proyecto y así ser capaces de enfrentar los periodos secos sin la necesidad del riego. A pesar de eso, se previó la posibilidad de que las especies necesitaran hidratarse debido al impacto que está teniendo el cambio climático en los patrones meteorológicos y por ello se consideró un sistema de riego por aspersion utilizando el agua tratada del edificio.

Cuadro 54. Huella de carbono total de criterios RESET 6.4.18 y 6.4.19 para el escenario sostenible

Parámetro	Unidad	Cantidad	Comentario
Factor de emisión	kg CO _{2e} /kg agua	0,001	Fuente: (Hammond y Jones, 2011)
Factor de conversión	kg/m ³	1 000	Densidad promedio del agua potable
Consumo de agua anual	kg/año	0,0	

Parámetro	Unidad	Cantidad	Comentario
Emisión total anual	kg CO _{2e} /año	0,0	
Huella de carbono total (t CO_{2e})			0,00

El proyecto se ubica en la provincia de San José específicamente en el cantón de Goicoechea, por lo que la zona de vida asociada es el Bosque Húmedo Premontano (bh-P), según el Mapa Ecológico de Costa Rica elaborado por Bolaños y Watson (1993), basándose en la clasificación de zonas de vida del mundo de Holdridge (1947).

Las zonas de vida tratan sobre un sistema de clasificación ecológica propuesta por Holdridge (1947), el cual las describe como la relación recíproca de los factores climáticos y biológicos al introducir parámetros relacionados con la precipitación, elevación, temperatura, evapotranspiración y biotemperatura, y así definir y delimitar unidades geográficas naturales, las cuales reúnen grupos de ecosistemas o asociaciones vegetales relacionadas entre sí por medio de los factores de temperatura, precipitación y humedad.

Es necesario considerar la zona de vida en la que se encuentra el proyecto para identificar aquellas especies que podrían ser plantadas en el jardín. Dentro del bh-P se pueden encontrar arbustos y árboles de diferentes alturas, algunos de ellos frutales y floreados, diferentes plantas como los helechos, las aráceas, las orquídeas, las trepadoras entre otras especies que pueden embellecer la zona verde sin recurrir a grandes alturas (Cascante y Estrada, 2000).

Por otro lado, cuando las especies necesiten ser regadas se propone de manera general el sistema de irrigación con agua residual tratada. Este consiste en instalar tubería que conecte el efluente de la planta de tratamiento del edificio con un tanque de almacenamiento, desde donde el agua posteriormente pase por un filtro, para ser llevada a la red de tuberías en la zona del jardín donde se encuentran los diferentes aspersores; es probable que se requiera de un sistema de bombeo para este último proceso. La siguiente Figura 30 explica mediante un diagrama lo mencionado anteriormente.

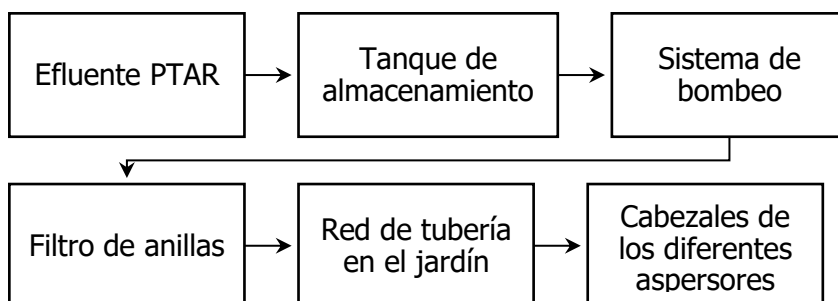


Figura 30. Funcionamiento del sistema de riego por aspersión con agua tratada

- Tanque de almacenamiento:

El tanque de almacenamiento debe ser capaz de retener el agua tratada por un periodo de 24 horas (tiempo de retención) antes que esta circule hacia el sistema de bombeo.

En esta etapa se trata de clorar el agua con la dosis especificada según el respectivo profesional para eliminar la biopelícula que puede formarse por existencia de materia orgánica. Además, debe ser de un material que resista este tipo de contenido y presiones del suelo si estuviese sumergido.

- Sistema de bombeo:

El terreno del proyecto es mayoritariamente plano, sin embargo, es probable que aun en situaciones así, se deba requerir de una bomba hidráulica para dotar de mayor energía el flujo de agua y que llegue hasta la zona del jardín ubicada en una elevación mayor. El tipo y capacidad de la bomba dependerá del caudal, su ubicación, su utilidad y características del fluido a transportar, por lo tanto, el sistema debe ser capaz de movilizar el agua tratada desde el tanque de almacenamiento hasta la superficie donde se encuentra el filtro de anillas. Es preferible que la bomba se conecte a una fuente de energía en lugar de usar combustible para su funcionamiento y que tenga un alto rendimiento energético para disminuir el impacto ambiental.

- Filtro de anillas:

Los filtros de anillas son sistemas de filtración en profundidad compuestos por anillas ranuradas en contacto unas con otras y cuyos canales entre las ranuras constituyen los

canales de filtración. Este sistema es ampliamente utilizado debido a su alta eficiencia y sencilla instalación y mantenimiento, bajos requerimientos de presión y poco consumo de agua y energía para realizar la filtración.

- Red de tubería con aspersores:

Se recomienda este tipo de riego debido a que se trata de agua con cierto porcentaje de sólidos en suspensión que, aunque sea en menor cantidad, puede tender a obstruir las tuberías si se contara con un sistema de riego por goteo, por lo tanto, las tuberías deben cumplir con la presión requerida y contar con un material apto a este tipo de fluidos. Además, el tamaño de su diámetro y su capacidad se escoge en función del caudal demandado.

Se supuso que el sistema de riego solo se utilice en la temporada seca, por ello, es necesario que la tubería que desvía el agua de la PTAR al tanque cuente con llaves que controlen el paso del agua y así puedan cerrarse en temporada lluviosa o cuando no sea necesario el riego, además, en los momentos que sí se realice es preferible que se riegue en la noche o en primeras horas del día para evitar la evaporación y desperdicio del agua.

Cabe señalar que la tubería instalada en la PTAR solo captaría una parte del agua tratada ya que se requieren aproximadamente $1,16 \text{ m}^3$ diarios (Cuadro 52) para el área del jardín, por ello también se debe contar con accesorios que desvíen únicamente este caudal hacia el tanque de almacenamiento. Además, del Capítulo 6 - Optimización en el uso del agua, que se verá más adelante, se obtuvo un efluente de agua tratada de $11,97 \text{ m}^3/\text{día}$ según el consumo de agua de todos los usuarios del edificio.

4.3.2.1 Costos asociados

No se consideraron costos para este escenario según las mismas razones mencionadas para la línea base.

4.3.3 Comparación de resultados

4.3.3.1 Emisiones de GEI

La huella de carbono obtenida fue de $0,422 \text{ t CO}_{2e}$ en la línea base y esta solo consideró el consumo de agua potable utilizando la dotación dada por el MINAE (2021), sin embargo, careció de trazabilidad ya que se presentó como un valor general para parques y jardines

establecido por el AyA, por lo que fue una limitación que afectó en el resultado de la huella. Otra afectación lo representó el uso del factor de emisión según Hammond y Jones (2011), ya que proveniente de un contexto social, económico y ambiental distinto a la situación nacional.

Así mismo, la forma en que se abordó la evaluación de los criterios llevó a reducir las emisiones totalmente ya que no se utilizó agua potable para el riego, sin embargo, esto no significa que las propuestas estén libres de emisiones ya que se identificaron aquellas relacionadas con el consumo de energía eléctrica por el uso del sistema de filtración y de bombeo.

Además, algunos aspectos en las propuestas no fueron detallados ya que no se contó con suficiente información para llegar a un resultado preciso, por lo que estas se plantearon a modo general como referencias de un posible escenario de ahorro. De igual forma, se determinó que es viable obtener agua residual tratada para el riego de un jardín de 231 m² ya que el efluente de la PTAR es significativamente mayor, lo que permitiría incluso que se abarque más área de riego.

4.3.3.2 Costos

Tal como se mencionó, no se cuantificaron costos en ninguno de los dos escenarios.

4.4 Resumen de resultados obtenidos

En esta sección se presenta un resumen de las propuestas y resultados obtenidos sobre la huella de carbono calculada para la línea base y para el escenario sostenible de los criterios seleccionados, así como los costos relacionados.

Los valores positivos representan un aumento en las emisiones o en los costos y los valores negativos significa que hubo un ahorro en estos. Del Cuadro 56 se puede notar que en todos los criterios hubo ahorro en la huella de carbono, con un total de 11,63 t CO_{2e} menos. Los costos se vieron aumentados en el criterio 6.4.1, no variaron para los criterios 6.4.18 y 6.4.19 y disminuyeron para el 6.4.2, el cual tuvo un gran impacto en el presupuesto y por ello se generó un ahorro neto significativo.

Cuadro 55. Resumen de criterios RESET evaluados del Capítulo 4 – Suelos y paisajismo

Criterio RESET	Estrategia sostenible
6.4.1	Sistema de cimentación que minimice la necesidad de intervenir el suelo en general para reducir el consumo de combustible de la maquinaria de excavación.
6.4.2	Conservar el suelo excavado para su posterior re uso en el área del proyecto. Reducir el área del sótano y con ello las excavaciones asociadas.
6.4.18 y 6.4.19	Incorporar especies autóctonas en el área de jardín propuesta para el edificio. Utilizar un sistema de riego por aspersión con agua residual tratada.

Cuadro 56. Resumen de huella de carbono y costos del Capítulo 4 – Suelos y paisajismo

Criterio RESET	Huella línea base (t CO_{2e})	Huella escenario sostenible (t CO_{2e})	Ahorro (-) Aumento (+) (t CO_{2e})	Costos línea base	Costos escenario sostenible	Ahorro (-) Aumento (+)
6.4.1	1,53	1,42	-0,1	₪ 38 851 027	₪ 48 401 653	₪ 9 550 626
6.4.2	38,32	27,22	-11,10	₪ 131 029 637	₪ 104 136 280	-₪ 26 893 357
6.4.18 y 6.4.19	0,42	0,00	-0,42	₪ 0	₪ 0	₪ 0
Total	40,27	28,64	-11,63	₪ 169 880 664	₪ 152 537 934	-₪ 17 342 731

5 CAPÍTULO 5 – MATERIALES

En este capítulo se analizaron los criterios escogidos del apartado de Materiales de la norma RESET. Se estudiaron propuestas para la línea base y el escenario sostenible según indicó el criterio y con ello se obtuvo la huella de carbono y su reducción al evaluar el criterio en dicho escenario. Además, se calcularon los costos de materiales y mano de obra que involucraron esta evaluación y se compararon con los presentados en la línea base.

Cabe señalar, que los criterios están descritos de la misma forma en que se citan en la norma RESET.

5.1 Criterio 6.5.4

El objetivo de este criterio es diseñar de manera modular para reducir el desperdicio de materiales. El valor de referencia a cumplir que solicita la norma es que el edificio se dimensione al menos con base en dos de los siguientes componentes: cubiertas, cerramientos, entresijos, divisiones internas, estructura principal, ventanería, enchapes de pisos y paredes y paredes de mampostería.

En este trabajo, se escogió la modulación para paredes de mampostería y enchapes de pisos. Por lo tanto, para la línea base se consideraron las emisiones de los bloques de concreto y el enchape de piso presupuestados, ya que se calcularon de forma tradicional sin contemplar alguna modulación.

5.1.1 Línea base de emisiones

La cantidad total presupuestada de bloques de concreto es de 14 770 unidades y se utilizan para los cerramientos internos del sótano y de los niveles 3 y 4, así como para un muro estructural. Estos tienen dimensiones de 15 x 20 x 40 cm y generan una huella de 20 798 kg CO_{2e} considerando un factor de emisión de cuna a puerta (Cuadro 57).

En cuanto al acabado del piso se utiliza mayoritariamente cerámicas y porcelanatos en todo el edificio. La cantidad que muestra el Cuadro 57 es la suma de estos dos materiales según el presupuesto, los cuales generaron una huella de 11 656 kg CO_{2e} con un alcance de cuna a puerta para cerámicas en general. Cabe señalar que para obtener el factor de conversión se ponderó el peso por metro de cuadrado de las diferentes cerámicas requeridas según fichas técnicas de proveedores nacionales.

Cuadro 57. Huella de carbono total del criterio RESET 6.5.4 para la línea base

Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Bloques de concreto de 15 x 20 x 40 cm			
Cantidad	unidad	14 770	
Factor de emisión	kg CO _{2e} /kg producto	0,107	Fuente: (Hammond y Jones, 2011)
Factor de conversión	kg/unidad	13,16	Fuente: (Productos de Concreto, 2022)
Factor de emisión nuevo	kg CO _{2e} /unidad	1,408	
Emisiones	kg CO _{2e}	20 798	
Cerámicas y porcelanatos			
Cantidad	m ²	1 155	
Factor de emisión	kg CO _{2e} /kg producto	0,65	Fuente: (Sandí, 2018)
Factor de conversión	kg/m ²	15,53	Valor promedio
Factor de emisión nuevo	kg CO _{2e} /m ²	10,09	
Emisiones	kg CO _{2e}	11 656	
Huella de carbono total (kg CO _{2e})			32 454
Huella de carbono total (t CO_{2e})			32,45

5.1.1.1 Costos asociados

El Cuadro 58 presenta los costos de los bloques de concreto, las cerámicas, los porcelanatos y la mano de obra según el presupuesto del edificio y reajustados a junio 2022.

Cuadro 58. Costos asociados a la línea base del criterio RESET 6.5.4

Material	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Bloque de concreto (15 x 20 x 40 cm)	und	14 770	₡ 615	₡ 9 087 995
Cerámica antideslizante de alto uso 40 x 40 cm	m ²	486	₡ 10 661	₡ 5 181 127
Porcelanato 50 x 50 cm	m ²	464	₡ 31 760	₡ 14 720 732
Cerámica primera calidad 30 x 30 cm	m ²	205	₡ 18 576	₡ 3 808 114
Total materiales				₡ 32 797 969
Total mano de obra				₡ 9 839 391
Costo total				₡ 42 637 360

5.1.2 Evaluación del criterio RESET

Para conocer la disminución de los materiales debido a la modulación, se decidió aplicar un porcentaje de ahorro según distintas fuentes consultadas. En el caso de la modulación con bloques de concreto se consultó a una empresa nacional fabricante de bloques modulares y esta brindó un porcentaje de ahorro según su experiencia en el mercado entre 16 % y 20 %

en comparación a sistemas tradicionales, dado que no requiere corte de los bloques, y se decidió usar el valor promedio. Cabe resaltar que se realizó la consulta a más de una empresa, pero no se utilizaron sus datos ya que no se tuvo una respuesta o no estaban dispuestos a brindar información sobre sus rendimientos.

En el caso de las cerámicas se obtuvo un porcentaje de ahorro de 10 % según la investigación realizada por Cruz (2010) y este dato coincide con el porcentaje de desperdicio comúnmente utilizado en los presupuestos.

El Cuadro 59 presenta los resultados obtenidos para los dos materiales, y se observa una huella de 17 054 kg CO_{2e} y 10 491 kg CO_{2e} para los bloques y las cerámicas respectivamente, generando una disminución de la huella de 4,91 t CO_{2e} con respecto a la línea base.

Cuadro 59. Huella de carbono total del criterio RESET 6.5.4 para el escenario sostenible

Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Bloques de concreto			
Ahorro	%	18	Fuente: (Armabloque, 2022)
Cantidad reducida de bloque convencional	und	12 111	
Factor de emisión	kg CO _{2e} /kg producto	0,107	Fuente: (Hammond y Jones, 2011)
Factor de conversión	kg/und	13,160	Fuente: (Productos de Concreto, 2022)
Factor de emisión nuevo	kg CO _{2e} /und	1,408	
Emisiones	kg CO _{2e}	17 054	
Disminución de emisiones	kg CO _{2e}	3 744	
Cerámicas y porcelanatos			
Ahorro	%	10	Fuente: (Cruz, 2010)
Cantidad reducida	m ²	1 040	
Factor de emisión	kg CO _{2e} /kg producto	0,65	Fuente: (Sandí, 2018)
Factor de conversión	kg/unidad	15,53	Valor promedio
Factor de emisión nuevo	kg CO _{2e} /und	10,09	
Emisiones	kg CO _{2e}	10 491	
Disminución de emisiones	kg CO _{2e}	1 166	
Huella de carbono total (kg CO _{2e})			27 545
Huella de carbono total (t CO_{2e})			27,54
Disminución total de la huella carbono (t CO_{2e})			4,91

5.1.2.1 Costos asociados

A continuación, se presentan los costos de los materiales reducidos y de la mano de obra, según el presupuesto del proyecto y reajustados a junio 2022.

Cuadro 60. Costos asociados al escenario sostenible del criterio RESET 6.5.4

Material	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Bloque de concreto (15x20x40 cm)	und	12 111	₡ 615	₡ 7 452 156
Cerámica antideslizante de alto uso 40x40 cm	m ²	437	₡ 10 661	₡ 4 663 015
Porcelanato importado 50x50 cm	m ²	417	₡ 31 760	₡ 13 248 659
Cerámica primera calidad 30x30 cm	m ²	185	₡ 18 576	₡ 3 427 303
Total materiales				₡ 28 791 133
Total mano de obra				₡ 8 637 340
Costo total				₡ 37 428 472

5.1.3 Comparación de resultados

5.1.3.1 Emisiones de GEI

Se obtuvo una disminución del 15 % en la huella de carbono total al pasar de 32,45 t CO_{2e} a 27,54 t CO_{2e} y la mayor reducción de las emisiones fue debido a la modulación de bloques.

Utilizar sistemas modulares trae consigo también una reducción en diferentes aristas. En el caso de los enchapes de piso, se generan menores residuos de las piezas cerámicas y en la mampostería modular además de ahorrar en los bloques y reducir los residuos, también se ahorra en la madera para formaleta, concreto y acero de las columnas confinadas ya que no hay necesidad de colocarlas, así mismo, se reducen los tiempos de trabajo ya que son sistemas más rápidos de instalar que los tradicionales.

El ahorro en las emisiones de GEI podría ser mayor al evaluar estos otros aspectos, sin embargo, debido al alcance de este trabajo solo se consideró el ahorro en el material principal involucrado.

5.1.3.2 Costos

Aplicar el criterio de RESET implicó una reducción de 12 % en los costos, ya que pasó de 42 637 360 colones a 37 428 472 colones. Además, se observó que los bloques de concreto y el porcelanato tuvieron mayores reducciones con respecto a su costo original.

5.2 Criterio 6.5.5

Este criterio tiene como objetivo utilizar sistemas constructivos livianos no estructurales que representen una reducción de peso de la edificación.

La relación que se encontró entre este requisito y la generación de emisiones de GEI se basó en utilizar cerramientos internos livianos que disminuya el peso de la estructura y por ende las dimensiones de los elementos estructurales, como vigas, columnas, cimientos y entrepisos, generando un escenario donde se demanden menor cantidad de materiales. En contraparte con un escenario donde los cerramientos internos sean de un material más pesado que amerite una mayor resistencia estructural y con ello más materiales como concreto y acero para los diferentes elementos de soporte.

Por lo tanto, se valoró el impacto en la huella de carbono que tiene utilizar el material liviano, como el fibrocemento, en todas las paredes internas del edificio en comparación con su diseño original que cuenta con paredes livianas y de mampostería.

5.2.1 Metodología utilizada

En primer lugar, se calculó el peso de la estructura del edificio contemplando solamente el peso del concreto y del acero para columnas, vigas de entrepiso, losa de entrepiso y contrapiso, placas aisladas, vigas de amarre, muros de concreto, losa de techo y muro de contención. Las cantidades de concreto y acero se obtuvieron del presupuesto y se realizó la conversión al peso utilizando la densidad del concreto y el peso unitario de la varilla respectiva, estos valores se aprecian en el Cuadro 61.

El Cuadro 62 muestra los resultados obtenidos y se observa un peso total de la estructura de 2 406 kg.

Cuadro 61. Densidad del concreto y acero de refuerzo utilizada en los cálculos de peso de la estructura

Parámetro	Unidad	Valor
Densidad concreto	kg/m ³	2400
Peso varilla acero # 3	kg/und	3,36
Peso varilla acero # 4	kg/und	5,96
Peso varilla acero # 5	kg/und	9,31
Peso varilla acero # 6	kg/und	13,41
Peso varilla acero # 7	kg/und	18,25
Peso varilla acero # 8	kg/und	23,84

Parámetro	Unidad	Valor
Losa concreto Lex 15 cm	kg/m ²	187,00
Bloque 15x20x40 cm	kg/und	13,80
Lamina gypsum 1.22x2.44 m, 12mm	kg/und	18,16
Mampostería de bloques de concreto de 15x20x40 cm	kg/m ³	1 534

Cuadro 62. Peso de la estructura principal del edificio

Estructura	Material	Peso (kg)
Columnas	Concreto premezclado de 210 kg/cm ²	189 888
	Varilla de acero # 4 deformada, 6m (G40)	2 570
	Varilla de acero # 8 deformada, 6m (G60)	7 724
Viga entrepiso VE-01	Concreto premezclado de 210 kg/cm ²	146 400
	Varilla de acero # 4 deformada, 6m (G40)	4 264
	Varilla de acero # 5 deformada, 6m (G60)	503
	Varilla de acero # 8 deformada, 6m (G60)	7 628
Viga entrepiso VE-02	Concreto premezclado de 210 kg/cm ²	146 400
	Varilla de acero # 4 deformada, 6m (G40)	4 264
	Varilla de acero # 6 deformada, 6m (G60)	4 291
Losa entrepiso	Losa de concreto LEX de 15 cm	292 655
	Concreto premezclado de 210 kg/cm ²	268 800
	Varilla de acero # 3 deformada, 6m (G40)	9 237
	Varilla de acero # 4 deformada, 6m (G40)	12 483
Losa contrapiso	Concreto premezclado de 250 kg/cm ²	247 200
	Varilla de acero # 3 deformada, 6m (G40)	3 427
	Varilla de acero # 6 lisa, 6m (G60)	550
Placa aislada PA-01	Concreto premezclado de 210 kg/cm ²	290 400
	Varilla de acero # 7 deformada, 6m (G60)	27 597
Placa aislada PA-02	Concreto premezclado de 210 kg/cm ²	96 228
	Varilla de acero # 6 deformada, 6m (G60)	4 935
Placa aislada PA-03	Concreto premezclado de 210 kg/cm ²	12 830
	Varilla de acero # 3 deformada, 6m (G40)	20
	Varilla de acero # 4 deformada, 6m (G40)	346
	Varilla de acero # 7 deformada, 6m (G60)	91
Viga de amarre VA-01	Concreto premezclado de 210 kg/cm ²	26 400
	Varilla de acero # 4 deformada, 6m (G40)	519
	Varilla de acero # 5 deformada, 6m (G60)	894
Viga de amarre VA-02	Concreto premezclado de 210 kg/cm ²	4 224
	Varilla de acero # 4 deformada, 6m (G40)	143
	Varilla de acero # 5 deformada, 6m (G60)	242
Muro ducto MU-01	Concreto premezclado de 210 kg/cm ²	857

Estructura	Material	Peso (kg)
	Varilla de acero # 4 deformada, 6 m (G40)	14
Muro de contención MU-02	Concreto premezclado de 210 kg/cm ²	488 400
	Varilla de acero # 4 deformada, 6m (G40)	3 584
	Varilla de acero # 5 deformada, 6m (G60)	4 405
	Varilla de acero # 8 deformada, 6m (G60)	10 679
Losas de techo	Concreto premezclado de 210 kg/cm ²	79 200
	Varilla de acero # 4 deformada, 6m (G40)	5 576
Peso total estructura edificio (kg CO_{2e})		2 405 869
Peso total estructura edificio (t CO_{2e})		2 406

En segundo lugar, se procedió a calcular el peso de las paredes livianas y de mampostería. Para el cálculo de las paredes livianas solo se contempló el peso de las láminas de gypsum (1,22 x 2,44 m) ya que es el más significativo. Para obtener el peso de la mampostería se utilizó una densidad de 1 534 kg/m³ según Navas & Fonseca (2015) para paredes con bloques de 15 cm de espesor, acero horizontal cada 40 cm y vertical cada 60 cm.

En el siguiente Cuadro 63 se presenta el peso total, considerando el peso de la estructura del edificio, el peso de las paredes de mampostería que cumplen función estructural y el peso de las paredes de mampostería y livianas que sirven de divisiones internas.

Cuadro 63. Peso total del edificio bajo escenario original de paredes divisorias

Peso	Unidad	Valor	Comentario
Estructura del edificio	t	2 406	Cuadro 62
Paredes de cerramiento de mampostería	t	183	Sótano, Niveles 3, 4 y 5
Paredes estructurales de mampostería	t	61,3	Niveles 1 al 5
Paredes de cerramiento livianas	t	3,90	Niveles 1 y 2
Peso total (t)			2 654

Posteriormente, se calculó la cantidad de láminas de gypsum requeridas para que todas las paredes de cerramiento sean livianas. En este caso, se sumaron las paredes de los niveles 3, 4 y 5 y el sótano que originalmente eran de mampostería. Con ello se procedió a obtener el peso total, el cual fue de 9,33 toneladas según el Cuadro 64.

Cuadro 64. Peso de las paredes de cerramiento del edificio suponiendo en su totalidad livianas

Nivel	Paredes livianas de cerramiento	Cantidad	Peso unitario (kg/lámina)	Peso total (t)
Sótano	Lamina gypsum 1.22x2.44 m	20	18,16	355
1	Lamina gypsum 1.22x2.44 m	114	18,16	2 070
2	Lamina gypsum 1.22x2.44 m	101	18,16	1 834
3	Lamina gypsum 1.22x2.44 m	131	18,16	2 375
4	Lamina gypsum 1.22x2.44 m	131	18,16	2 375
5	Lamina gypsum 1.22x2.44 m	18	18,16	323
Peso total (kg)				9 333
Peso total (t)				9,333

Después, se calculó un nuevo peso total bajo el escenario donde se sustituyen las paredes de cerramiento de mampostería por las livianas. Estos resultados se presentan en el Cuadro 65, el cual también contiene la disminución del peso por hacer dicha sustitución.

Cuadro 65. Peso total del edificio bajo escenario modificado de paredes divisorias

Peso	Unidad	Valor	Comentario
Estructura del edificio	t	2 406	Cuadro 62
Paredes de cerramiento de mampostería	t	0	
Paredes estructurales de mampostería	t	61,3	Niveles 1 al 5
Paredes livianas de cerramiento	t	9,33	Sótano, Niveles 1 al 5
Peso total (t)			2 477
Disminución del peso total con cerramientos livianos vs. cerramientos originales			- 6,70 %

La permanencia de paredes de mampostería en comparación con las de fibrocemento, amerita una mayor resistencia en los elementos que componen el sistema estructural del edificio. Una mayor resistencia implica dimensiones mayores y más materiales. Por esa razón, para este informe se hizo la suposición que la disminución obtenida en el peso es directamente proporcional a las dimensiones de los elementos estructurales y con ello calcular la reducción en concreto y acero que se refleje.

Se puso en práctica lo anterior ya que de otro modo involucraría realizar el análisis y diseño estructural respectivo y eso quedó fuera del alcance de este trabajo.

Por lo tanto, se procedió a hacer el análisis en la disminución del área transversal de los elementos; se consideraron columnas, vigas de entrepiso y de amarre, y placas aisladas. El Cuadro 66 muestra las dimensiones y áreas originales de los elementos, así como también la disminución al aplicar el porcentaje obtenido (Cuadro 65).

Se puede notar (Cuadro 66) que solamente los tres tipos de placas aisladas tienen una disminución relevante en sus dimensiones, los demás elementos varían solamente un centímetro aplicando un porcentaje igual o menor al requerido. Esto evidencia que para columnas y vigas debería haber un porcentaje de disminución mayor para que el cambio en las dimensiones sea representativo. Por consiguiente, se decidió medir el impacto de las emisiones solamente por la reducción del concreto requerido en las placas aisladas, dejando la misma cantidad de acero para ser conservador.

Cuadro 66. Dimensiones originales de elementos estructurales y su disminución de área obtenida

Tipo de estructura	Dimensión original (m)	Área original (m ²)	Dimensión disminuida (m)	Área disminuida (m ²)	% Disminución
Columnas	0,40 x 0,40	0,160	0,39 x 0,39	0,152	-4,94 %
Viga entrepiso VE-01	0,50 x 0,25	0,125	0,49 x 0,24	0,118	-5,92 %
Viga entrepiso VE-02	0,50 x 0,25	0,125	0,49 x 0,24	0,118	-5,92 %
Placa aislada PA-01	3,40 x 3,40	11,560	3,29 x 3,29	10,824	-6,37 %
Placa aislada PA-02	9,0 x 9,0	81,000	8,70 x 8,70	75,690	-6,56 %
Placa aislada PA-03	1,8 x 1,8	3,240	1,74 x 1,74	3,028	-6,56 %
Viga de amarre VA-01	0,40 x 0,25	0,100	0,39 x 0,24	0,094	-6,40 %
Viga de amarre VA-02	0,40 x 0,40	0,160	0,39 x 0,39	0,152	-4,94 %

5.2.2 Línea base de emisiones

Para generar la línea base de emisiones se contempló el concreto requerido para las placas de fundación, el fibrocemento para las láminas de las paredes livianas y los bloques de concreto

para las paredes de mampostería, con sus respectivos factores de emisión con un alcance de la cuna a la puerta.

Cabe recordar, que en este escenario se consideró el diseño original del edificio, el cual consiste en paredes internas livianas para los niveles uno y dos, y paredes de mampostería con bloques de concreto de 15 x 20 x 40 cm para el sótano y los niveles tres, cuatro y cinco. Así como también, se consideró el concreto requerido para las dimensiones de las placas originales.

El siguiente Cuadro 67 refleja las emisiones asociadas a los materiales analizados resultando una huella de carbono de 78,11 t CO_{2e}.

Cuadro 67. Huella de carbono total del criterio RESET 6.5.5 para la línea base

Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Placa aislada PA-01			
Concreto requerido	m ³	121,0	Resistencia: 210 kg/cm ²
Factor de emisión	kg CO _{2e} /kg producto	0,1476	Fuente: (Badilla, et al., 2015)
Factor de conversión	kg/m ³	2 400	
Factor de emisión nuevo	kg CO _{2e} /m ³	354	
Emisiones	kg CO _{2e}	42 872	
Placa aislada PA-02			
Concreto requerido	m ³	40,1	Resistencia: 210 kg/cm ²
Factor de emisión	kg CO _{2e} /kg producto	0,1476	Fuente: (Badilla, et al., 2015)
Factor de conversión	kg/m ³	2 400	
Factor de emisión nuevo	kg CO _{2e} /m ³	354	
Emisiones	kg CO _{2e}	14 206	
Placa aislada PA-03			
Concreto requerido	m ³	5,3	Resistencia: 210 kg/cm ²
Factor de emisión	kg CO _{2e} /kg producto	0,1476	Fuente: (Badilla, et al., 2015)
Factor de conversión	kg/m ³	2 400	
Factor de emisión nuevo	kg CO _{2e} /m ³	354	
Emisiones	kg CO _{2e}	1 894	
Láminas de fibrocemento para cerramientos internos			
Cantidad requerida	lámina	215	1,22 m x 2,44 m
Factor de emisión	kg CO _{2e} /kg producto	0,91	Fuente: (Badilla, et al., 2015)
Factor de conversión	kg/lámina	18,16	
Factor de emisión nuevo	kg CO _{2e} /lámina	16,53	
Emisiones	kg CO _{2e}	3 553	
Bloques de concreto para cerramientos internos			
Cantidad requerida	und	11 070	15 x 20 x 40 cm
Factor de emisión	kg CO _{2e} /kg producto	0,107	Fuente: (Hammond y Jones, 2011)

Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Factor de conversión	kg/unidad	13,16	Fuente: (Productos de Concreto, 2022)
Factor de emisión nuevo	kg CO _{2e} /und	1,408	
Emisiones	kg CO _{2e}	15 588	
Huella de carbono total (kg CO _{2e})			78 113
Huella de carbono total (t CO_{2e})			78,11

5.2.2.1 Costos asociados

El Cuadro 68 presenta los costos del concreto premezclado, láminas de fibrocemento, bloques de concreto y mano de obra según el presupuesto del edificio y reajustados a junio 2022.

Cuadro 68. Costos asociados a la línea base del criterio RESET 6.5.5

Material	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Concreto premezclado 210 kg/cm ²	m ³	166	₡ 113 294	₡ 18 856 686
Láminas fibrocemento (1,22 x 2,44 m)	und	215	₡ 19 251	₡ 4 138 973
Bloques de concreto (15 x 20 x 40 cm)	und	11 070	₡ 615	₡ 6 808 050
Total materiales				₡ 29 803 709
Total mano de obra				₡ 8 941 113
Costo total				₡ 38 744 822

5.2.3 Evaluación del criterio

Para evaluar el requisito de RESET se planteó el escenario donde todas las paredes divisorias internas son livianas. Esto produjo una menor demanda del concreto y de bloques para la mampostería, pero aumentó el uso del fibrocemento. El Cuadro 69 contiene las emisiones asociadas a la nueva cantidad del concreto y fibrocemento requerido, en total se obtuvieron 63,68 t CO_{2e}, generando una menor huella que en la línea base.

Cuadro 69. Huella de carbono total del criterio RESET 6.5.5 para el escenario sostenible

Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Placa aislada PA-01			
Concreto requerido	m ³	113,3	Resistencia: 210 kg/cm ²
Factor de emisión	kg CO _{2e} /kg producto	0,1476	Fuente: (Badilla, et al., 2015)
Factor de conversión	kg/m ³	2 400	
Factor de emisión nuevo	kg CO _{2e} /m ³	354	
Emisiones	kg CO _{2e}	40 143	
Placa aislada PA-02			

Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Concreto requerido	m ³	37,5	Resistencia: 210 kg/cm ²
Factor de emisión	kg CO _{2e} /kg producto	0,1476	Fuente: (Badilla, et al., 2015)
Factor de conversión	kg/m ³	2 400	
Factor de emisión nuevo	kg CO _{2e} /m ³	354	
Emisiones	kg CO _{2e}	13 275	
Placa aislada PA-03			
Concreto requerido	m ³	5,0	Resistencia: 210 kg/cm ²
Factor de emisión	kg CO _{2e} /kg producto	0,1476	Fuente: (Badilla, et al., 2015)
Factor de conversión	kg/m ³	2 400	
Factor de emisión nuevo	kg CO _{2e} /m ³	354	
Emisiones	kg CO _{2e}	1 770	
Láminas de fibrocemento para cerramientos internos			
Cantidad requerida	lámina	514	1,22 m x 2,44 m
Factor de emisión	kg CO _{2e} /kg producto	0,91	Fuente: (Badilla, et al., 2015)
Factor de conversión	kg /lámina	18,16	
Factor de emisión nuevo	kg CO _{2e} / lámina	16,53	
Emisiones	kg CO _{2e}	8 493	
Bloques de concreto para cerramientos internos			
Cantidad requerida	und	0	15 x 20 x 40 cm
Factor de emisión	kg CO _{2e} /kg producto	0,107	Fuente: (Hammond y Jones, 2011)
Factor de conversión	kg/unidad	13,16	Fuente: (Productos de Concreto, 2022)
Factor de emisión nuevo	kg CO _{2e} /und	1,408	
Emisiones	kg CO _{2e}	0	
Huella de carbono total (kg CO _{2e})			63 680
Huella de carbono total (t CO_{2e})			63,68
Disminución de la huella de carbono (t CO_{2e})			14,43

5.2.3.1 Costos asociados

A continuación, se presentan los costos de las nuevas cantidades requeridas para el concreto, las láminas de gypsum y los bloques de concreto según el presupuesto del proyecto y reajustado a junio 2022.

Cuadro 70. Costos asociados al escenario sostenible del criterio RESET 6.5.5

Material	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Concreto premezclado 210 kg/cm ²	m ³	156	∅ 113 294	∅ 17 646 522
Láminas de fibrocemento (1,22x2,44 m)	und	514	∅ 19 251	∅ 9 893 408
Bloques de concreto (15x20x40 cm)	und	0	∅ 615	∅ 0
Total materiales				∅ 27 539 930

Material	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Total mano de obra				₡ 8 261 979
Costo total				₡ 35 801 909

5.2.4 Comparación de resultados

5.2.4.1 *Emissiones de GEI*

Según los resultados presentados (Cuadro 69), se pudo notar una disminución significativa en la huella de carbono al pasar de 78,11 tCO_{2e} a 63,68 tCO_{2e}, de manera que, aplicar los requisitos de RESET disminuyó las emisiones totales un 18,5 %.

En la línea base, el 75 % de la huella de carbono se debió al concreto, el 20 % a los bloques de concreto y el 5 % al fibrocemento. Al evaluar el criterio se eliminaron los bloques, pero aumentó 2,4 veces la cantidad de láminas de gypsum, a pesar de ello, las emisiones por el fibrocemento fueron menores en comparación a las producidas por los bloques. Por lo tanto, el principal aspecto que influyó en el ahorro de GEI fue optar por un sistema constructivo liviano no estructural, ya que se logró evitar el uso de bloques y reducir la demanda en concreto de algunos cimientos.

5.2.4.2 *Costos*

Aplicar el criterio de RESET implicó una reducción de 7,6 % en los costos, ya que pasó de 38 744 822 colones a 35 801 909 colones. El costo del concreto fue menor, el costo de los bloques fue nulo ya que no se requerían, y el de las láminas de gypsum aumentó debido a que se necesitaban más, sin embargo, no afectó lo suficiente el costo total.

5.3 **Criterio 6.5.6**

Este criterio plantea reemplazar al menos uno de los materiales más utilizados en estructuras, cerramientos o acabados, por materiales reciclables o con contenido reciclable. En este caso, se sustituyó el bloque de concreto tradicional por un bloque de concreto con plástico reciclado fabricado en el país.

5.3.1 Línea base de emisiones

Bajo el escenario de la línea base, se consideraron las emisiones provocadas por el bloque de concreto utilizando su factor de emisión con alcance de la cuna a la puerta. La cantidad de

material considerada representa la totalidad de bloques de concreto requeridos según el presupuesto, los cuales se utilizan para paredes de mampostería divisorias y estructurales.

Según el Cuadro 71 se obtiene una huella de carbono de 20,80 t CO_{2e} y el factor de conversión utilizado proviene de una ficha técnica para bloque de 15 x 20 x 40 cm de un proveedor nacional únicamente a modo de referencia.

Cuadro 71. Huella de carbono total del criterio RESET 6.5.6 para la línea base

Bloque de concreto tradicional (15 x 20 x 40 cm)			
Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Cantidad	und	14 770	
Factor de emisión	kg CO _{2e} /kg producto	0,107	Fuente: (Hammond y Jones, 2011)
Factor de conversión	kg/und	13,16	Fuente: (Productos de Concreto, 2022)
Factor de emisión nuevo	kg CO _{2e} /und	1,408	
Emissiones	kg CO _{2e}	20 798	
Huella de carbono total	t CO _{2e}	20,80	

5.3.1.1 Costos asociados

Se contempló solamente el costo del bloque de concreto ya que es el más significativo en el análisis del criterio, este se muestra en el Cuadro 72 según el presupuesto del edificio y reajustados a junio 2022. Además, el costo por la pega de bloques sería el mismo independientemente si se utilizan los tradicionales o los ecológicos, por lo tanto, en este caso no se consideró la mano de obra.

Cuadro 72. Costos asociados a la línea base del criterio RESET 6.5.6

Material	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Bloque de concreto (15x20x40 cm)	und	14770	₡ 615	₡ 7 452 156
Costo total				₡ 7 452 156

5.3.2 Evaluación del criterio

Cumplir con el requisito de la norma RESET en este caso involucró utilizar los bloques de concreto con plástico reciclado en lugar del bloque convencional. Sin embargo, no se contó con información sobre el análisis del ciclo de vida de este producto y por ello no se tuvieron datos de su huella de carbono.

Para encontrar el impacto que tiene este material en la huella de carbono, se procedió de la siguiente manera:

- Se calcula el plástico total reciclado por usar el bloque ecológico.
- Se calcula la huella de carbono para esa cantidad de plástico utilizando un factor de emisión para plásticos en general.
- Se resta la huella de carbono del plástico general a la huella de la línea base.
- Se obtiene una huella de carbono neta que refleja la disminución en las emisiones por reciclar el plástico en un bloque de concreto.

Se decidió aplicar el procedimiento anterior porque solamente se contó con la cantidad de plástico reciclado por producto. De esta forma se logró reflejar la disminución de las emisiones por darle un segundo uso al plástico evitando una nueva producción por la cantidad requerida para producir los bloques.

Cada bloque de concreto tiene incorporado aproximadamente 0,73 kg de plástico reciclado, esto genera una cantidad total de 10 782 kg. Las emisiones que se generarían si se produjera dicha cantidad son de 20 917 kg CO_{2e}, las cuales son las mismas emisiones que se ahorran por ser un material reutilizado y se obtiene una huella de carbono neta negativa ya que este ahorro es mayor que la línea base.

Cuadro 73. Huella de carbono total del criterio RESET 6.5.6 para el escenario sostenible

Bloque de concreto con plástico reciclado (15 x 20 x 40 cm)			
Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Cantidad de producto	und	14 770	
Contenido de plástico reciclado	kg/bloque	0,73	Fuente: (Pedregal, 2022)
Contenido de plástico reciclado total	kg	10 782	
Factor de emisión plástico en general	kg CO _{2e} /kg producto	1,94	Fuente: (Sandí, 2018)
Huella de carbono del plástico general (ahorrada)	kg CO _{2e}	20 917	
Huella de carbono línea base	kg CO _{2e}	20 798	
Huella de carbono neta (kg CO _{2e})			-119
Huella de carbono neta (t CO_{2e})			-0,119

5.3.2.1 Costos asociados

Se incluyeron los mismos parámetros que en la línea base y la principal diferencia fue el incremento del costo del bloque ecológico según el proveedor consultado. El Cuadro 74 presenta los resultados obtenidos.

Cuadro 74. Costos asociados al escenario sostenible del criterio RESET 6.5.6

Material	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Bloque de concreto (15 x 20 x 40 cm)	und	14 770	₡ 728	₡ 10 748 424
Costo total				₡ 10 748 424

5.3.3 Comparación de resultados

5.3.3.1 Emisiones de GEI

La línea base generó una huella de carbono de 20,80 t CO_{2e} y evaluar el criterio de RESET generó una de -0,119 t CO_{2e}. Su negativo se debe a que la huella del plástico es mayor a la huella del bloque tradicional, por lo tanto, el ahorro por las emisiones que involucra el plástico fue mayor.

El alcance solo involucró el impacto del plástico en la huella de la línea base, sin embargo, si se contara con un análisis de ciclo de vida para el bloque novedoso, los resultados hubieran sido más precisos.

5.3.3.2 Costos

Cumplir con el requisito de RESET implicó un incremento del 31 % en los costos, ya que pasó de 7 452 156 colones a 10 748 424 colones. La diferencia la marcó el costo unitario del bloque de concreto, que aumentó de 615 colones a 728 colones.

5.4 Criterio 6.5.10

Este criterio pretende incorporar estrategias para proteger las partes expuestas del edificio y el uso de materiales que disminuyen su cambio frecuente. De tal forma que se proteja la superficie y materiales del ambiente exterior y con ello evitar su deterioro prematuro o constante mantenimiento, lo cual, se traduce en menos emisiones relacionadas con las actividades y la demanda de los recursos por conservación.

La estrategia se basó en utilizar una pintura de mejor calidad y protección en el muro de mampostería expuesto del edificio y que tenga una vida útil mayor que la pintura convencionalmente utilizada para exteriores. El impacto en la huella de carbono fue debido a la diferencia en el factor de emisión utilizado para una opción y otra, además porque la diferencia de la vida útil una vez aplicado el producto fue significativa entre estos generando a su vez una protección mayor en el tiempo.

5.4.1 Línea base de emisiones

La pintura que se valoró para este escenario fue la especificada en el presupuesto, con acabado mate a base de agua para exterior. De acuerdo a su precio se pudo inferir que es un producto de calidad promedio, ya que su precio no es cercano a la línea económica ni tampoco a la primera calidad, sin embargo, presenta las características suficientes para ser aplicada en exterior bajo condiciones ambientales regulares.

El Cuadro 75 contiene la huella de carbono para la cantidad requerida de pintura utilizando un factor de emisión de 2,91 kg CO_{2e}/kg producto (de cuna a puerta) que se convierte en 15,48 kg CO_{2e}/gal aplicando un factor de conversión igual al rendimiento del producto según una ficha técnica consultada. Así mismo, se consultó al proveedor sobre la vida útil de aplicación para este tipo de pinturas y brindó un rango entre 3 a 5 años, por lo tanto, se asume el valor promedio.

Cuadro 75. Huella de carbono total del criterio RESET 6.5.10 para la línea base

Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Área expuesta	m ²	400	Muro de mampostería
Rendimiento pintura	m ² /gal	37	Fuente: (Lanco, 2016)
Pintura requerida	gal	11	Pintura exterior base agua
Vida útil pintura aplicada	años	4	Fuente: (Lanco, 2016)
Factor de emisión	kg CO _{2e} /kg producto	2,91	Fuente: (Hammond y Jones, 2011)
Factor de conversión	kg/gal	5,32	Fuente: (Lanco, 2016)
Factor de emisión nuevo	kg CO _{2e} /gal	15,48	
Emisiones	kg CO _{2e}	167,4	
Huella de carbono total (t CO_{2e})			0,167

5.4.1.1 Costos asociados

Se contempló solamente el costo de la pintura ya que es el más significativo en el análisis del criterio, este se muestra en el Cuadro 76 según el presupuesto del edificio y reajustados a junio 2022. Además, no se consideró el costo de la mano de obra ya que es el mismo utilizando esta pintura o la propuesta en el escenario sostenible.

Cuadro 76. Costos asociados a la línea base del criterio RESET 6.5.10

Material	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Pintura de agua mate exterior	gal	11	₪ 20 765	₪ 224 488
Costo total				₪ 224 488

5.4.2 Evaluación del criterio

En este escenario se utilizó una pintura de primera calidad que brinda una alta protección, adherencia, resistencia y durabilidad, además, absorbe CO₂ durante su aplicación y contiene una Declaración Ambiental del Producto (DAP) que la convierte en un material de bajo impacto ambiental (Graphenstone, 2022).

Para obtener la huella de carbono se utilizó el factor de emisión proveniente del análisis de ciclo de vida (de cuna a puerta) especificado en la DAP. Este corresponde a 0,144 kg CO_{2e}/m² y se convierte en 4,90 kg CO_{2e}/gal aplicando un factor de conversión de 34 m²/gal según su ficha técnica.

El siguiente Cuadro 77 refleja los resultados obtenidos junto con la disminución de la huella de carbono con respecto a la línea base.

Cuadro 77. Huella de carbono total del criterio RESET 6.5.10 para el escenario sostenible

Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Área expuesta	m ²	400	Muro de mampostería
Rendimiento pintura	m ² /gal	34	Fuente: (Graphenstone, 2021)
Pintura requerida	gal	12	
Vida útil pintura aplicada	años	10	Fuente: (Graphenstone, 2022)
Factor de emisión	kg CO _{2e} /m ²	0,144	
Factor de emisión nuevo	kg CO _{2e} /gal	4,90	
Emisiones	kg CO _{2e}	57,60	
Huella de carbono total (t CO_{2e})			0,0576
Disminución total de la huella de carbono (t CO_{2e})			0,110

5.4.2.1 Costos asociados

Se calculó el costo de la pintura propuesta y el Cuadro 78 presenta los resultados obtenidos.

Cuadro 78. Costos asociados al escenario sostenible del criterio RESET 6.5.10

Material	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Pintura Biosphere Premium	gal	12	₡ 27 725	₡ 326 176
Costo total				₡ 326 176

5.4.3 Comparación de resultados

5.4.3.1 Emisiones de GEI

Se pudo notar una diferencia significativa en la huella de carbono al utilizar pinturas ecológicas, ya que se obtuvo un ahorro aproximadamente del 66 % en emisiones lo que es igual a 0,11 t CO_{2e} menos (Cuadro 77).

El factor de emisión utilizado para la pintura tradicional es alrededor de 3,2 veces más que el factor de la nueva pintura, además, esta última tiene 6 años de vida útil más, lo que implica mayor durabilidad y resistencia al cambio y deterioro.

El ahorro obtenido considera las emisiones de los materiales en su ciclo de vida de cuna a puerta, sin embargo, este pudo haber sido mayor al considerar también la absorción de CO₂ que tiene la pintura durante su uso y la menor demanda de recursos por pintarse menos frecuente la pared.

5.4.3.2 Costos

Obedecer a las condiciones del criterio RESET significó un aumento total en los costos del 31 %, pasando de 224 488 colones a 326 176 colones. Este incremento se debió al costo unitario de la pintura ecológica ya que fue mayor que la tradicional.

5.5 Criterio 6.5.11

Este criterio solicita que al menos el 30 % del área de las superficies expuestas sea de bajo mantenimiento y de fácil limpieza. En esta ocasión se propuso como área expuesta el muro de mampostería de bloques de concreto, que nace en el nivel uno hasta el nivel cinco en una de las cuatro fachadas del edificio, este es el único muro expuesto que hay ya que las demás fachadas se componen de vidrio.

El análisis de la línea base se centró en cuantificar la huella de carbono que genera el mortero de repello y pintura para la superficie del muro. En contraparte, para la evaluación del criterio se propuso un acabado del muro con la mampostería expuesta, de esta manera se cumple con el objetivo de un menor mantenimiento y facilidad de limpieza.

5.5.1 Línea base de emisiones

El área expuesta del muro de mampostería corresponde a 400 m² y esta superficie demanda 80 sacos de 40 kg de mortero de repello y 11 galones de pintura para exterior considerando dos manos, véase Cuadro 79.

El rendimiento de cada material se obtuvo de fichas técnicas de proveedores únicamente con el fin de tener un dato base. Además, se utilizó pintura de agua mate porque así se indica originalmente en el presupuesto. Finalmente, el uso de revestimiento en el muro genera una huella de carbono de 0,875 t CO_{2e} (Cuadro 79).

Cuadro 79. Huella de carbono total del criterio RESET 6.5.11 para la línea base

Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Superficie expuesta			
Área expuesta	m ²	400	Muro de mampostería
Mortero para repello (5 mm)			
Rendimiento mortero	m ² /saco	5	Fuente: (INTACO, 2022)
Mortero requerido	saco 40 kg	80	
Factor de emisión	kg CO _{2e} / kg producto	0,221	Fuente: (Hammond y Jones, 2011)
Factor de conversión	kg/saco	40	
Factor de emisión nuevo	kg CO _{2e} /saco	8,84	
Emisiones	kg CO _{2e}	707,2	
Pintura de agua mate exterior			
Rendimiento pintura	m ² /gal	37	Fuente: (Lanco, 2016)
Pintura requerida	gal	11	Pintura exterior base agua
Factor de emisión	kg CO _{2e} / kg producto	2,91	Fuente: (Hammond y Jones, 2011)
Factor de conversión	kg/gal	5,32	Fuente: (Lanco, 2016)
Factor de emisión nuevo	kg CO _{2e} /gal	15,48	
Emisiones	kg CO _{2e}	167,4	
Huella de carbono total (kg CO _{2e})			874,6
Huella de carbono total (t CO_{2e})			0,875

5.5.1.1 Costos asociados

El Cuadro 80 presenta los costos de los materiales para el acabado del muro de mampostería y su mano de obra. Se presentan según el presupuesto del edificio y reajustados a junio 2022.

Cuadro 80. Costos asociados a la línea base del criterio RESET 6.5.11

Material	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Mortero para repello de pared	saco 40 kg	80	₡ 4 609	₡ 368 720
Pintura de agua mate exterior	gal	11	₡ 20 765	₡ 224 486
Total materiales				₡ 593 206
Total mano de obra				₡ 696 000
Costo total				₡ 1 289 206

5.5.2 Evaluación del criterio

Implementar los requisitos del criterio redujo las emisiones con respecto a la línea base, pues en esta propuesta no se requirieron materiales de acabado como el repello y la pintura, pero sí un sellador que permita impermeabilizar la pared y protegerla ante la humedad, hongos y demás afectaciones, por lo tanto, las únicas emisiones que se consideraron fueron las de este producto que era necesario para brindar mayor durabilidad a la superficie.

Para el sellador se utilizó el mismo factor de emisión que para la pintura a base de agua para exteriores brindada por Hammond y Jones (2011), ya que no se encontró uno que se refiera específicamente a este tipo de producto. El Cuadro 81 contiene los resultados obtenidos.

Cuadro 81. Huella de carbono total del criterio RESET 6.5.11 para el escenario sostenible

Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Superficie expuesta			
Área expuesta	m ²	400	Muro de mampostería
Mortero para repello grueso			
Mortero requerido	saco 40 kg	0	
Factor de emisión	kg CO _{2e} / kg producto	0,221	Fuente: (Hammond y Jones, 2011)
Factor de conversión	kg/saco	40	
Factor de emisión nuevo	kg CO _{2e} /saco	8,84	
Emisiones	kg CO _{2e}	0	
Pintura de agua mate exterior			
Pintura requerida	gal	0	Pintura exterior base agua
Factor de emisión	kg CO _{2e} / kg producto	2,91	Fuente: (Hammond y Jones, 2011)
Factor de conversión	kg/gal	5,32	Fuente: (Lanco, 2016)

Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Factor de emisión nuevo	kg CO _{2e} /gal	15,48	
Emisiones	kg CO _{2e}	0,0	
Sellador de pared de mampostería			
Rendimiento sellador	m ² /gal	12	Fuente: (Lanco, 2016)
Sellador requerido	gal	34	
Factor de emisión	kg CO _{2e} / kg producto	2,91	Fuente: (Hammond y Jones, 2011)
Factor de conversión	kg/gal	3,05	Fuente: (Lanco, 2016)
Factor de emisión nuevo	kg CO _{2e} /gal	8,88	
Emisiones	kg CO _{2e}	301,8	
Huella de carbono total (kg CO _{2e})			302
Huella de carbono total (t CO_{2e})			0,302

5.5.2.1 Costos asociados

Para establecer una comparación de los costos con respecto a la línea base se deben considerar los mismos parámetros, en este escenario no se requirieron los materiales para el acabado del muro como el mortero de repello y la pintura, por ello, solo se contempló la compra del sellador y el costo de su aplicación.

Cuadro 82. Costos asociados al escenario sostenible del criterio RESET 6.5.11

Material	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Mortero para repello de pared	saco 40 kg	0	₡ 4 609	₡ 0
Pintura de agua mate exterior	gal	0	₡ 20 765	₡ 0
Sellador	gal	34	₡ 28 000	₡ 952 000
Total materiales				₡ 952 000
Total mano de obra				₡ 240 000
Costo total				₡ 1 192 000

5.5.3 Comparación de resultados

5.5.3.1 Emisiones de GEI

Obedecer el criterio RESET se tradujo en un ahorro de la huella de carbono del 65 % con respecto a la línea base. Esta disminución fue producto a las cero emisiones debidas al mortero de repello y la pintura ya que no se ocuparon en la solución planteada, siendo el sellador el único material que aportó las emisiones con un enfoque de ciclo de vida de cuna a puerta.

Estas emisiones fueron posibles de medir al suponer que el factor de emisión del sellador es igual al de una pintura base agua para exterior, ya que no se tuvo información sobre selladores en general.

El acabado de mampostería expuesta es normalmente usado en edificaciones y tiene la ventaja de ser de bajo mantenimiento ya que no cuentan con recubrimientos que deban estarse limpiando o repintando, sin embargo, debe preverse una protección adecuada contra factores ambientales como humedad, calor y otros para brindar mayor durabilidad.

5.5.3.2 Costos

La solución de mantener el muro de mampostería expuesto sin ningún tipo de acabado resultó ser aproximadamente 8 % menos costoso que la versión original (con repello y pintura). Del Cuadro 80 y Cuadro 82 se puede notar que el costo total se mantuvo muy similar en ambos escenarios a pesar de que la solución propuesta solo contempló el sellador, pero fue su costo el más representativo, mientras que en la versión original la mano de obra del repello y pintura hicieron que el presupuesto aumentara a pesar que sus materiales conllevaron un gasto menor.

5.6 Criterio 6.5.12

El criterio 6.5.12 de la norma RESET tiene como objetivo utilizar recursos y materiales de construcción locales, por lo tanto, pretende que estos sean extraídos, cosechados, fabricados y/o manufacturados en el país. Además, pide que al menos el 20 % del presupuesto de estos materiales y productos cumplan con dichas condiciones.

5.6.1 Línea base de emisiones de GEI

El cálculo de la huella de carbono para la línea base se enfocó en las emisiones de los materiales utilizados para el acabado del piso según el presupuesto. El proyecto emplea mayoritariamente cerámicas, seguido de porcelanatos y en menor medida madera laminada. La huella contempló estos materiales más el cemento utilizado para el mortero de pega, sin embargo, se aplicó el mismo factor de emisión para la cerámica y el porcelanato ya que este responde a cerámicas en general según la referencia utilizada.

Los factores de emisión utilizados tuvieron un alcance de cuna a puerta y se les aplicó un factor de conversión para obtenerlos en las unidades de medición respectivas según sea el material. Se utilizaron fichas técnicas de los productos para hacer la conversión.

El Cuadro 83 muestra los resultados obtenidos, entre ellos, la huella de 12,28 t CO_{2e}. Además, se muestran emisiones negativas para la madera laminada, ya que la absorción de CO_{2e} de sus procesos biológicos resultó mayor que sus emisiones según el análisis de ciclo de vida que realizó Badilla et al. (2015).

Cuadro 83. Huella de carbono total del criterio RESET 6.5.12 para la línea base

Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Cerámica general			
Cantidad	m ²	1 155	
Factor de emisión	kg CO _{2e} /kg producto	0,650	Fuente: (Sandí, 2018)
Factor de conversión	kg/m ²	15,53	Promedio
Factor de emisión nuevo	kg CO _{2e} /m ²	10,09	
Emisiones	kg CO _{2e}	11 651	
Madera laminada			
Cantidad	m ²	25	
Factor de emisión	kg CO _{2e} /kg producto	-0,290	Fuente: (Badilla, et al., 2015)
Factor de conversión	kg/m ²	8,678	Promedio
Factor de emisión nuevo	kg CO _{2e} /m ²	-2,517	
Emisiones	kg CO _{2e}	-63	
Mortero para pega de piso			
Cantidad	saco	189	
Factor de emisión	kg CO _{2e} /kg producto	0,182	Fuente: (Hammond y Jones, 2011)
Factor de conversión	kg/saco	20,00	
Factor de emisión nuevo	kg CO _{2e} /saco	3,640	
Emisiones	kg CO _{2e}	688	
Huella de carbono total (kg CO _{2e})			12 276
Huella de carbono total (t CO_{2e})			12,28

5.6.1.1 Costos asociados

El Cuadro 84 presenta los costos de los materiales de acabado de piso y mano de obra según el presupuesto del edificio y reajustados a junio 2022.

Cuadro 84. Costos asociados a la línea base del criterio RESET 6.5.12

Material	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Cerámica antideslizante de alto uso 40 x 40 cm	m ²	486	₡ 10 661	₡ 5 181 127

Material	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Porcelanato 50 x 50 cm	m ²	464	₡ 31 760	₡ 14 720 732
Cerámica primera calidad 30 x 30 cm	m ²	205	₡ 18 576	₡ 3 808 114
Piso laminado con espuma de 9 mm de espesor	m ²	25	₡ 27 896	₡ 697 397
Cemento portland para piso similar a la marca Bondex Plus	saco 20 kg	189	₡ 5 386	₡ 1 017 939
Fragua sin arena para cerámica	saco 2 kg	176	₡ 1 725	₡ 303 531
Total materiales				₡ 25 728 841
Total mano de obra				₡ 7 718 652
Costo total				₡ 33 447 493

5.6.2 Evaluación del criterio RESET

Evaluar el presente criterio de RESET conllevó generar un escenario homólogo sostenible al planteado en la línea base. Para ello, se buscó una opción de acabado de pisos que involucrara una menor huella de carbono. Por esa razón, se decidió cambiar el acabado de piso original por un acabado de piso pulido ya que es un producto manufacturado en el país y, además, ofrece durabilidad, alta resistencia y fácil mantenimiento.

El proceso de pulido del piso no demanda gran cantidad de materiales, por lo tanto, las emisiones calculadas se refirieron únicamente al uso de equipo con motor eléctrico o de combustible.

Para obtener el acabado pulido, primeramente, debe lijarse el piso una vez que haya fraguado la sobrelosa, para ello se utilizan máquinas lijadoras o comúnmente llamadas "helicópteros". Este proceso consta de una primera etapa donde se pasa por la superficie el helicóptero utilizando un disco grueso para dar el alisado inicial, lijando el suelo y deshaciendo las zonas rugosas. Y una segunda etapa donde se pasa el helicóptero utilizando aspas para obtener el lijado o normalmente llamado el quemado de la losa, logrando un acabado con menos imperfecciones. Posteriormente, se prepara la superficie para el proceso del pulido utilizando cepillos para alisar más alcanzando una mayor homogeneidad.

En el proceso del pulido se utiliza una máquina pulidora especial que contiene piedras de diamante que desbastan el piso y resaltan la exposición del agregado. Posteriormente, se procede a abrillantar la superficie con una máquina para brillo. La Figura 31 representa un ejemplo de piso pulido, el cual es un producto de la empresa proveedora consultada.



Figura 31. Ejemplo de piso pulido

Dicho proveedor facilitó información relacionada con el tipo y cantidad de equipo a utilizar y tiempos de trabajo según su experiencia en el mercado. Se consideraron 10 horas netas en un día de trabajo y un área de 230 m² de piso en cada nivel.

El Cuadro 85 presenta la cantidad de equipos que se utiliza en el proceso antes descrito, también presenta las horas de uso de cada uno en un día de trabajo para completar los 230 m² y los días de trabajo que se requieren por cada nivel; de aquí se puede inferir que el proceso de lujado para un nivel se logra en un día de trabajo, mientras que el de pulido requiere de dos días.

Así mismo, el Cuadro 85 presenta los consumos que tienen los equipos, los cuales se obtuvieron de fichas técnicas para máquinas similares a las que usa la empresa. Con esto y utilizando los factores de emisión del IMN (2021) se logró calcular la huella de carbono que resultó en 0,33 t CO_{2e}. Cabe mencionar que se utilizó el PCG igual a 28 para el metano según lo recomienda el IPCC (2021), y un PCG igual a 310 para el óxido nitroso según el IMN (2021).

Cuadro 85. Huella de carbono total del criterio RESET 6.5.12 para el escenario sostenible

Equipo	Equipos	Tiempo de uso (h/día)	Días de trabajo por nivel	Días de trabajo totales	Consumo o equipo	Unidad de consumo	Consumo total	Factor de emisión	Unidad factor de emisión	Fuente factor de emisión	Emisión (kg CO _{2e})
Maquina lujadora (helicóptero)	3	4	1	5	2,20	l/h	132	2,2310	kg CO ₂ /L gasolina	IMN, 2021	295
	3	4	1	5	2,20	l/h	132	0,1110	g CH ₄ /L gasolina	IMN, 2021	0,41
	3	4	1	5	2,20	l/h	132	0,0221	g N ₂ O /L gasolina	IMN, 2021	0,90
Vibrador de concreto	1	4	1	5	2,24	kWh	45	0,0282	kg CO _{2e} /kWh	IMN, 2021	1,26
Pulidora	1	8	2	10	11,05	kWh	884	0,0282	kg CO _{2e} /kWh	IMN, 2021	24,9
Cepillos	2	8	2	10	1,12	kWh	179	0,0282	kg CO _{2e} /kWh	IMN, 2021	5,05
Máquina de brillar	1	1	2	10	1,30	kWh	13	0,0282	kg CO _{2e} /kWh	IMN, 2021	0,37
Huella de carbono (kg CO _{2e})											327
Huella de carbono (t CO_{2e})											0,33
Disminución en la huella de carbono (t CO_{2e})											11,95

5.6.2.1 Costos asociados

Para obtener los costos del piso pulido, se consultó a la misma empresa que ha facilitado la información sobre el proceso y rendimientos constructivos. Se obtuvieron costos unitarios que incluyen todo: la mano de obra, equipo, materiales e instalación.

Para producir el piso pulido primero debe producirse el piso lujado, por lo tanto, los costos de estos dos procesos deben sumarse. Esto lo refleja el Cuadro 86 donde se presenta un costo total de ₡ 7 906 000 considerando que el edificio tiene 1 180 m² de piso en total distribuidos en sus cinco niveles.

Cuadro 86. Costos asociados al escenario sostenible del criterio RESET 6.5.12

Producto	Área (m²)	Precio unitario por m²	Precio total
Piso lujado	1 180	₡ 1 900	₡ 2 242 000
Piso pulido	1 180	₡ 4 800	₡ 5 664 000
Costo total			₡ 7 906 000

5.6.3 Comparación de resultados

5.6.3.1 Emisiones de GEI

Para el cálculo de la huella de carbono se consideraron los aspectos más significativos de ambos escenarios. En el caso del acabado original, se contempló la huella incorporada de los materiales utilizados, y en el caso del piso pulido la demanda energética o de combustible durante su proceso de construcción. Sin embargo, para este último se obtuvieron emisiones de CO_{2e} mucho menores que en la línea base (véase Cuadro 83 y Cuadro 85) y esto puede ser por los valores pequeños de los factores de emisión usados, ya que el país cuenta con un modelo de matriz eléctrica que utiliza mayormente energías renovables.

Además, es de esperarse que utilizar recubrimientos cerámicos se asocie a una huella más alta ya que el carbono incorporado del producto es mayor, y actividades como extracción de la materia prima, el transporte y la línea de producción generan un mayor impacto ambiental.

Con la aplicación del requisito de RESET se obtiene una disminución del 97 % en la huella, dado que se pasa de 12,28 a 0,33 toneladas de dióxido de carbono equivalente. Esto se logra solamente con cambiar el acabado del piso, por lo tanto, no se alcanza aplicar el criterio al 20

% de los materiales presupuestados ya que los materiales del acabado de piso representan el 3,2 % de este.

A pesar de no cumplir con el criterio, se evidencia un impacto grande en la huella y esto demuestra que el impacto económico no es la mejor referencia a cumplir si el objetivo es disminuir las emisiones de CO_{2e}, ya que se pueden alcanzar mayores ahorros en la huella escogiendo materiales o productos sostenibles sin que esto implique directamente cumplir con algún porcentaje relacionado al presupuesto.

Desde la posición de la empresa constructora, cumplir con este criterio para una certificación RESET se puede volver sencillo, ya que en el mercado existe gran variedad de materiales constructivos cosechados o fabricados en el país. Sin embargo, desde el alcance que tiene este trabajo de investigación, se convierte dificultoso cumplir con el criterio ya que la mayoría de estos materiales no cuentan con información relacionada a emisiones de GEI o no se tiene una forma de medir su impacto en la huella de carbono y esto ha representado una limitante relevante en el apartado de materiales.

5.6.3.2 Costos

Se obtuvo un costo total de 33 447 493 colones (Cuadro 84) y 7 906 000 colones (Cuadro 86) para la línea base y la evaluación del criterio respectivamente, lo que significa una disminución en el costo del 76 %.

Se obtuvo una diferencia significativa ya que la línea base contempla la compra de material para acabado de piso y su mano de obra, mientras que la opción de piso pulido no involucra gastos en materiales sino solo su ejecución.

5.7 Criterio 6.5.13

El presente criterio tiene como objetivo incorporar materiales con etiquetado ambiental o provenientes de organizaciones con compromiso ambiental reconocido. Para ello, RESET pide que al menos el 2 % de los materiales de construcción presupuestados cuenten con una certificación ambiental o fueron suministrados por un proveedor con un reconocimiento o certificación ambiental.

5.7.1 Línea base de emisiones de GEI

La línea base se enfocó en cuantificar las emisiones de GEI de algunos materiales contemplados en el presupuesto. Estos materiales se seleccionan de acuerdo a la posibilidad que haya en el mercado de sustituirlos por aquellos que cumplan con las condiciones del criterio y que posean información sobre su impacto ambiental.

En este caso, se calcularon las emisiones para el cemento de uso general, pinturas a base de agua exterior e interior y morteros para repello de paredes y pega de piso.

El cemento es tipo Portland de uso general en sacos de 50 kg. Este se utiliza para crear el concreto de sello pobre de las placas aisladas, vigas de amarre y muros de contención, así como también para el concreto de relleno de las celdas en las paredes de mampostería que sirven como cerramientos y muros estructurales.

La cantidad de pintura que se consideró en la huella de carbono es la presupuestada para todas las paredes del edificio, internas y externas. Representan el 90 % de la pintura requerida total ya que se excluye la pintura anticorrosiva y esmaltada.

La cantidad de mortero es la presupuestada para dar el acabado de repello grueso en todas las paredes livianas del edificio y para pegar todo el piso cerámico y porcelanato.

El Cuadro 87 contiene las emisiones de CO_{2e} para cada material seleccionado. En el caso del cemento se utilizó el factor de emisión publicado por el IMN (2021) que considera las emisiones por kilogramo de clinker y el factor de conversión utilizado se debe a que el cemento calculado se encuentra en sacos de 50 kg, por consiguiente, este material generó una huella de 11 273 kg CO_{2e}.

Las emisiones de la pintura de agua para exterior e interior son iguales, ya que se usó la misma cantidad de material y factor de emisión. El factor de conversión se tomó de la ficha técnica de un proveedor de pintura con el fin de obtener el peso por galón como valor de referencia. Las emisiones calculadas para cada tipo de pintura fueron de 2 547 kg CO_{2e}.

Así mismo, se puede notar (Cuadro 87) una gran diferencia en la cantidad requerida de mortero para repello, con respecto al mortero para pega de piso, ya que su factor de emisión fue mayor y esto resultó en una huella de carbono de 10 449 kg CO_{2e}, en comparación a 692 kg CO_{2e} para el mortero de pega.

Cuadro 87. Huella de carbono total del criterio RESET 6.5.13 para la línea base

Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Cemento tipo Portland de uso general			
Cantidad	saco	442	
Factor de emisión	kg CO _{2e} /kg _{producto}	0,5101	Fuente: (IMN, 2021)
Factor de conversión	kg/saco	50,00	
Factor de emisión nuevo	kg CO _{2e} /saco	25,51	
Emisiones	kg CO _{2e}	11 273	
Pintura de agua mate exterior			
Cantidad	gal	165	
Factor de emisión	kg CO _{2e} /kg _{producto}	2,91	Fuente: (Hammond y Jones, 2011)
Factor de conversión	kg/gal	5,32	Fuente: (Lanco, 2016)
Factor de emisión nuevo	kg CO _{2e} /gal	15,48	
Emisiones	kg CO _{2e}	2 547	
Pintura de agua mate interior			
Cantidad	gal	165	
Factor de emisión	kg CO _{2e} /kg _{producto}	2,91	Fuente: (Hammond y Jones, 2011)
Factor de conversión	kg/gal	5,32	Fuente: (Lanco, 2016)
Factor de emisión nuevo	kg CO _{2e} /gal	15,48	
Emisiones	kg CO _{2e}	2 547	
Mortero para repello grueso de pared			
Cantidad	saco	1 182	
Factor de emisión	kg CO _{2e} /kg _{producto}	0,221	Fuente: (Hammond y Jones, 2011)
Factor de conversión	kg/saco	40,00	
Factor de emisión nuevo	kg CO _{2e} /saco	8,840	
Emisiones	kg CO _{2e}	10 449	
Mortero para pega de piso			
Cantidad	saco	152	
Factor de emisión	kg CO _{2e} /kg _{producto}	0,182	Fuente: (Hammond y Jones, 2011)
Factor de conversión	kg/saco	25,00	
Factor de emisión nuevo	kg CO _{2e} /saco	4,550	
Emisiones	kg CO _{2e}	692	
Huella de carbono total (kg CO _{2e})			27 507
Huella de carbono total (t CO_{2e})			27,51

5.7.1.1 Costos asociados

El Cuadro 88 presenta los costos de los materiales analizados en la línea base y la mano de obra según el presupuesto del edificio y reajustados a junio 2022.

Cuadro 88. Costos asociados a la línea base del criterio RESET 6.5.13

Material	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
Cemento portland de uso general	Saco 50 kg	442	₡ 7 616	₡ 3 366 235
Pintura de agua mate exterior	gal	165	₡ 20 765	₡ 3 415 867
Pintura de agua mate interior	gal	165	₡ 20 765	₡ 3 415 867
Mortero para repello grueso de pared	Saco 40 kg	1 182	₡ 4 609	₡ 5 447 839
Mortero para pega de piso	Saco 25 kg	152	₡ 6 553	₡ 996 064
Total materiales				₡ 16 641 872
Total mano de obra				₡ 4 992 561
Costo total				₡ 21 634 433

5.7.2 Evaluación del criterio RESET

Para evaluar el criterio según sus condiciones, se sustituyó el cemento estándar de uso general tipo Portland por el Cemento Fuerte EcoPlanet de Holcim, el cual es un cemento hidráulico modificado mixto con caliza y puzolana (MM/C (C-P)-28). Este material cuenta con una Declaración Ambiental del Producto (DAP) en concordancia con la norma ISO 14025.

El alcance del estudio de ciclo de vida es de la cuna a la puerta incluyendo todas las fases. Desde la extracción y abastecimiento de materias primas, los consumos de energía y materiales, y los procesos de manufactura primarios y secundarios (sus entradas y salidas), hasta el producto terminado y/o empacado al final de la fase de fabricación (Holcim, 2022).

Además, el cálculo de la huella del producto se realiza en cumplimiento con la norma ISO 14067, verificada por tercera parte a través del Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO). Y todos los datos primarios utilizados en este estudio corresponden al año 2020, de la planta de cemento Holcim ubicada en Cartago.

Con el análisis realizado se determinó que el Cemento Fuerte EcoPlanet tiene un 35 % de reducción en emisiones de CO_{2e} con respecto al cemento Portland tradicional. Por lo tanto, para obtener el ahorro se decidió aplicar este factor de reducción en la huella de carbono generada en la línea base. Estos resultados se muestran en el Cuadro 89.

Así mismo, según Holcim (2022) se implementan las siguientes acciones para lograr dicha reducción:

- Uso de combustibles alternos para sustituir el consumo de combustibles fósiles tradicionales utilizados para el proceso productivo de cemento.
- Automatización de la operación para garantizar la mayor eficiencia energética del proceso.
- Recuperación de calor en el sistema para reducir el consumo térmico del proceso.
- Utilización de minerales adicionados (puzolana y caliza) para optimizar la composición del cemento y mejorar sus propiedades.
- Mejora del desempeño del cemento y aumento de resistencias mediante la utilización de aditivos de molienda.
- Control exhaustivo de los combustibles y materias primas en el proceso para minimizar el impacto en emisiones.
- Monitoreo en línea de las emisiones de forma continua con equipo de última tecnología.
- Mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos y filtros de mangas y electro filtro para disminuir las emisiones de material particulado.

Por otro lado, para sustituir las pinturas y los morteros convencionales se utilizaron los productos de Graphenston, el cual, es un fabricante internacional de pinturas, morteros, revestimientos y adhesivos ecológicos que integran un producto creado a base de cal artesana y con tecnología de grafeno (Graphenstone, 2022).

Las pinturas y los morteros cuentan con una DAP, para la cual se realizó el análisis de ciclo de vida y se obtuvo un factor de emisión de 0,144 kg CO_{2e}/m² para las pinturas y 4,652 kg CO_{2e}/m² para los morteros (Graphenstone, 2022).

Dicho análisis de ciclo de vida tiene un alcance de la cuna a la tumba, sin embargo, los factores utilizados contemplan solamente los procesos de suministro y transporte de materias primas, manufactura y transporte del producto desde la fábrica hasta el distribuidor, lo que significa un alcance de la cuna a la puerta más el transporte hasta el proveedor (etapas A-1, A-2, A-3 y A-4). Esto porque no existe un distribuidor en Costa Rica de los productos Graphenstone, por lo tanto, se traerían desde Panamá donde se ubica la fábrica más cercana y es necesario mantener los mismos criterios de comparación ya que los otros materiales propuestos son producidos en el país.

El Cuadro 89 contiene las emisiones calculadas para cada material. Para obtener el factor de emisión en unidades de medición habituales se utilizaron las fichas técnicas del proveedor.

Además, se puede notar que las pinturas para exterior e interior generan las mismas emisiones ya que la cantidad requerida, su rendimiento y factor de emisión es el mismo.

Cuadro 89. Huella de carbono total del criterio RESET 6.5.13 para el escenario sostenible

Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Cemento fuerte EcoPlanet Holcim			
Huella de carbono línea base	t CO _{2e}	11,27	Cuadro 87
Factor de disminución	%	35	Fuente: (Holcim, 2022)
Emisiones	t CO _{2e}	7,33	
Disminución en emisiones	t CO _{2e}	3,95	
Pintura Biosphere Color Premium			
Cantidad	l	748	
Factor de emisión	kg CO _{2e} /m ²	0,144	Fuente: (Graphenstone, 2021)
Factor de conversión	m ² /l	9,00	Dos manos
Factor de emisión nuevo	kg CO _{2e} /l	1,30	
Emisiones	kg CO _{2e}	969	
Disminución en emisiones	kg CO _{2e}	1 577	
Pintura Ecosphere Color Premium			
Cantidad	l	748	
Factor de emisión	kg CO _{2e} /m ²	0,144	Fuente: (Graphenstone, 2021)
Factor de conversión	m ² /l	9,00	Dos manos
Factor de emisión nuevo	kg CO _{2e} /l	1,30	
Emisiones	kg CO _{2e}	969	
Disminución en emisiones	kg CO _{2e}	1 577	
Mortero MortarBase Premium			
Cantidad	kg	47 280	
Factor de emisión	kg CO _{2e} /m ²	4,652	Fuente: (Graphenstone, 2021)
Factor de conversión	m ² /kg	0,05	Espesor de 12 mm
Factor de emisión nuevo	kg CO _{2e} /kg	0,23	
Emisiones	kg CO _{2e}	10 997	
Aumento en emisiones	kg CO _{2e}	548	
Mortero NaturGlue Premium			
Cantidad	kg	3 800	
Factor de emisión	kg CO _{2e} /m ²	4,652	Fuente: (Graphenstone, 2021)
Factor de conversión	m ² /kg	0,20	Espesor de 5 mm
Factor de emisión nuevo	kg CO _{2e} /kg	0,93	
Emisiones	kg CO _{2e}	3 536	
Aumento en emisiones	kg CO _{2e}	2 844	
Huella de carbono total (kg CO_{2e})			16 479
Huella de carbono total (t CO_{2e})			16,48
Disminución total de la huella de carbono			11,03

5.7.2.1 Costos asociados

El siguiente Cuadro 90 muestra los costos de los diferentes materiales, así como la mano de obra contemplada y costos de envío de los productos Graphenstone. El costo de estos productos y su envío se cotizaron directamente en un distribuidor oficial ubicado en Panamá, mientras que el costo del cemento se obtuvo de un distribuidor nacional.

Cuadro 90. Costos asociados al escenario sostenible del criterio RESET 6.5.13

Material	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Cemento Fuerte EcoPlanet Holcim	Saco 50 kg	442	∅ 6 950	∅ 3 071 900
Pintura Biosphere Color Premium	Tarro 15 l	50	∅ 91 487	∅ 4 561 138
Pintura Ecosphere Color Premium	Tarro 15 l	50	∅ 92 479	∅ 4 610 598
Mortero MortarBase Premium	Saco 18 kg	2 627	∅ 14 132	∅ 37 120 237
Mortero NaturGlue Premium	Saco 13 kg	292	∅ 17 338	∅ 5 068 098
Total materiales				∅ 54 431 972
Total mano de obra				∅ 4 992 561
Costo de envío				∅ 670 000
Costo total				∅ 60 094 533

5.7.3 Comparación de resultados

5.7.3.1 Emisiones de GEI

Según los resultados presentados (Cuadro 89), se pudo notar una disminución significativa en la huella de carbono, siendo esta del 40 %. Los materiales ecológicos más representativos en dicha reducción fueron el cemento y las pinturas.

5.7.3.2 Costos

Se obtuvo un costo total de 21 634 433 colones (Cuadro 88) y 60 094 533 colones (Cuadro 90) para la línea base y la evaluación del criterio respectivamente, siendo el precio de los morteros el principal aspecto que llevó al alza el presupuesto. Por lo tanto, implementar materiales novedosos conllevó un aumento del 64 %.

Por otro parte, en esta ocasión se incluyeron los costos de envío de los productos Graphenstone y esto representó un costo significativo por ser productos importados.

5.8 Resumen de resultados obtenidos

En esta sección se presenta un resumen de los resultados obtenidos sobre la huella de carbono calculada para la línea base y para el escenario sostenible en cada criterio evaluado, se determina el ahorro o la disminución en las emisiones y en los costos contemplados para los distintos escenarios. Además, el Cuadro 91 presenta un resumen de las estrategias implementadas para cada criterio RESET.

Los valores positivos en el Cuadro 92 representan un aumento en las emisiones o en los costos y los valores negativos significa que hubo un ahorro en estos. Se puede notar (Cuadro 92) que en todos los criterios hubo ahorro en la huella de carbono, con un total de 63,92 t CO_{2e} menos. Sin embargo, la diferencia en los costos algunas veces aumentó y otras veces disminuyó dependiendo del criterio, pero en total se generó un aumento neto de ocho millones aproximadamente.

Cuadro 91. Resumen de criterios RESET evaluados del Capítulo 5 - Materiales

Criterio RESET	Estrategia sostenible
6.5.4	Utilizar bloques de concreto modulares en las paredes de mampostería del edificio. Realizar la modulación de la cerámica para el piso del edificio.
6.5.5	Utilizar material liviano para todas las paredes divisorias internas del edificio.
6.5.6	Sustituir todos los bloques de concreto tradicionales del edificio por un bloque de concreto ecológico, por ejemplo, el bloque con plástico reciclado de fabricante nacional.
6.5.10	Usar pintura ecológica en las paredes expuestas del edificio, por ejemplo, absorbente de CO ₂ que cuente con una DAP.
6.5.11	Implementar el acabado de mampostería expuesta para un muro exterior, en vez de un acabado con repello y pintura.
6.5.12	Instalar el acabado de piso pulido en todo el piso del edificio.
6.5.13	Utilizar materiales con DAP, como el cemento, pinturas y morteros.

Cuadro 92. Resumen de huella de carbono y costos del Capítulo 5 - Materiales

Criterio RESET	Huella línea base (t CO_{2e})	Huella escenario sostenible (t CO_{2e})	Ahorro (-) Aumento (+) (t CO_{2e})	Costos línea base	Costos escenario sostenible	Ahorro (-) Aumento (+)
6.5.4	32,45	27,54	-4,91	Ø 42 637 360	Ø 37 428 472	-Ø 5 208 888
6.5.5	78,11	63,68	-14,43	Ø 38 744 822	Ø 35 801 909	-Ø 2 942 912
6.5.6	20,80	-0,119	-20,92	Ø 7 452 156	Ø 10 748 424	Ø 3 296 268
6.5.10	0,167	0,058	-0,11	Ø 224 488	Ø 326 176	Ø 101 688
6.5.11	0,875	0,302	-0,57	Ø 1 289 206	Ø 1 192 000	-Ø 97 206
6.5.12	12,28	0,327	-11,95	Ø 33 447 493	Ø 7 906 000	-Ø 25 541 493
6.5.13	27,51	16,48	-11,03	Ø 21 634 433	Ø 60 094 533	Ø 38 460 100
Total	172,19	108,27	-63,92	Ø 145 429 958	Ø 153 497 516	Ø 8 067 558

6 CAPÍTULO 6 - OPTIMIZACIÓN EN EL USO DEL AGUA

El presente capítulo analizó los criterios de la norma RESET elegidos debido a su impacto con las emisiones de GEI. Dicho análisis involucró obtener para cada criterio, una línea base de emisiones del edificio al considerar su diseño original bajo un escenario convencional y una línea sostenible de emisiones al considerar un escenario que cumpla con los requisitos de la norma y con ello obtener el ahorro en la huella de carbono.

Así mismo, se presentaron los costos directos iniciales, como materiales y mano de obra, que se añaden al implementar los requisitos solicitados por RESET en el escenario sostenible.

Cabe señalar, que los criterios fueron descritos de la misma forma en que se citan en la norma RESET.

6.1 Criterios 6.6.1 y 6.6.2

Estos criterios pretenden reducir el consumo o uso del agua potable de los usuarios del edificio. Cada criterio exige como valor de referencia por cumplir que se reduzca al menos un 20 % el consumo del agua potable al año.

La principal diferencia entre ellos es la metodología que RESET propone para cumplir dicho objetivo. Para el primer criterio se logra a través de sistemas de captación y reúso de aguas tratadas, aguas grises, aguas freáticas o aguas de la condensación de equipos de aire acondicionado. Y en el segundo criterio se alcanza a través de la captación de agua de lluvia.

Se decidió realizar el análisis tomando estos dos criterios como uno solo, dado que, independientemente de la metodología que se escoja, ambas buscan cumplir con el mismo objetivo. Además, porque la única diferencia es el origen del agua por captar, pero las opciones representan un sistema de reutilización, y su escogencia dependerá de las características del proyecto.

Por lo tanto, se realizó el análisis cumpliendo el 20 % de ahorro bajo el escenario donde el edificio aplique un sistema de captación de agua de lluvia por ser el más común y fácilmente aplicable.

6.1.1 Línea base de emisiones de GEI

En esta sección se calcularon las emisiones de dióxido de carbono asociadas a los procesos para la potabilización y dotación del agua potable. Por lo tanto, la línea base se fundamentó en el consumo de agua que tiene el edificio según su cantidad de usuarios.

6.1.1.1 Consumo anual de agua potable

En primera instancia debe obtenerse el consumo de agua que tendría el edificio en operación durante el periodo de un año. La metodología utilizada fue a través de la medición de consumos según la cantidad de usuarios, de griferías y de piezas sanitarias que posea el edificio.

Para realizar la medición de los consumos del agua potable se siguieron los siguientes pasos:

1. Contabilizar las piezas sanitarias y accesorios de plomería
2. Determinar el consumo de cada pieza
3. Determinar el tiempo de consumo
4. Establecer la cantidad de usuario de la edificación
5. Establecer la cantidad de usos por tipo de ocupante

Las piezas sanitarias y accesorios de plomería se cuantificaron según la cantidad provista en los planos constructivos del proyecto. Los consumos de las piezas y accesorios, la cantidad de usos y la clasificación de los ocupantes se definieron según lo recomienda la guía *LEED v4 Diseño y Construcción de Edificios* (U.S Green Building Council, 2014).

El Cuadro 93 y Cuadro 94 presentan dicha información diferenciándola por cada nivel. Se observa que los usuarios se clasificaron en siete tipos y su aplicación depende del número de nivel. Para el nivel uno dentro de la clasificación femenino y masculino se consideró al personal de trabajo, para ello se supusieron por local comercial tres personas atendiendo, dos mujeres y un hombre. Se consideraron tres trabajadores dado que representa una cantidad usual para el área de los locales, y se supusieron más mujeres que hombres con el fin de ser conservador ya que de esta forma se tiene mayor consumo.

Así mismo, se calcularon ocho personas, cuatro mujeres y cuatro hombres, que trabajan en el resto del nivel como recepcionistas y personal de limpieza. Además, se consideraron 16 clientes por local asumiendo igual cantidad de hombres y mujeres. En total resultaron 65 personas en el nivel.

Para el nivel dos se estimaron un total de 42 trabajadores considerando igual cantidad de hombres y mujeres. Mientras que para el nivel tres se estimaron seis residentes en los dos apartamentos que posee y se asumió que cada apartamento tendrá dos visitas. El nivel cuatro al ser también residencial se contabilizaron dos residentes ya que este nivel solo tiene un apartamento y se asumió que tendrán dos visitas. Las visitas se consideraron en igualdad de género.

Por último, el nivel cinco al ser una zona de uso común de los residentes el usuario se consideró como visitante dado que se trata de estadías rápidas y se consideraron siete hombres y siete mujeres, donde ocho fueron los residentes del edificio y seis los acompañantes. Por lo tanto, se obtuvo un total de 135 ocupantes.

Según el Cuadro 94 el edificio tuvo un consumo de 4 369 272 litros de agua por año o el equivalente a 4 369 m³/año. Así mismo, el Cuadro 95 contiene un resumen del consumo total por tipo de pieza.

Cuadro 93. Contabilización del consumo de agua potable por los usuarios del edificio, parte 1

Nivel	Uso del nivel	Tipo de pieza	Piezas	Consumo por pieza	Unidad de consumo	Consumo (min)	Tipo de usuario por día						
							Femenino	Masculino	Cliente femenino	Cliente masculino	Visitor femenino	Visitor masculino	Residente
Nivel 1	Locales comerciales	Lavatorio	4	8,3	litros/minuto	0,5	10	7	24	24	0	0	0
		Fregadero	1	8,3	litros/minuto	0,25	10	7	24	24	0	0	0
		Inodoro (mixto)	4	6,0	litros/descarga		10	7	24	24	0	0	0
Nivel 2	Centro de llamadas	Lavatorio	5	8,3	litros/minuto	0,5	21	21	0	0	0	0	0
		Inodoro	5	6,0	litros/descarga		21	21	0	0	0	0	0
		Mingitorio	2	0,0	litros/descarga		21	21	0	0	0	0	0
Nivel 3	Apartamentos	Lavatorio	4	8,3	litros/minuto	0,5	0	0	0	0	2	2	6
		Fregadero	2	8,3	litros/minuto	0,25	0	0	0	0	2	2	6
		Pila de lavado	2	10,0	litros/minuto	60	0	0	0	0	2	2	6
		Ducha	4	9,5	litros/minuto	6	0	0	0	0	2	2	6
		Inodoro	4	6,0	litros/descarga		0	0	0	0	2	2	6
Nivel 4	Apartamento	Lavatorio	2	8,3	litros/minuto	0,5	0	0	0	0	1	1	2
		Fregadero	1	8,3	litros/minuto	0,25	0	0	0	0	1	1	2
		Pila de lavado	1	10,0	litros/minuto	60	0	0	0	0	1	1	2
		Ducha	1	9,5	litros/minuto	6	0	0	0	0	1	1	2
		Inodoro	1	6,0	litros/descarga		0	0	0	0	1	1	2
		Jacuzzi	1	530,0	litros/jacuzzi		0	0	0	0	1	1	2
Nivel 5	Gimnasio / zona BBQ	Fregadero	1	8,3	litros/minuto	0,25			0	0	7	7	0

Cuadro 94. Contabilización del consumo de agua potable por los usuarios del edificio, parte 2

Nivel	Uso del nivel	Tipo de pieza	Cantidad de usos al día por accesorio y tipo de usuario							Tiempo de ocupación total (días)	Consumo total (litros/año)
			Femenino	Masculino	Cliente femenino	Cliente masculino	Visitor femenino	Visitor masculino	Residente		
Nivel 1	Locales comerciales	Lavatorio	3	3	0,2	0,2	0,5	0,5	5	365	368 370
		Fregadero	1	1	0	0	0	0	4	365	12 917
		Inodoro (mixto)	3	3	0,2	0,2	0,5	0,1	5	365	535 811
Nivel 2	Centro de llamadas	Lavatorio	3	3	0,2	0,1	0,5	0,5	5	365	957 397
		Inodoro	3	1	0,2	0,1	0,5	0,1	5	365	928 385
		Mingitorio	0	2	0	0,1	0	0,4	0	365	0
Nivel 3	Apartamentos	Lavatorio	3	3	0,2	0,2	0,5	0,5	5	365	194 519
		Fregadero	1	1	0	0	0	0	4	365	36 472
		Pila de lavado	0	0	0	0	0	0	0,14	365	367 920
		Ducha	0,1	0,1	0	0	0	0	1	365	497 349
		Inodoro	3	1	0,2	0,1	0,5	0,1	5	365	273 312
Nivel 4	Apartamentos	Lavatorio	3	3	0,2	0,2	0,5	0,5	5	365	33 433
		Fregadero	1	1	0	0	0	0	4	365	6 079
		Pila de lavado	0	0	0	0	0	0	0,14	365	61 320
		Ducha	0,1	0,1	0	0	0	0	1	365	41 446
		Inodoro	3	1	0,2	0,1	0,5	0,1	5	365	23 431
		Jacuzzi	0	0	0	0	0	0	0,1	365	25 793
Nivel 5	Gimnasio / zona BBQ	Fregadero	0	0	0	0	0,5	0,5	4	365	5 319
Consumo total del edificio (litros/año)											4 369 272

Cuadro 95. Resumen de consumo de agua potable por tipo de pieza en el edificio

Tipo de pieza	Consumo (m³/año)
Lavatorio	1 554
Fregadero	61
Inodoro	1 761
Ducha	565
Pila lavado	429
Total	4 369

6.1.1.2 Emisiones de dióxido de carbono equivalente

Para obtener las emisiones de dióxido de carbono se utilizó el factor de emisión presente en la guía "Inventory of Carbon and Energy" realizada en la Universidad de Bath por Hammond y Jones (2011). Esta contempla el carbono incorporado del producto desde la cuna hasta la puerta, por lo tanto, considera los procesos desde la extracción, tratamiento y almacenamiento del agua hasta el momento en que sale de la fábrica o empresa de acueductos.

El valor de este factor varía de acuerdo con cada región o país, ya que dependiendo de la zona se cuenta con diferentes metodologías y procesos para extraer, potabilizar y dotar de agua a la población, lo que a su vez conlleva diferentes niveles de impacto ambiental. Sin embargo, a nivel nacional no se cuenta con un análisis de ciclo de vida para la dotación de agua potable, por lo que el factor de emisión mencionado hace referencia al contexto de la Unión Europea, y esto es una limitación que se debe tener presente, tal como se mencionó en el Capítulo 4 - Suelos y paisajismo para los criterios 6.4.18 y 6.4.19 donde también fue utilizado. El Cuadro 96 contiene los resultados obtenidos:

Cuadro 96. Huella de carbono total de criterios RESET 6.6.1 y 6.6.2 para la línea base

Parámetro	Unidad	Cantidad	Comentario
Consumo de agua diario del edificio	m ³	11,97	
Consumo de agua anual de edificio	m ³	4 369	
Factor de conversión	kg/m ³	1 000	Densidad promedio del agua potable
Consumo total de agua edificio	kg/año	4 369 272	

Parámetro	Unidad	Cantidad	Comentario
Factor de emisión	kg CO _{2e} /kg _{agua}	0,001	Fuente: (Hammond y Jones, 2011)
Emisión total	kg CO _{2e} /año	4 369	
Huella de carbono total (t CO_{2e}/año)		4,37	

6.1.1.3 Costos asociados

Los costos que se consideran en el análisis de cada criterio son los costos iniciales y directos de materiales y mano de obra. En este caso no se incurrió en ningún gasto de materiales o mano de obra por cuenta del Constructor, por lo tanto, se supuso un costo nulo para la línea base.

Debido al alcance anterior, el costo por consumo del agua a través del servicio brindado por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) no se toma en cuenta.

6.1.2 Evaluación del criterio RESET

El sistema que se propuso de captación fue a través de la losa de techo, donde la pendiente logre canalizar el agua hasta las canoas, después se conducen por los bajantes hasta conectar con el tanque de almacenamiento. En este caso se sugirió que el tanque se instale en el nivel cinco para que la dotación se dé por gravedad sin necesidad de bomba hidráulica.

El 20 % de ahorro requerido por la norma significaría ahorrar 874 m³ de agua potable por año o 2,39 m³ por día, por eso, se decidió reutilizar el agua para abastecer todos los inodoros del segundo nivel destinado para oficinas, ya que en total tienen una demanda de 928 m³/año. De esta manera, se estaría cumpliendo un porcentaje de ahorro aproximadamente del 21 %.

6.1.2.1 Capacidad de captación del edificio

Para calcular la capacidad de captación que tiene la losa de techo del edificio, primero, debe conocerse el patrón de precipitación de la zona en que se ubica el proyecto. Por esa razón, se solicitaron los datos al Instituto Meteorológico Nacional (IMN) de la estación meteorológica más cercana y con mayor registro histórico, la cual resultó ser la estación "84141 IMN Aranjuez".

El Cuadro 97 contiene los datos solicitados en el cual se detalla la precipitación promedio mensual en el periodo de 1999 al 2019. Además, contiene la capacidad de captación promedio

diaria y mensual que tendría la losa de techo contemplando su área de 283 m² medida en planos, sin embargo, se puede notar que esta recolección no alcanza para completar el ahorro requerido.

Por esta razón, se planteó un nuevo escenario donde el área superficial de losa de techo sea suficiente para cumplir con el criterio. Sin embargo, se advierte que un edificio en condiciones similares al prototipo no cumpliría con el ahorro requerido aplicando solamente este sistema, por lo que haría falta integrar algún otro.

Manteniendo el mismo patrón de precipitación se necesitaría un área de losa de techo de 540 m² para cumplir con el requisito de la norma. El Cuadro 98 contiene los resultados obtenidos considerando esta nueva área, y a pesar de que se satisface el ahorro anual, no sucede lo mismo con el diario ya que para meses como enero, febrero, marzo, abril y diciembre se estaría captando diariamente mucho menos de lo necesario para abastecer por completo los inodoros, mientras que meses más lluviosos se estaría captando por encima de lo necesario.

Debido a lo anterior, se propuso que los inodoros sean abastecidos por la tubería habitual de agua potable y también por la del sistema de captación, de tal forma que se mantenga abierto el paso de agua potable en los meses esperables de menor captación y se cierre en aquellos donde la captación diaria es suficiente.

Cuadro 97. Precipitación promedio mensual y diaria en la zona del proyecto y capacidad de captación de su losa de techo

	Mes	Precipitación promedio mensual	Precipitación promedio diario	Capacidad de captación losa techo mensual	Capacidad de captación losa techo diario
		(mm)	(mm)	(m ³)	(m ³)
Periodo 1999-2019	Enero	12,5	0,42	3,54	0,118
	Febrero	9,1	0,30	2,58	0,086
	Marzo	10,7	0,36	3,03	0,101
	Abril	45,3	1,51	12,82	0,427
	Mayo	250,0	8,33	70,76	2,359
	Junio	249,1	8,30	70,50	2,350
	Julio	173,2	5,77	49,02	1,634
	Agosto	207,4	6,91	58,70	1,957
	Septiembre	317,8	10,59	89,95	2,998
	Octubre	301,7	10,06	85,39	2,846
	Noviembre	132,0	4,40	37,36	1,245
	Diciembre	28,8	0,96	8,15	0,272

Capacidad de captación de agua de lluvia (m³/año)	492
Captación de lluvia faltante (m³/año)	436

Fuente: (IMN, 2022)

Modificado por: (Calderón, 2022)

Cuadro 98. Precipitación promedio mensual y diaria en la zona del proyecto y capacidad de captación de su losa de techo con área ampliada

Periodo 1999- 2019	Mes	Precipitación promedio mensual (mm)	Precipitación promedio diario (mm)	Capacidad de captación losa techo mensual (m³)	Capacidad de captación losa techo diario (m³)
	Enero	12,5	0,42	6,75	0,225
	Febrero	9,1	0,30	4,91	0,164
	Marzo	10,7	0,36	5,78	0,193
	Abril	45,3	1,51	24,46	0,815
	Mayo	250,0	8,33	135,0	4,50
	Junio	249,1	8,30	134,5	4,48
	Julio	173,2	5,77	93,53	3,12
	Agosto	207,4	6,91	112,0	3,73
	Septiembre	317,8	10,59	171,6	5,72
	Octubre	301,7	10,06	162,9	5,43
	Noviembre	132,0	4,40	71,28	2,38
Diciembre	28,8	0,96	15,55	0,518	
Capacidad de captación de agua de lluvia (m³/año)				938	

Fuente: (IMN, 2022)

Modificado por: (Calderón, 2022)

6.1.2.2 Emisiones de dióxido de carbono equivalente

Se calcularon las emisiones con el mismo factor de emisión utilizado para la línea base. El Cuadro 99 presenta los resultados obtenidos.

Cuadro 99. Huella de carbono total de criterios RESET 6.6.1 y 6.6.2 para el escenario sostenible

Parámetro	Unidad	Cantidad	Comentario
Consumo de agua diario del edificio	m ³	9,43	
Consumo de agua anual de edificio	m ³	3 441	
Factor de conversión	kg/m ³	1 000	Densidad promedio del agua potable
Consumo total de agua edificio	kg/año	3 441 000	

Parámetro	Unidad	Cantidad	Comentario
Factor de emisión	kg CO _{2e} /kg _{agua}	0,001	Fuente: (Hammond y Jones, 2011)
Emisión total	kg CO _{2e} /año	3 441	
Huella de carbono total (t CO_{2e}/año)		3,44	

6.1.2.3 Costos asociados

Se consideraron los costos directos como materiales y mano de obra. El Cuadro 100 presenta los costos asociados a los tanques de almacenamiento de agua, tubería y mano de obra utilizada.

Cuadro 100. Costos asociados al escenario sostenible de criterios RESET 6.6.1 y 6.6.2

Insumo	Costo
Tanque de 5 000 l	₡ 550 000
Tanque de 1 750 l	₡ 200 000
Tubería y accesorios	₡ 75 000
Mano de obra	₡ 247 500
Total	₡ 1 072 500

Para obtener el tamaño del tanque se verificó que tuviera una capacidad mayor al volumen máximo diario de captación, el cual es de 5,72 m³ o 5 720 litros (Cuadro 98). Por lo tanto, se escogieron dos tanques, uno de 5 000 litros de capacidad y otro de 1 750 litros, ambos son aptos para almacenamiento de agua, son fáciles de instalar, de limpiar y pueden ser usados en exteriores o interiores. Además, se propusieron dos unidades ya que en caso contrario se debía usar un solo tanque de 10 000 litros que tenía dimensiones mayores, lo que impediría su colocación en el interior del edificio.

6.1.3 Comparación de resultados

6.1.3.1 Emisiones de GEI

Efectuar los requisitos que plantea RESET significó una disminución en el consumo de agua potable del edificio y por ende en la huella de carbono del agua. Esta reducción fue del 20 % ya que se pasó de 4,37 t CO_{2e} a 3,44 t CO_{2e}.

Se obtuvo un ahorro aproximado del 21 % aplicando el sistema de captación de agua de lluvia a través de la losa de techo, sin embargo, este podría ser mayor si se aplican más estrategias de captación y reúso.

Además, la dimensión de la losa de techo del edificio prototipo no fue suficiente para lograr con el ahorro requerido, por lo tanto, se supuso un área mayor de tal forma que cumpliera, y es un factor a considerar si solo se cuenta con este método de captación.

6.1.3.2 Costos

Los costos por materiales y mano de obra aumentaron, ya que el sistema de captación involucró 1 072 500 colones y para la línea base estos fueron nulos. Se consideraron los costos directos por implementar la estrategia, sin incluir la ampliación de la losa de techo, ya que fue una suposición que se realizó para cumplir con el ahorro mínimo dejando en evidencia una limitante del diseño del edificio.

6.2 Criterio 6.6.3

Al igual que los criterios anteriores, en este caso se promueve reducir el consumo de agua potable por los usuarios del edificio, sin embargo, se requiere implementar un ahorro mínimo del 30 % sobre el consumo base según la norma RESET y debe realizarse mediante el uso de piezas sanitarias, griferías y accesorios que sean eficientes y de menor consumo.

6.2.1 Línea base de emisiones de GEI

Para calcular las emisiones base correspondientes a este criterio, se procedió de la misma forma que para los criterios anteriores, ya que primero se debía obtener el consumo base de agua potable que tiene el edificio para luego aplicar el factor de emisión según Hammond y Jones (2011) y con ello obtener las toneladas de CO_{2e}. Cabe recordar que los consumos de la grifería y piezas sanitarias se supusieron según lo recomendado por la guía *LEED v4 Diseño y Construcción de Edificios* de Referencia (U.S Green Building Council, 2014). El Cuadro 101 presenta los resultados obtenidos:

Cuadro 101. Huella de carbono total del criterio RESET 6.6.3 para la línea base

Parámetro	Unidad	Cantidad	Comentario
Consumo de agua diario del edificio	m ³	11,97	

Parámetro	Unidad	Cantidad	Comentario
Consumo de agua anual de edificio	m ³	4 369	
Factor de conversión	kg/m ³	1 000	Densidad promedio del agua potable
Consumo total de agua edificio	kg/año	4 369 272	
Factor de emisión	kg CO _{2e} /kg _{agua}	0,001	Fuente: (Hammond y Jones, 2011)
Emisión total	kg CO _{2e} /año	4 369	
Huella de carbono total (t CO_{2e}/año)		4,37	

6.2.1.1 Costos asociados

Para la línea base no se incurrió en ningún gasto extra inicial en materiales o mano de obra, sin embargo, se presentó el costo de los inodoros según el presupuesto, reajustados a junio 2022, para establecer la diferencia con respecto al escenario sostenible donde se propusieron otros tipos de pieza sanitaria.

Además, no se incluyó el costo por consumo del agua a través del servicio brindado por el AyA ya que este se sale del alcance establecido.

Cuadro 102. Costos asociados a la línea base del criterio RESET 6.6.3

Tipo de pieza	Cantidad	Precio unitario	Total
Inodoro	14	75 420	€ 1 055 880
Costo total			€ 1 055 880

6.2.2 Evaluación del criterio RESET

Según el consumo de agua potable del edificio se debe cumplir un ahorro mínimo anual de 1 311 m³ para obedecer con el 30 % de disminución que pide el criterio. Por lo tanto, se decidió implementar piezas sanitarias más eficientes en cuanto al consumo, así como accesorios que se incorporen en el cabezal de los grifos que generen un menor caudal.

Si el consumo del agua disminuye, también disminuirán las emisiones de CO_{2e}, dado que habrá menos agua por captar, potabilizar, almacenar y distribuir por lo que se reducen los procesos

industriales asociados a dichas actividades y con ello el impacto ambiental que estas representan.

6.2.2.1 Emisiones de dióxido de carbono equivalente

La propuesta para obtener el ahorro mínimo requerido se basó en incorporar en todos los grifos de lavatorio los accesorios reductores de caudal y sustituir los inodoros del segundo, tercer y cuarto nivel por otros de menor consumo por descarga.

El Cuadro 103 describe el consumo original en todos los lavatorios del edificio durante el año y el consumo nuevo agregando el accesorio, de su diferencia se derivó el porcentaje de ahorro de 77 %, lo que correspondió a 1 199 m³ anuales menos. También, se presenta el ahorro del 21 % por implementar inodoros más eficientes, que permitió pasar de 1 225 m³ originales de los tres niveles contemplados a 971 m³. En total se obtuvo un ahorro de 1 453 m³ de agua potable lo cual fue mayor a los 1 311 m³ que solicita la norma.

Cuadro 103. Consumo de agua potable original versus ahorro obtenido por implementación de estrategia

Tipo de pieza	Consumo de pieza original	Consumo original (m ³ /año)	Consumo de pieza nueva	Ahorro	Consumo nuevo (m ³ /año)	Ahorro (m ³ /año)
Lavatorio	8,3 l/min	1 554	1,9 l/min	77 %	355	1 199
Inodoro	6,0 l/descarga	1 225	4,8 l/descarga	21 %	971	254
Ahorro en el consumo de agua						1 453

A continuación, el Cuadro 104 expone los resultados de las emisiones de CO_{2e} al incluir el ahorro de consumo de agua, del cual se puede notar una huella de 3,06 CO_{2e} que representó una disminución de 1,31 CO_{2e} con respecto a la línea base.

Cuadro 104. Huella de carbono total del criterio RESET 6.6.3 para el escenario sostenible

Parámetro	Unidad	Cantidad	Comentario
Consumo de agua diario del edificio	m ³	8,38	

Parámetro	Unidad	Cantidad	Comentario
Consumo de agua anual de edificio	m ³	3 058	
Factor de conversión	kg/m ³	1 000	Densidad promedio del agua potable
Consumo total de agua edificio	kg/año	3 058 490	
Factor de emisión	kg CO _{2e} /kg _{agua}	0,001	Fuente: (Hammond y Jones, 2011)
Emisión total	kg CO _{2e} /año	3 058	
Huella de carbono total (t CO_{2e}/año)		3,06	

6.2.2.2 Costos asociados

Se estimaron los costos correspondientes de los nuevos inodoros y los accesorios reductores de caudal, los mismos fueron dados por un proveedor nacional. Los inodoros son de doble descarga de 3 y 4,8 litros y mantienen acabados similares a los presupuestados originalmente que tienen un costo de 75 420 colones cada uno. Por otra parte, el accesorio de grifería es una boquilla metálica con aireador de flujo laminar.

Seguidamente, el Cuadro 105 contiene la cantidad de boquillas e inodoros con su respectivo precio unitario, resultando un costo total de 925 000 colones.

Cuadro 105. Costos asociados al escenario sostenible del criterio RESET 6.6.3

Tipo de pieza	Cantidad	Precio unitario	Total	Costo total
Boquilla	15	5 000	Ⱶ 75 000	Ⱶ 925 000
Inodoro	10	85 000	Ⱶ 850 000	

6.2.3 Comparación de resultados

6.2.3.1 Emisiones de GEI

Cumplir con el criterio de RESET involucró una reducción del 30 % en el consumo de agua potable y en las emisiones de CO_{2e}. Esto se logró sustituyendo los inodoros del segundo, tercer y cuarto nivel del edificio por unidades de menor consumo y mayor eficiencia e incorporando cabezales reductores de caudal en todos los grifos de lavatorio.

6.2.3.2 Costos

Proponer inodoros más eficientes y boquillas reductoras de caudal aumentaron el costo en 22 % con respecto a la línea base, donde solo se consideró el costo de los inodoros originalmente presupuestados. Además, no se consideraron los costos por renovar las boquillas de grifo debido a que se encuentra fuera del alcance de este trabajo ya que depende de la etapa de operación.

Por último, se pudo notar que es viable obtener un ahorro significativo en el consumo del agua incorporando estrategias sencillas que no requieran un gran costo adicional.

6.3 Criterio 6.6.6

El presente criterio propone utilizar un sistema mejorado para el tratamiento individual de aguas residuales, en los casos en que no se cuente con red de alcantarillado sanitario o planta de tratamiento. RESET considera como sistema mejorado aquel que funcione eficientemente donde la calidad del agua efluente cumpla con la normativa vigente, para que sea reutilizada en el mismo proyecto o sea descargada en un cuerpo receptor legalmente autorizado.

El proceso de tratamiento de aguas residuales genera principalmente emisiones de metano (CH_4), por ello se calcularon las emisiones de este gas y se convirtieron a CO_{2e} a través de su Potencial de Calentamiento Global (PCG). El dióxido de carbono que se produce es de carácter biogénico y por eso no se tomó en cuenta, ya que este es derivado de organismos vivos y no de origen fósil por lo que forma parte del ciclo natural del carbono.

El escenario que se tomó como línea base fue suponer que el edificio conectara sus aguas residuales al sistema de alcantarillado sanitario y el escenario mejorado consistió en que el edificio contara con su propia planta de tratamiento.

En esta sección se analizaron ambas circunstancias y se cuantificó la disminución en las emisiones de GEI obtenidas en el escenario sostenible que propone la norma RESET.

6.3.1 Línea base de emisiones de GEI

Se supuso que las aguas grises del edificio se conectan al alcantarillado sanitario. Este escenario puede ser viable si el AyA tiene cobertura del servicio de alcantarillado en la ubicación del proyecto y si tiene capacidad para aceptar el caudal generado por el mismo.

La ubicación supuesta del edificio es en San Francisco de Goicoechea y en esta zona sí se tiene servicio según se consultó al AyA, además, esta red de alcantarillado sanitario está conectada a la Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR) Los Tajos.

Los Tajos da servicio al 65 % de la población estimada de la zona metropolitana de la provincia de San José y su tratamiento es de tipo primario (AyA, 2015) .Posee una primera etapa de pre tratamiento que incluye la separación de desechos voluminosos y sólidos gruesos a través de rejillas, así como procesos de desarenado y desengrase donde se eliminan arenas, grasas y aceites a través de separación mecánica. Por otro lado, la segunda etapa es el tratamiento primario que consiste en un sedimentador lamelar que separa los sólidos en suspensión.

Así mismo, Los Tajos posee una línea de tratamiento de lodos mediante digestión anaeróbica generando biogás que se aprovecha para la generación de energía y se utiliza en la misma planta para sus procesos.

6.3.1.1 Emisiones de dióxido de carbono equivalente

Para calcular las emisiones de GEI en el proceso de tratamiento de aguas residuales se utilizó la metodología propuesta por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Dicha metodología se encuentra en el capítulo 6 *Wastewater Treatment and Discharge* del informe *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (IPCC, 2019).

Según esta metodología las emisiones de CH₄ se asocian a dos etapas y deben calcularse ambos procesos. La primera corresponde a las emisiones de GEI asociadas al tratamiento de aguas residuales y la segunda a las emisiones de GEI asociadas a la disposición final o vertido. A continuación, se mencionan los pasos realizados para calcular la emisión total de CO_{2e} y posteriormente se presenta su desarrollo según la metodología del IPCC (2019).

1. Cálculo de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) removido por la PTAR
2. Cálculo de las emisiones de CH₄ asociadas al tratamiento y su conversión a CO_{2e}
3. Cálculo de las emisiones de CH₄ asociadas a la disposición final y su conversión a CO_{2e}
4. Cálculo de las emisiones reducidas de CO_{2e} por recuperación de biogás
5. Cálculo total de emisiones de CO_{2e}

Cálculo de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) removido por la PTAR

Para calcular las emisiones por el tratamiento de aguas se requirió conocer el DQO o DBO (el que se tenga a disposición) removido, este consiste en la diferencia entre el DBO (o DQO) de entrada y de salida. Estos parámetros por lo general son obtenidos de pruebas de laboratorio, sin embargo, en este caso eso no era factible, por lo que se utilizó como parámetro inicial el DBO de entrada ya que en la literatura existen valores promedio para este. Se utilizó el valor que plantea Andreoli, Sperling & Fernandes (2007) para aguas residuales domésticas (50 g/persona/día), el cual no difiere tanto del valor que propone el IPCC (2019) para América Latina (40 g/persona/día).

Con el DBO de entrada se pudo calcular el total de materia orgánica de entrada en las aguas residuales del año del inventario (TOW_{afluente}) a través de la siguiente ecuación:

$$TOW_{\text{afluente}} = DBO_{\text{entrada}} * \text{Personas} * \text{Tiempo}_{\text{operación}} * 0.001 \quad [8]$$

Donde:

TOW_{afluente} : Total de materia orgánica de entrada en las aguas residuales del año del inventario [kg DBO/año]

DBO_{entrada} : Demanda Bioquímica de Oxígeno en las aguas residuales afluentes [g/persona/día]

Personas: Cantidad de ocupantes del edificio

$\text{Tiempo}_{\text{operación}}$: Tiempo de operación de la PTAR en un año [días]

Posteriormente, se calculó el total de materia orgánica de salida en las aguas residuales del año del inventario (TOW_{efluente}) con la siguiente ecuación:

$$TOW_{\text{efluente}} = TOW_{\text{afluente}} * (100 - \text{eficiencia}_{\text{rem}}) \quad [9]$$

Donde:

TOW_{efluente} : Total de materia orgánica de salida en las aguas residuales del año del inventario [kg DBO/año]

TOW_{afluente} : Total de materia orgánica de entrada en las aguas residuales del año del inventario [kg DBO/año]

eficiencia_{rem}: Porcentaje de la capacidad de remoción de DBO que tiene la PTAR [%]

Para obtener el valor de la capacidad de remoción de la planta, se utilizó de referencia a Sperling (2007, p. 221) quien presenta valores promedio según sea el tipo de tratamiento, en este caso se escogió el valor asociado a un tratamiento primario que es el que posee Los Tajos.

Teniendo los resultados de la materia orgánica total de entrada y de salida se pudo calcular el DBO removido con la siguiente expresión:

$$TOW_{\text{removido}} = TOW_{\text{afluente}} - TOW_{\text{efluente}} \quad [10]$$

Donde:

TOW_{removido} : Total de materia orgánica removida [kg DBO/año]

El Cuadro 106 que se muestra a continuación, contiene los resultados obtenidos del desarrollo anterior.

Cuadro 106. Parámetros calculados del agua residual del edificio suponiendo la PTAR Los Tajos

Parámetro	Unidad de medida	Valor	Comentario
DBO _{entrada}	g/persona/día	50	Fuente: (Andreoli, Sperling, & Fernandes, 2007)
Personas	-	135	Ocupación máxima
TOW _{afluente}	kg DBO/año	2 464	Ecuación 8
eficiencia _{rem}	%	30	Fuente: (Sperling, 2007)
TOW _{efluente}	kg DBO/año	1 725	Ecuación 9
TOW _{removido}	kg DBO/año	739	Ecuación 10

Cálculo de las emisiones asociadas al tratamiento de aguas residuales

En este proceso se utilizó el valor calculado de la materia orgánica removida, además, la metodología proporciona diferentes factores de emisión según sea el tipo de tratamiento biológico que se realice, ya sea aeróbico, con reactor o lagunas anaeróbicas, tanques sépticos, entre otros (véase Cuadro 107). Sin embargo, también se mencionó que Los Tajos solo posee

tratamiento físico para sus aguas residuales sin contar con el biológico, por lo tanto, según propone el IPCC (2019) las emisiones se traducen a cero, ya que estos factores de emisión relacionan las emisiones de metano que se generan en la descomposición de los lodos por su proceso de digestión, con el tipo de tratamiento biológico que se realice y en este caso no existe.

Cuadro 107. Factores de emisión según el tipo de tratamiento biológico de la PTAR

TABLE 6.3 (UPDATED) DEFAULT MCF VALUES AND RESULTANT EF ² FOR DOMESTIC WASTEWATER BY TYPE OF TREATMENT SYSTEM AND DISCHARGE PATHWAY, J ¹				
Type of treatment and discharge pathway or system	Comments	MCF ¹ (Range)	EF ² (kg CH ₄ /kg BOD)	EF ² (kg CH ₄ /kg COD)
Wastewater treatment system				
Centralised, aerobic treatment plant	Some CH ₄ can be emitted from settling basins and other anaerobic pockets. May also emit CH ₄ generated in upstream sewer networks during turbulent and/or aerobic treatment processes. For treatment plants that are receiving wastewater beyond the design capacity, inventory compilers should judge the amount of organic material removed in sludge accordingly.	0.03 ⁴ (0.003 – 0.09)	0.018	0.0075
Anaerobic reactor (e.g., upflow anaerobic sludge blanket digestion (UASB))	CH ₄ recovery is not considered here.	0.8 (0.8 – 1.0)	0.48	0.2
Anaerobic shallow lagoon and facultative lagoons	Depth less than 2 metres, use expert judgment.	0.2 (0 – 0.3)	0.12	0.05
Anaerobic deep lagoon	Depth more than 2 metres	0.8 (0.8 – 1.0)	0.48	0.2
Constructed wetlands	<i>See 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands (IPCC 2014)</i>			
Septic tank	Septic tanks emit CH ₄	0.5 ⁵ (0.4 – 0.72)	0.3	0.125
Septic tank + land dispersal field	Septic tanks emit CH ₄ ; negligible emissions come from land dispersal field	0.5 ⁵ (0.4 – 0.72)	0.3	0.125

Fuente: (IPCC, 2019)

El Cuadro 108 contiene los resultados discutidos anteriormente, donde se puede ver que el factor de emisión fue cero y por ende también las emisiones de metano. Este último se calculó mediante la siguiente expresión.

$$\text{Emisiones CH}_4 = \text{TOW}_{\text{removido}} * \text{FE} \quad [11]$$

Donde:

Emisiones CH₄: Emisión de metano anual [kg CH₄/año]

TOW_{removido}: Total de materia orgánica removida [kg DBO/año]

FE: Factor de emisión [kg CH₄/kg DBO]

Así mismo, se puede notar que el potencial de calentamiento global utilizado para el metano fue de 28 según el IPCC (2014) ya que representa el dato más actualizado. Con este valor se pueden convertir las emisiones de CH₄ a CO_{2e} a través de la siguiente expresión.

$$\text{Emisiones CO}_{2e} = \text{emisiones CH}_4 * \text{PCG} * 0.001 \quad [12]$$

Donde:

Emisiones CO_{2e}: Emisión de dióxido de carbono equivalente anual [t CO_{2e}/año]

Cuadro 108. Emisiones asociadas al tratamiento de las aguas residuales del edificio a través de la PTAR Los Tajos

Parámetro	Unidad de medida	Valor	Comentario
Factor de emisión	kg CH ₄ / kg DBO	0	Fuente: (IPCC, 2019)
TOW _{removido}	kg DBO/año	739	
Emisiones de CH ₄	kg CH ₄ / año	0	Ecuación 11
Potencial de calentamiento global	-	28	Fuente: (IPCC, 2014)
Dióxido de carbono equivalente	t CO ₂ / año	0	Ecuación 12

Cálculo de las emisiones asociadas a la disposición final de las aguas residuales

El procedimiento para calcular las emisiones de dióxido de carbono equivalente por la disposición final de las aguas fue similar al procedimiento descrito anteriormente para su tratamiento. La diferencia radica en que para obtener las emisiones de metano se utilizó el valor calculado para la materia total orgánica del efluente (TOW_{efluente}) y no el removido, según la siguiente expresión.

$$\text{Emisiones CH}_4 = \text{TOW}_{\text{efluente}} * \text{FE} \quad [13]$$

Donde:

Emisiones CH₄: Emisión de metano anual [kg CH₄/año]

TOW_{efluente} : Total de materia orgánica de salida en las aguas residuales del año del inventario [kg DBO/año]

FE: Factor de emisión [kg CH₄/kg DBO]

Además, esta vez sí se tuvo un valor para el factor de emisión del metano según el IPCC (2019), el cual depende del lugar de descarga del efluente (véase Cuadro 109). Se consultó al AyA y la PTAR Los Tajos descarga su efluente en un cuerpo de agua.

Cuadro 109. Factores de emisión según el lugar de descarga del efluente

TABLE 6.3 (UPDATED) DEFAULT MCF VALUES AND RESULTANT EF'S FOR DOMESTIC WASTEWATER BY TYPE OF TREATMENT SYSTEM AND DISCHARGE PATHWAY, J ¹				
Type of treatment and discharge pathway or system	Comments	MCF ¹ (Range)	EF ² (kg CH ₄ /kg BOD)	EF ² (kg CH ₄ /kg COD)
Discharge from treated or untreated system				
Discharge to aquatic environments (Tier 1)	Most aquatic environments including rivers are supersaturated in CH ₄ . Nutrient oversupply will increase CH ₄ emissions. Environments where carbon accumulates in sediments have higher potential for methane generation.	0.11 (0.004 – 0.27)	0.068	0.028
Discharge to aquatic environments other than reservoirs, lakes, and estuaries (Tier 2)	Most aquatic environments including rivers are supersaturated in CH ₄ . Nutrient oversupply will increase CH ₄ emissions.	0.035 ³ (0.004 – 0.06)	0.021	0.009
Discharge to reservoirs, lakes, and estuaries (Tier 2)	Environments where carbon accumulates in sediments have higher potential for methane generation.	0.19 ³ (0.08 – 0.27)	0.114	0.048
Discharge to soil	Sludge and/or wastewater discharge to soil may be a source of CH ₄ for fertilisation	Emissions reported in Volume 4		
Stagnant sewer	Open and warm	0.5 (0.4 – 0.8)	0.3	0.125
Flowing sewer (open or closed)	Fast moving, clean. (Insignificant amounts of CH ₄ from pump stations, etc.)	0	0	0

Fuente: (IPCC, 2019)

Cuadro 110. Emisiones asociadas a la disposición final de las aguas residuales del edificio a través de la PTAR Los Tajos

Parámetro	Unidad de medida	Valor	Comentario
Factor de emisión	kg CH ₄ / kg DBO	0,068	Fuente: (IPCC, 2019)
TOW_{efluente}	kg DBO/año	1 725	

Parámetro	Unidad de medida	Valor	Comentario
Emisiones de CH ₄	kg CH ₄ / año	117,3	Ecuación 13
Potencial de calentamiento global	-	28	Fuente: (IPCC, 2014)
Dióxido de carbono equivalente	t CO ₂ / año	3,28	Ecuación 12

Cálculo de la reducción en emisiones por recuperación de biogás

La PTAR Los Tajos tiene un tratamiento para los lodos mediante un biodigestor anaeróbico, el cual recupera biogás que se usará como combustible y generador de energía eléctrica. Por lo tanto, la recuperación del biogás genera un ahorro en las emisiones de CO_{2e} que debe ser descontado del inventario.

Para acudir a lo anterior, se debía contar con varios parámetros iniciales, estos se obtuvieron del Cuadro 111 que propone Andreoli, Sperling, & Fernandes (2007, p. 49) para biodigestores anaeróbicos. Por su parte, el Cuadro 112 contiene los parámetros escogidos y los resultados generados.

El procedimiento de cálculo inició a partir de un valor per cápita de producción de gas y la ocupación del edificio y con estos se calculó el caudal, el cual fue usado junto al valor calorífico del gas para calcular su energía diaria; sin embargo, el proceso para generar energía eléctrica no es completamente eficiente por lo que solamente el 35 % de dicha energía del gas es la que va a generar electricidad. Por último, se realizó la conversión de unidades para obtener la energía eléctrica en kW-h aplicando un factor de 0,27778 y se tradujo dicha energía en el periodo de un año, con ello se calcularon las emisiones de dióxido de carbono utilizando el factor de emisión brindado por el IMN (2021).

Como se puede notar, el ahorro en emisiones por la recuperación de biogás fue bajo en comparación a la huella de carbono calculada por el tratamiento de aguas residuales.

Cuadro 111. Parámetros típicos de diseño para biodigestores anaeróbicos

Parameters	Typical values
Detention time (θ_c) (d)	18–25
Volumetric organic load (kgVS/m ³ ·d)	0.8–1,6
Total solids volumetric load (kgSS/m ³ ·d)	1.0–2.0
Influent raw sludge solids concentration (%)	3–8
Volatile solids fraction in raw sludge (%)	70–80
Efficiency in total solids reduction (% TS)	30–35
Efficiency in volatile solids reduction (% VS)	40–55
Gas production (m ³ /kgVS destroyed)	0.8–1.1
Calorific value of gas (MJ/m ³)	23.3
Digested sludge production (gTS/inhabitant·day)	38–50
Gas production (L/inhabitant·day)	20–30
Raw sludge heating power (MJ/kgTS)	15–25
Digested sludge heating power (MJ/kgTS)	8–15

Fuente: (Andreoli, Sperling, & Fernandes, 2007)

Cuadro 112. Cuantificación de emisiones reducidas por recuperación de biogás

Parámetro	Unidad de medida	Valor	Comentario
Producción de gas	l/hab/día	25	Fuente: (Andreoli, Sperling, & Fernandes, 2007)
Habitantes	-	135	Ocupación máxima
Caudal de gas	l/día	3 375	
Caudal de gas	m ³ /día	3,38	
Valor Calorífico del gas	MJ/m ³	23,3	Fuente: (Andreoli, Sperling, & Fernandes, 2007)
Energía del gas	MJ/día	78,6	
Rendimiento equipo transformador	%	35	Fuente: (Andreoli, Sperling, & Fernandes, 2007)
Energía neta producida diaria	MJ/día	27,52	
Periodo	días	365	
Electricidad neta producida al año	kWh	2 791	
Factor emisión	kg CO ₂ /kWh	0,0282	Fuente: (IMN, 2021)
Reducción de emisiones	kg CO _{2e} /año	0,079	

Parámetro	Unidad de medida	Valor	Comentario
Reducción de emisiones	t CO _{2e} /año	0,000079	

Cálculo de emisiones totales de la línea base

Para obtener las emisiones totales en dióxido de carbono equivalente se sumaron las emisiones calculadas en el proceso de tratamiento del agua residual y el proceso de su disposición final, restando las emisiones obtenidas por la recuperación del biogás.

El Cuadro 113 presenta un resumen de los resultados junto con la huella de carbono total para este escenario de línea base, donde se supuso que las aguas grises del edificio se conectan al alcantarillado sanitario.

Cuadro 113. Huella de carbono total del criterio RESET 6.6.6 para la línea base

Parámetro	Unidad de medida	Valor
Emisiones por tratamiento de aguas	t CO _{2e} / año	0
Emisiones por disposición final	t CO _{2e} / año	3,28
Emisiones ahorradas por recuperación de biogás	t CO _{2e} / año	0,000079
Huella de carbono total	t CO _{2e} / año	3,28

6.3.1.2 Costos asociados

En este caso no se incurrió en ningún gasto inicial de materiales o mano de obra, por lo tanto, se obtuvo un costo nulo para la línea base.

De igual manera, no se tomó en cuenta el servicio de alcantarillado sanitario brindado por el AyA, ya que se sale del alcance de esta investigación.

6.3.2 Evaluación del criterio RESET

Aplicar el criterio 6.6.6 de RESET requiere contar con un escenario donde se logre reducir la huella de carbono asociada al tratamiento de aguas residuales. Por eso, en esta sección se cuantificaron las emisiones de GEI al suponer que el edificio tiene su propia planta de tratamiento. El tratamiento que se escogió fue de lodos activados con aireación extendida, el

cual es un tratamiento biológico aeróbico y ha sido muy utilizado en el país generando resultados eficientes.

6.3.2.1 Emisiones de dióxido de carbono equivalente

La metodología para calcular la huella de carbono fue la misma que se describió en la sección anterior según el IPCC (2019). Lo que cambió fueron algunos parámetros que dependían del tipo de tratamiento a utilizar, sin embargo, las ecuaciones fueron igualmente aplicables.

Como se vio en la línea base, el primer paso es obtener el total de materia orgánica que la PTAR remueve, el Cuadro 114 contiene los datos utilizados para calcular este valor. Se puede observar que el porcentaje de eficiencia de remoción es mucho más alto que la PTAR Los Tajos pues en este caso el tratamiento es secundario por lo que se espera una remoción mucho mayor. Este porcentaje se obtiene del Cuadro 115, donde se aprecia que corresponde al 85 %, sin embargo, también se puede usar la referencia de Sperling (2007, p. 221) que expone un rango entre 83 % a 93 %.

Cuadro 114. Parámetros calculados del agua residual del edificio suponiendo una PTAR propia

Parámetro	Unidad de medida	Valor	Comentario
DBO _{entrada}	g/persona/día	50	Fuente: (Andreoli, Sperling, & Fernandes, 2007)
Personas	-	135	Ocupación máxima
TOW _{afluente}	kg DBO/año	2 464	Ecuación 8
eficiencia _{rem}	%	85	Fuente: (IPCC, 2019)
TOW _{efluente}	kg DBO/año	370	Ecuación 9
TOW _{removido}	kg DBO/año	2 094	Ecuación 10

A partir de la cantidad de materia orgánica removida se pudieron calcular las emisiones asociadas al tratamiento de las aguas residuales utilizando el factor de emisión para el metano, el cual depende del tipo de tratamiento, en este caso al ser aeróbico se tuvo un factor de 0,018 kg CH₄ / año (véase Cuadro 107).

Del Cuadro 116 se puede notar que se emitió un total de 1,055 t CO_{2e} al año. A pesar de que la cantidad de DBO removido es mucha, se obtiene una cantidad baja de CO_{2e} debido a que el factor de emisión utilizado es bajo en comparación con los otros factores asociados a otros tipos de tratamiento como los anaeróbicos.

Cuadro 115. Porcentajes de eficiencia de remoción de materia orgánica de la PTAR según el tipo de tratamiento

Treatment Type	Default	Range
Untreated systems	0	0 – 0.1
Primary (mechanical treatment plants)	0.40	0.25 – 0.50
Primary + Secondary (biological treatment plants)	0.85	0.80 – 0.90
Primary + Secondary + Tertiary (advanced biological treatment plants)	0.90	0.80 – 0.95
Septic tank/septic system	0.625	0.50 – 0.60
Latrines – Dry climate, groundwater table lower than latrine, small family (3–5 persons)	0.1	0.05 – 0.15
Latrines – Dry climate, groundwater table lower than latrine, communal (many users)	0.5	0.4 – 0.6
Latrines – Wet climate/flush water use, groundwater table higher than latrine	0.7	0.7 – 1.0

Fuente: (IPCC, 2019)

Cuadro 116. Emisiones asociadas al tratamiento de las aguas residuales del edificio a través de una PTAR propia

Parámetro	Unidad de medida	Valor	Comentario
Factor de emisión	kg CH ₄ / kg DBO	0,018	Fuente: (IPCC, 2019)
Emisiones de CH ₄	kg CH ₄ / año	37,70	Ecuación 13
Potencial de calentamiento global	-	28	Fuente: (IPCC, 2014)
Dióxido de carbono equivalente	t CO _{2e} / año	1,055	Ecuación 12

Por otro lado, el Cuadro 117 contiene las emisiones asociadas a la disposición final de las aguas residuales. Para calcular las emisiones de metano se utilizó un nuevo factor de emisión que proviene del Cuadro 109 al considerar que el cuerpo receptor es una quebrada permanente cercana al proyecto, así mismo, se utilizó el parámetro de materia orgánica del efluente o de salida calculado anteriormente. Posteriormente se convirtió a dióxido de carbono equivalente utilizando el PCG para el metano.

Cuadro 117. Emisiones asociadas a la disposición final de las aguas residuales del edificio a través de una PTAR propia

Parámetro	Unidad de medida	Valor	Comentario
Factor de emisión	kg CH ₄ / kg DBO	0,068	Fuente: (IPCC, 2019)
Emisiones de CH ₄	kg CH ₄ / año	25,13	Ecuación 13
Potencial de calentamiento global	-	28	Fuente: (IPCC, 2014)
Dióxido de carbono equivalente	t CO _{2e} / año	0,704	Ecuación 12

Por último, el Cuadro 118 presenta un resumen de las emisiones calculadas y se observa que la huella de carbono por utilizar una planta de tratamiento individual se reduce casi a la mitad en comparación con la generada en la línea base (Cuadro 113).

Cuadro 118. Huella de carbono total del criterio RESET 6.6.6 para el escenario sostenible

Parámetro	Unidad de medida	Valor
Emisiones por tratamiento de aguas	t CO _{2e} / año	1,055
Emisiones por disposición final	t CO _{2e} / año	0,704
Huella de carbono total	t CO _{2e} / año	1,76

6.3.2.2 Costos asociados

Se calcularon los costos de construcción de la PTAR equivalentes a la inversión inicial, considerando materiales y mano de obra. Para ello se utilizó de referencia los costos que provee

Centeno & Murillo (2020) en su artículo llamado "Comparación de tecnologías para el tratamiento sostenible de aguas residuales ordinarias en pequeñas comunidades de Costa Rica: demanda de área, costo constructivo y costo de operación y mantenimiento". Estos costos se reajustaron por inflación a junio 2022.

Como se observa en el Cuadro 119, los costos fueron dados en dólares, sin embargo, se utilizó un tipo de cambio de 665 colones referente al mes de junio del 2022 cuando se hizo la consulta. Se obtuvo un costo aproximado de 1 669 dólares por metro cúbico de agua diario que reciba la PTAR, este valor no fue dado explícitamente por Centeno (2020) ya que se realizó una interpolación.

Cuadro 119. Costos asociados al escenario sostenible del criterio RESET 6.6.6

Capacidad PTAR (m ³ /día)	11,97
Costo PTAR (m ³ /día)	\$ 1 669
Costo total PTAR	\$ 19 981
Tipo cambio del dólar	∅ 665
Costo total PTAR	∅ 13 287 064

6.3.3 Comparación de resultados

6.3.3.1 *Emisiones de GEI*

Según los resultados obtenidos, la línea base generó una huella de carbono de 3,28 t CO_{2e} que fue mayor a 1,76 t CO_{2e} en la línea sostenible, por lo que se produjo un ahorro de 1,52 t CO_{2e} que significó un 46 % menos de emisiones. Se alcanzó este impacto significativo debido a que la PTAR propuesta para el edificio resultó ser más efectiva que la de Los Tajos.

6.3.3.2 *Costos*

Construir la PTAR propia del edificio resultó costar 13 287 064 colones, pero esto no incluyó su mantenimiento.

Por otro lado, la línea base no generó ningún costo porque solo se contemplaron aquellos relacionados con materiales y mano de obra inicial, sin embargo, este escenario tendrá gastos mensuales relacionados con el servicio de alcantarillado brindado por el AyA.

Teniendo en cuenta lo anterior, se obtuvo un incremento en el costo del 100 % para este requisito de RESET.

6.4 Resumen de resultados obtenidos

En esta sección se presenta un resumen de los resultados obtenidos sobre la huella de carbono calculada para la línea base y para el escenario sostenible en cada criterio evaluado y el impacto en los costos.

Los valores positivos representan un aumento en las emisiones o en los costos y los valores negativos significa que hubo un ahorro en estos. Del Cuadro 121 se puede notar que en todos los criterios hubo ahorro en la huella de carbono, con un total de 3,76 t CO_{2e} menos. Por otra parte, los costos siempre aumentaron generando un total de 14 530 364 colones, que es una cifra significativa en el presupuesto.

Cuadro 120. Resumen de criterios RESET evaluados del Capítulo 6 – Optimización en el uso del agua

Criterio RESET	Estrategia sostenible
6.6.1 y 6.6.2	Sistema de captación de agua de lluvia a través de la losa de techo
6.6.3	Uso de piezas sanitarias, griferías y accesorios eficientes
6.6.6	PTAR privada del edificio

Cuadro 121. Resumen de la huella de carbono y costos del Capítulo 6 – Optimización en el uso del agua

Criterio RESET	Huella línea base (t CO_{2e})	Huella escenario sostenible (t CO_{2e})	Ahorro (-) Aumento (+) (t CO_{2e})	Costos línea base	Costos escenario sostenible	Ahorro (-) Aumento (+)
6.6.1 y 6.6.2	4,37	3,44	-0,93	∅ 0	∅ 1 072 500	∅ 1 072 500
6.6.3	4,37	3,06	-1,31	∅ 754 200	∅ 925 000	∅ 170 800
6.6.6	3,28	1,76	-1,52	∅ 0	∅ 13 287 064	∅ 13 287 064
Total	12,02	8,26	-3,76	∅ 754 200	∅ 15 284 564	∅ 14 530 364

7 CAPÍTULO 7 – OPTIMIZACIÓN DE LA ENERGÍA

El presente capítulo propuso diferentes estrategias que obedecieron a los requisitos solicitados por la norma RESET en cada uno de sus criterios. Se evaluaron cuatro criterios que inciden de manera directa en la disminución de la huella de carbono del edificio, ya que incitan a reducir el consumo energético y utilizar fuentes de energía renovable. Además, para cada uno se estableció una línea base de emisiones y se comparó con el escenario sostenible (o línea sostenible) para determinar el ahorro logrado en la huella de carbono.

Así mismo, se estimaron a modo general los costos directos asociados al escenario base y al sostenible para poder analizar el impacto económico que involucra implementar las estrategias. Además, cabe señalar que los criterios se enumeraron de la misma forma en que los cita la norma RESET.

7.1 Criterio 6.7.2

Este criterio se encuentra bajo el concepto de la norma RESET de utilizar energías renovables, libres de combustión y con bajas emisiones de GEI. Para cumplirlo, se indica específicamente que al menos el 30 % del agua caliente (60 °C) se genere con fuentes de energía limpia distinta a la red nacional.

Por lo tanto, se propuso utilizar calentadores de agua solares en la línea sostenible y utilizar calentadores eléctricos en la línea base, de esta manera se calculó el consumo energético y las emisiones relacionadas y se comparó con el ahorro obtenido por la propuesta sostenible.

7.1.1 Línea base de emisiones

En primer lugar, se consultó el presupuesto del edificio prototipo para determinar el tipo de calentador contemplado y se especificó un calentador eléctrico en línea con regulador de temperatura y con una potencia de 20 kW \pm 5 kW.

Los planos mecánicos del proyecto señalan que el calentador se ubica en el cuarto nivel y sirve a todos los grifos del apartamento (ver Figura 32) incluyendo la ducha, lavamanos, fregadero y pila de lavado, además, calienta el agua del fregadero del quinto nivel según lo muestra la Figura 33.

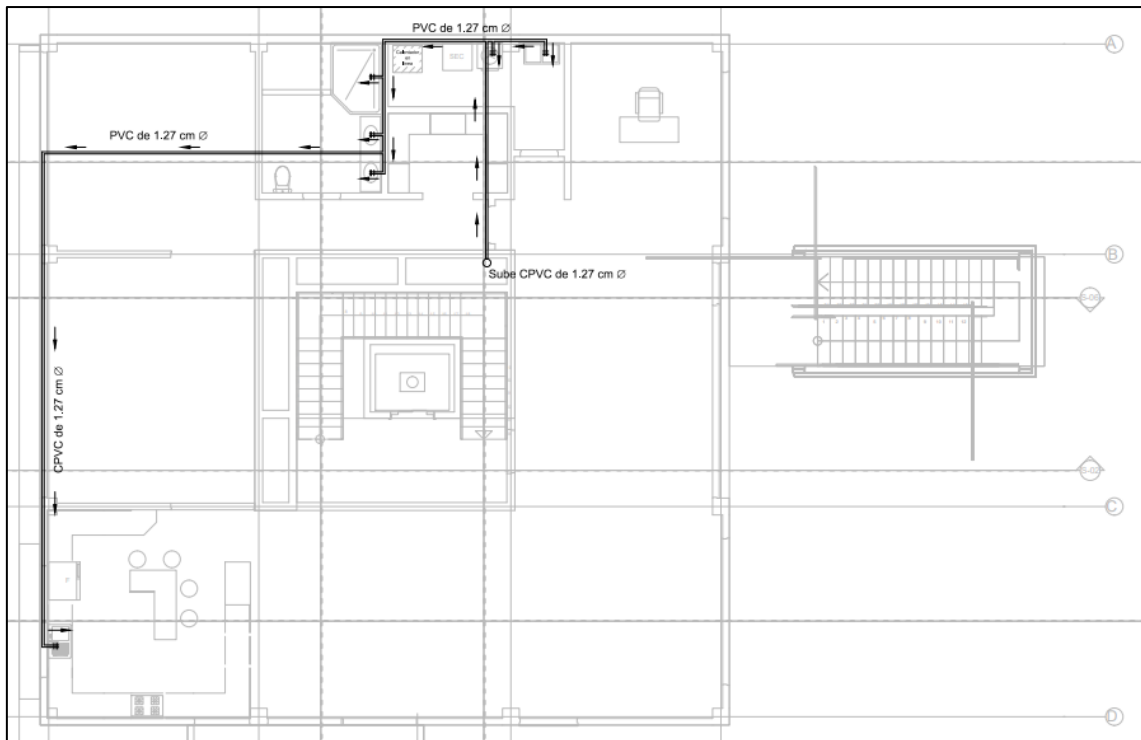


Figura 32. Agua caliente del cuarto nivel

Fuente: (BCCR, 2015)

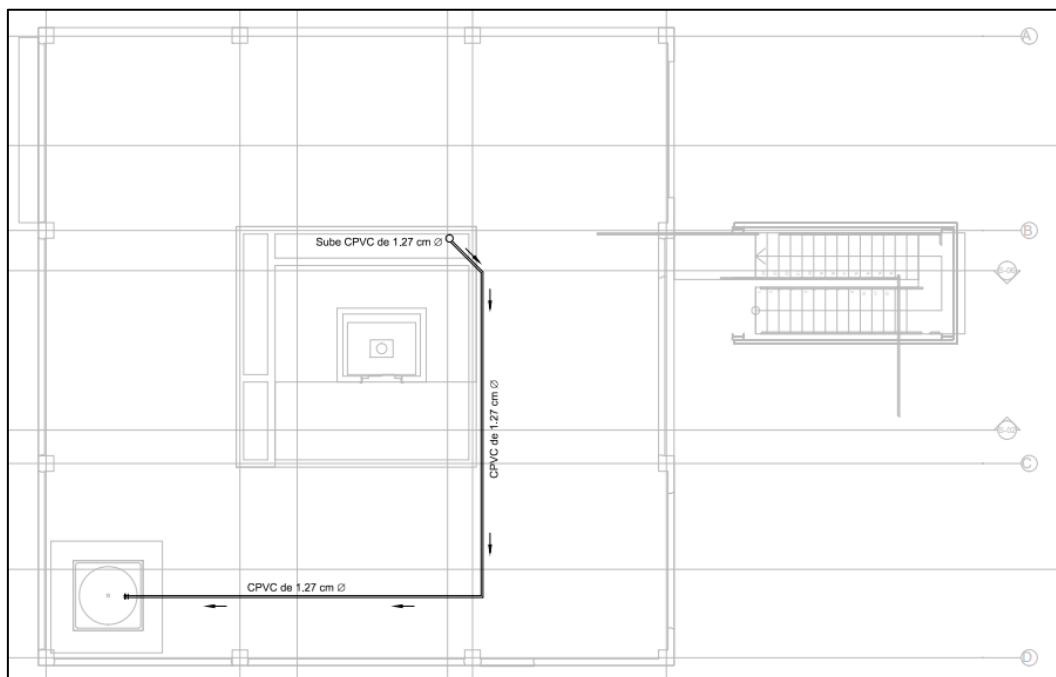


Figura 33. Agua caliente del quinto nivel

Fuente: (BCCR, 2015)

Se calculó el tiempo total de consumo de agua caliente para obtener la demanda energética del calentador. Para ello se utilizaron los tiempos de consumo y usos específicos de cada grifo tomados de la guía *LEED v.4 Para Diseño y Construcción de Edificios* (U.S Green Building Council, 2014). El Cuadro 122 muestra el consumo total diario, mensual y anual siendo este último de 151 h considerando dos ocupantes en el apartamento del cuarto nivel. Además, se asignaron cinco ocupantes para el fregadero, correspondientes a dos personas del apartamento y tres personas diarias en promedio que se encuentren en la zona común del nivel cinco donde se ubica el grifo.

Cuadro 122. Tiempos de consumo de agua caliente del cuarto y quinto nivel

Pieza	Tiempo de consumo (min/uso)	Uso diario (uso/persona)	Ocupante	Consumo diario (min)
Fregadero	0,25	4	5	5,0
Lavatorio	0,5	5	2	5,0
Ducha	6	1	2	12,0
Pila de lavado	8,6	0,14	2	2,4
Consumo total diario (h)				0,4
Consumo total mensual (h)				12,6
Consumo total anual (h)				151

Fuente: (U.S Green Building Council, 2014)

El gasto energético anual resultó ser de 3 026 kW-h y se determinó a partir de la potencia del calentador y el tiempo total de consumo, véase el Cuadro 123. También se determinó la emisión de dióxido de carbono equivalente asociada, utilizando el factor de emisión brindado por el IMN para el año 2021.

Cuadro 123. Consumo energético por calentadores eléctricos y huella de carbono asociada del cuarto y quinto nivel

Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Potencia del calentador	kW	20	Especificado en presupuesto
Tiempo de consumo anual	h	151	
Consumo energético anual	kW – h	3 026	
Factor de emisión	kg CO _{2e} /kW – h	0,0282	Fuente: (IMN, 2021)
Emisión anual	kg CO _{2e}	85	

El diseño del edificio contempló la distribución del agua caliente únicamente en el apartamento del cuarto nivel y el fregadero ubicado en el quinto nivel, sin embargo, se decidió calcular

también el consumo energético por calentar el agua en las duchas, fregaderos y lavatorios de los dos apartamentos del tercer nivel y de esta manera aproximarse más a la práctica común.

Cada uno de estos apartamentos se destina para tres personas, ya que cuentan con un dormitorio principal y uno individual, además, contienen dos baños completos, un cuarto de pilas, sala-comedor y cocina. Por lo tanto, se calculó el tiempo de consumo de los fregaderos, los lavatorios y las duchas y para cada apartamento se obtuvieron 177 horas de consumo anual, como se muestra en el Cuadro 124 y Cuadro 125.

Cuadro 124. Tiempos de consumo de agua caliente del apartamento 1 del tercer nivel

Apartamento 1				
Pieza	Tiempo de consumo (min/uso)	Uso diario (uso/persona)	Personas	Consumo diario (min)
Fregadero	0,25	4	3	3,0
Lavatorio	0,5	5	3	7,5
Ducha	6	1	3	18,0
Consumo total diario (h)				0,5
Consumo total mensual (h)				14,73
Consumo total anual (h)				177

Cuadro 125. Tiempos de consumo de agua caliente del apartamento 2 del tercer nivel

Apartamento 2				
Pieza	Tiempo de consumo (min/uso)	Uso diario (uso/persona)	Personas	Consumo diario (min)
Fregadero	0,25	4	3	3,0
Lavatorio	0,5	5	3	7,5
Ducha	6	1	3	18,0
Consumo total diario (h)				0,5
Consumo total mensual (h)				14,73
Consumo total anual (h)				177

El Cuadro 126 y Cuadro 127 señalan las emisiones asociadas a la demanda eléctrica de 2 651 kw-h por apartamento, generando una huella de 75 kg CO_{2e} en cada uno. Se utilizó un calentador de paso por apartamento con una potencia de 15 kW, el cual se adapta a los

patrones de consumo de agua de los residentes y uso simultáneo de los servicios de acuerdo con lo consultado al fabricante.

Cuadro 126. Consumo energético por calentadores eléctricos y huella de carbono asociada para el apartamento 1 del tercer nivel

Apartamento 1			
Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Potencia del calentador	kW	15	Fuente: (THERMO SOLUTIONS, 2020)
Tiempo de consumo anual	h	177	
Consumo energético anual	kW – h	2 651	
Factor de emisión	kg CO _{2e} /kW – h	0,0282	Fuente: (IMN, 2021)
Emisión anual	kg CO _{2e}	75	

Cuadro 127. Consumo energético por calentadores eléctricos y huella de carbono asociada para el apartamento 2 del tercer nivel

Apartamento 2			
Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Potencia del calentador	kW	15	Fuente: (THERMO SOLUTIONS, 2020)
Tiempo de consumo anual	h	177	
Consumo energético anual	kW – h	2 651	
Factor de emisión	kg CO _{2e} /kW – h	0,0282	Fuente: (IMN, 2021)
Emisión anual	kg CO _{2e}	75	

Por último, se obtuvo una huella de carbono total anual de 0,235 t CO_{2e}, correspondiente al consumo de agua caliente por el uso de calentador eléctrico en los apartamentos del tercer y cuarto nivel, incluyendo el fregadero del área en común del nivel cinco.

Cuadro 128. Huella de carbono total del criterio RESET 6.7.2 para la línea base

Parámetro	Unidad	Emisión anual
Emisiones apartamento 1, N 3	kg CO _{2e}	74,74
Emisiones apartamento 2, N 3	kg CO _{2e}	74,74
Emisiones apartamento N 4	kg CO _{2e}	85
Emisión anual total	kg CO _{2e}	234,8
Huella de carbono total anual	t CO _{2e}	0,235

7.1.1.1 Costos asociados

A continuación, se presentan los costos de los calentadores eléctricos y su instalación. Para el calentador de paso de 15 kW se cotizó con un proveedor nacional porque no estaba dentro del presupuesto como sí lo estaba el calentador de 20 kW.

Cuadro 129. Costos asociados a la línea base del criterio RESET 6.7.2

Insumo	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
Calentador de agua en línea (20 kW) con regulador de temperatura, incluye instalación	und	1	₪ 799 063	₪ 799 063
Calentador de agua de paso (15 kW) con regulador de temperatura, incluye instalación	und	2	₪ 325 818	₪ 651 636
Costo total				₪ 1 450 699

7.1.2 Evaluación del criterio

La propuesta consistió en que los apartamentos del tercer y cuarto nivel solo cuenten con agua caliente en las duchas y fregaderos, ya que lo usual es que se requiera altas temperaturas en estos servicios, además, que el agua provenga de calentadores alimentados por energía solar y de esta manera reducir el consumo eléctrico y la huella de carbono asociada.

Se consultó con un proveedor nacional a modo de referencia para encontrar el calentador que mejor se adapte, se escogió un calentador solar de acero inoxidable con capacidad de almacenamiento de 60 galones que funciona a través del efecto termosifón, la Figura 34 muestra un ejemplo con fines ilustrativos.

El efecto termosifón es un movimiento térmico circular en el cual, entre mayor sea la diferencia de temperatura entre el agua que hay en el colector y el agua almacenada en el tanque, más rápido fluye el agua a través del circuito.

La Figura 35 aclara mejor el funcionamiento, a medida que el sol calienta el colector, el agua almacenada aumenta su temperatura, disminuye su peso específico, se dilata, y se vuelve más ligera; de este modo tiende a subir hasta la parte superior del tanque, mientras que el agua fría, que es más pesada, pasa a la parte baja del colector donde comienza a calentarse.

Además, la circulación del agua es totalmente natural por lo que no se requiere de una bomba recirculadora.



Figura 34. Ejemplo de calentador solar con efecto termosifón

Fuente: (THERMO SOLUTIONS, 2020)

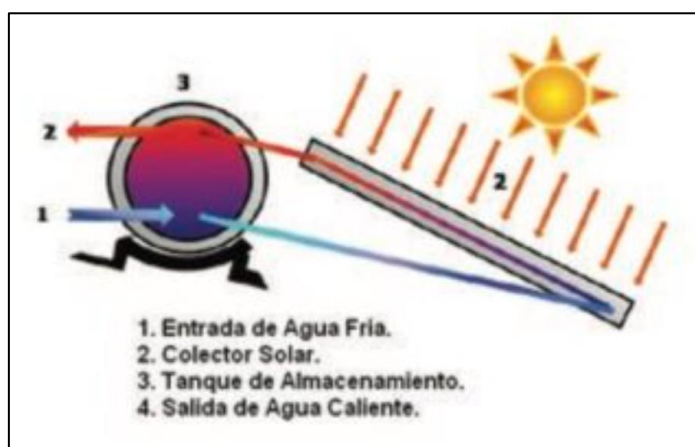


Figura 35. Funcionamiento del calentador solar con efecto termosifón

Fuente: (THERMO SOLUTIONS, 2020)

El calentador cuenta con un sistema de respaldo eléctrico de 3 kW, en caso de que el clima no permita captar la suficiente energía solar, sin embargo, el equipo está diseñado para captar inclusive los rayos difusos de sol, así como, mantener caliente el agua hasta 48 horas por su capa de aislamiento térmico.

El consumo de energía eléctrica por calentar el agua se reduce a cero y por ende también la huella de carbono asociada, tal como se presenta en el Cuadro 130. Cabe resaltar que no se considera el consumo eléctrico de respaldo, ya que el clima de la GAM permite calentar el agua requerida por el edificio aun en temporada lluviosa según la experiencia del fabricante.

Cuadro 130. Huella de carbono total del criterio RESET 6.7.2 para el escenario sostenible

Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Consumo energético anual	kW – h	0	
Factor de emisión	kg CO _{2e} /kW – h	0,0282	Fuente: (IMN, 2021)
Emisión anual	kg CO _{2e}	0	
Huella de carbono anual total (t CO_{2e})			0,00

7.1.2.1 Costos asociados

A continuación, se presenta el costo del calentador solar seleccionado y su instalación según la cotización con un proveedor nacional a modo de referencia.

Cuadro 131. Costos asociados al escenario sostenible del criterio RESET 6.7.2

Insumo	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
Calentador solar con efecto termosifón de 60 gal, incluye instalación	und	1	₡ 1 355 590	₡ 1 355 590
Costo total				₡ 1 355 590

7.1.3 Comparación de resultados

7.1.3.1 Emisiones

Se consiguió un ahorro del 100 % al implementar el requisito de RESET, esto conllevó sustituir tres equipos de calentamiento eléctricos por un solo equipo de calentamiento con energía solar. Además, se redujo la condición de agua caliente a las duchas y fregaderos en el apartamento del cuarto nivel, ya que contaba con este en todos los demás grifos sin ser estrictamente necesarios, pero se les sumó a los residentes del tercer nivel agua caliente ya que no estaba contemplado en el diseño original del edificio.

Aunque el ahorro fue máximo, se puede considerar pequeña la huella de carbono de la línea base y esto ocurre por contar con un factor de emisión pequeño a causa de la matriz eléctrica

nacional, ya que se utilizan mayoritariamente fuentes de energía renovables. Sin embargo, representa un resultado que suma a la disminución del impacto ambiental y, a largo plazo, también económico por la disminución en la factura eléctrica.

7.1.3.2 Costos

Se pudo notar una leve disminución en los costos al pasar de 1 450 699 a 1 355 590 colones. Fue favorecedor poder encontrar en el mercado una opción sostenible que se equipare con los precios de los equipos convencionales y de esta forma que se convierta en una realidad acudir a estas nuevas opciones sin contraer grandes gastos.

7.2 Criterio 6.7.3

Este criterio insta a diseñar espacios para el secado de ropa de forma pasiva, es decir, utilizando la luz solar y el viento sin recurrir a secadoras eléctricas que consuman energía. Es por ello, que la línea base de emisiones se centró en calcular el consumo eléctrico por utilizar secadoras de ropa y así determinar su huella de carbono, mientras que, para el escenario sostenible, se propuso modificar el diseño del edificio de tal forma que se cuente con el espacio para dichos fines ya que originalmente no fue considerado.

Además, este requisito fue aplicable únicamente a los tres apartamentos que posee el edificio, dos en el tercer nivel y uno en el cuarto.

7.2.1 Línea base de emisiones

En este escenario se calculó el consumo energético anual por utilizar secadora de ropa en los apartamentos, para ello, se tomó de referencia los datos técnicos de una secadora con capacidad máxima de carga de ropa de 9 kg (Bosch, s.f).

La ficha técnica contiene el tiempo de lavado por ciclo y el consumo de energía según el tipo de tejido y combinación de ropa. Se escogió un programa de secado tipo armario que seca la ropa sin necesidad de tenderla o utilizar la plancha, este programa involucra por ciclo de secado un tiempo de 71 minutos y consumo de 0,66 kW lo que resulta en 0,78 kW-h por cada ciclo (Bosch, s.f).

Se supuso que cada residente utiliza la secadora una vez por semana y esto conllevó a un total de 32 ciclos al mes para los ocho residentes. En el Cuadro 132 se pueden observar estos resultados y el consumo total anual de 300 kW-h.

Cuadro 132. Datos técnicos de secadora de ropa para residentes del edificio y consumo energético total

Secado tipo armario para ropa mixta (algodón-sintético)	
Parámetro	Valor
Velocidad de centrifugado (r.p.m)	600
Duración por ciclo (min)	71
Consumo energético por ciclo (kW)	0,66
Consumo eléctrico por ciclo (kW-h)	0,78
Ciclos por persona a la semana	1
Ciclos por persona al mes	4
Total de personas	8
Total de ciclos al mes	32
Consumo total al mes (kW-h)	25,0
Consumo total anual (kW-h)	300

Fuente: (Bosch, s.f)

Posteriormente, se calculó la huella de carbono asociada a dicho consumo, la cual fue de 8,46 kg CO_{2e} utilizando el factor de emisión para energía eléctrica según el IMN (2021), véase Cuadro 133.

Cuadro 133. Huella de carbono total del criterio RESET 6.7.3 para la línea base

Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Consumo energético anual	kW – h	300	
Factor de emisión	kg CO _{2e} /kW – h	0,0282	Fuente: (IMN, 2021)
Emisión anual	kg CO _{2e}	8,46	
Huella de carbono anual total (t CO_{2e})			0,00846

7.2.1.1 Costos asociados

No se encontró ningún costo en el escenario base según el alcance planteado, ya que este solo involucra costos iniciales directos relacionados con la etapa de diseño como lo son materiales o mano de obra.

Además, no se incluyeron los costos referentes al consumo eléctrico ya que pertenecen a la etapa de operación y tampoco aquellos al equipo de secado ya que pertenecen al mobiliario y no a materiales de construcción.

7.2.2 Evaluación del criterio

7.2.2.1 *Propuesta de diseño*

El diseño original del edificio prototipo no contiene espacios al aire libre para que los residentes puedan secar su ropa, por el contrario, solo incluye un cuarto de pilas cerrado por apartamento con espacio para la lavadora y secadora.

Por esa razón, la propuesta sostenible consistió en habilitar una zona abierta con acceso a iluminación y ventilación natural en el quinto nivel, el cual, originalmente es bajo techo y se destina para un pequeño gimnasio y zona común de recreación. Por lo tanto, el nuevo espacio cuenta con 30 m² y su diseño se basó en una estructura tipo pérgola con tubo de acero estructural y techo de policarbonato, la Figura 36 y la Figura 37 presentan un ejemplo a modo de referencia.

Se utilizaron tubos de hierro negro de 2 x 4 pulgadas que serán pintados y láminas de policarbonato celular transparente resistente ante los rayos del sol (véase Figura 38). Los tubos longitudinales se colocaron con una separación de 60 cm según lo recomendado y una separación de 100 cm en la orientación transversal. En la Figura 39 las líneas punteadas señalan los tubos y su separación, también se puede ver la ubicación de las láminas, y una pendiente de techo del 10 % que permite el drenaje del agua de lluvia hacia la losa de techo, ya que posteriormente será captada como se propuso en el Capítulo 6.

Como parte del nuevo diseño se propuso eliminar la pared de mampostería ubicada entre los ejes 3 y 4 sobre el eje A y en su lugar construir un muro de concreto de 1,20 m de altura, tal como señala la Figura 39. Además, incorporar dos puertas de vidrio corredizas que permitan el acceso al espacio de secado por los dos costados y a la vez una comunicación entre el ambiente interior y exterior cuando los residentes deseen tomar aire fresco en la zona común.

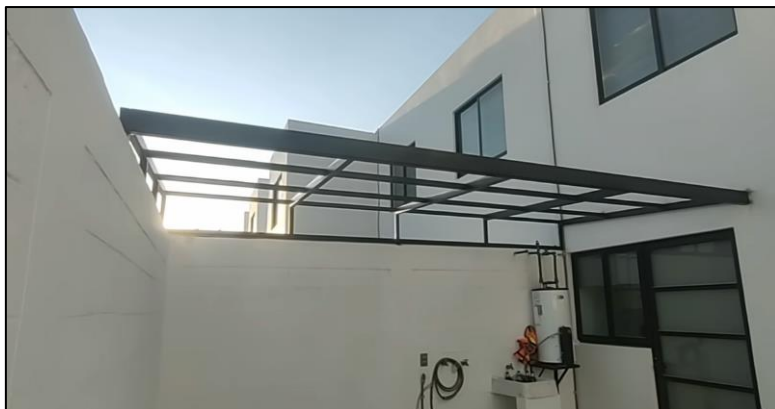


Figura 36. Ejemplo de estructura de techo con tubo estructural

Fuente: (Easiroll, 2021)



Figura 37. Ejemplo de techo con lámina de policarbonato

Fuente: (Easiroll, 2021)



Figura 38. Ejemplo de lámina celular de policarbonato transparente

Fuente: (Easiroll, 2021)

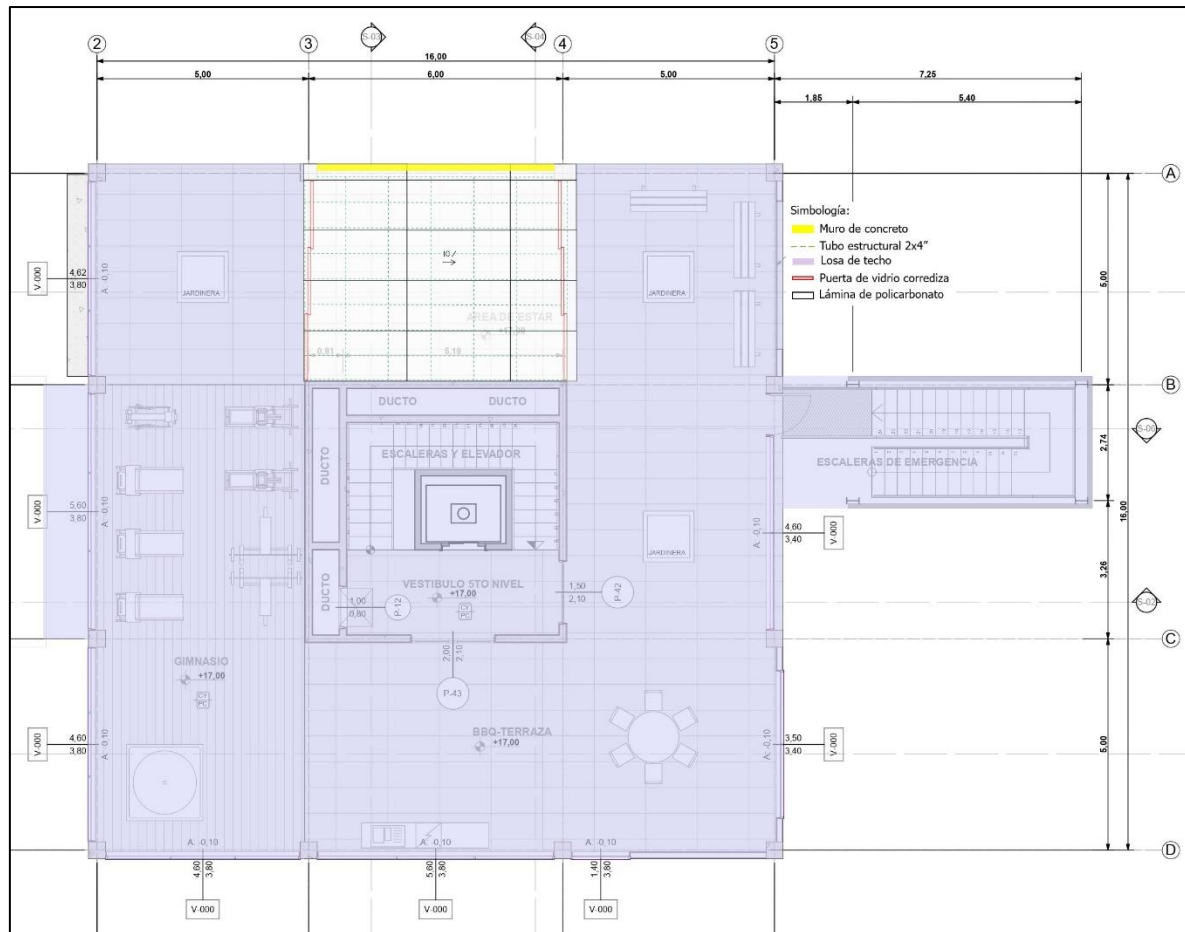


Figura 39. Planta arquitectónica del quinto nivel acondicionada para zona de secado de ropa

Fuente: (BCCR, 2015)

Editado por: (Calderón, 2022)

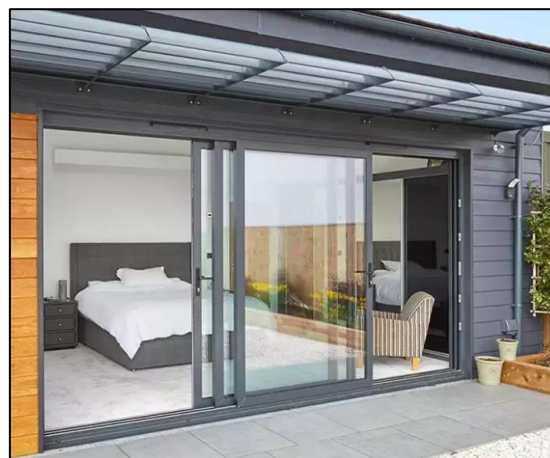


Figura 40. Ejemplo de puerta corrediza de tres paneles

Fuente: (Sliding Door Repair, 2020)

7.2.2.2 Disminución de emisiones

Es limitante conocer para cada residente el patrón de uso de la secadora de ropa, por eso, se supuso que van a disponer del espacio de secado y no utilizar la secadora durante todo el año.

Se ha visto que esta práctica es cada vez menos frecuente principalmente en las torres residenciales de la ciudad por el poco espacio que se destina para esta actividad, sin embargo, es razonable hacer dicha suposición ya que el clima de Costa Rica permite realizar un secado pasivo durante todo el año siempre que se cuente con los recursos y espacio adecuado, además, porque también representa un ahorro económico significativo.

Por lo tanto, se obtuvo un ahorro total en las emisiones de dióxido de carbono relacionadas con el consumo energético por secado de la ropa.

7.2.2.3 Costos asociados

Se realizó un presupuesto general que incluye los costos de los materiales utilizados en la nueva propuesta. Como se observa en el Cuadro 134 se consideró el tubo estructural para el techo y su pintura anticorrosiva, las láminas de policarbonato, las puertas de vidrio corredizas de tres paneles, los materiales para el muro de concreto y para la estructura de tendido de ropa. Y todos los costos se obtuvieron de cotizaciones de proveedores nacionales.

Cuadro 134. Costos de los materiales utilizados en la estrategia sostenible del criterio RESET 6.7.3

Material	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Tubo estructural hierro negro de 2 x 4 " (6 m)	und	19	₡ 26 700	₡ 507 300
Pintura anticorrosiva para estructuras metálicas	gal	1	₡ 23 950	₡ 23 950
Lamina policarbonato celular transparente (8 mm x 1.22 x 2.44 m)	und	13	₡ 34 000	₡ 442 000
Puerta de vidrio corrediza de 3 paneles	m ²	21	₡ 133 560	₡ 2 804 760
Cemento de uso general	saco 50 kg	8	₡ 6 950	₡ 55 600
Arena corriente de tajo	m ³	0,6	₡ 17 000	₡ 10 472
Piedra quinta de tajo 1/2 "	m ³	0,9	₡ 19 000	₡ 17 556
Varilla # 3 grado 60 (6m)	und	5,0	₡ 3 000	₡ 15 000
Tubo estructural hierro galvanizado 2 x 2 " (6m)	und	4	₡ 17 200	₡ 68 800
Cable de acero con forro	m	55	₡ 650	₡ 35 750
Costo total				₡ 3 981 188

Por otro lado, el Cuadro 135 describe los costos generales antes contemplados y que ya no aplican por realizar la propuesta. En primer lugar, se restaron los costos por eliminar los 30 m² de losa de techo, estos se obtuvieron del presupuesto con reajuste a junio 2022 e incluyeron el concreto, el acero y la formaleta. También se restó el consumo correspondiente del impermeabilizante de losa propuesto en el Capítulo 2 - Calidad y bienestar espacial y el costo del vidrio de control solar (también considerado en el Capítulo 2) de la ventana que fue sustituida por el muro pequeño.

El costo de la mano de obra por las actividades que ya no aplican fue omitido en ambos escenarios, ya que era poco preciso basarse en el presupuesto para obtenerlo, debido a que presentaba el costo para la actividad total y no se podía obtener de forma directa.

Cuadro 135. Costos ahorrados del presupuesto original por implementar la estrategia sostenible

Material	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Concreto premezclado 210 kg/cm ² para losa de techo	m ³	3	₡ 113 293	₡ 339 879
Varilla de acero # 4 deformada, grado 40, 6 m	und	18	₡ 3 956	₡ 71 211
Alquiler de formaleta	m ²	30	₡ 7 602	₡ 228 046
Impermeabilizante de losa de techo Energy Star	gal	6	₡ 28 000	₡ 168 000
Ventanería de control solar	m ²	24	₡ 176 850	₡ 4 244 400
Total				₡ 5 051 536

Cuadro 136. Costos asociados al escenario sostenible del criterio RESET 6.7.3

Costo total de la nueva propuesta	₡ 3 981 188
Costo total de la propuesta original	₡ 5 051 536
Ahorro obtenido	-₡ 1 070 348

7.2.3 Comparación de resultados

7.2.3.1 *Emisiones*

Según los resultados obtenidos se logró un ahorro del 100 % en emisiones de dióxido de carbono equivalente por descartar el uso de la secadora de ropa e implementar una estrategia pasiva de secado, sin embargo, el ahorro total se obtuvo bajo la condición de que los residentes prefieran utilizar siempre el tendido de ropa.

Las emisiones de la línea base fueron de 8,46 kg CO_{2e} (o 0,00846 t CO_{2e}) anuales y se podría considerar como una huella de carbono pequeña debido al factor de emisión utilizado y a la cantidad de usuarios contemplados.

7.2.3.2 Costos

El escenario sostenible conllevó una inversión aproximada de 3 981 188 colones por los materiales insumidos según el presupuesto general. Sin embargo, también se rebajaron los costos que ya no aplicaron por realizar la nueva propuesta, estos fueron mayores y por eso se obtuvo un descuento neto de 1 070 348 colones (Cuadro 136).

Además, el escenario base no consideró el gasto por consumo eléctrico de la secadora, ya que quedaba fuera del alcance de esta investigación por estar relacionado con la etapa de operación del edificio, sin embargo, se resalta que no deja de ser un gasto significativo a largo plazo si no se evalúa el escenario sostenible.

7.3 Criterio 6.7.4

El presente criterio menciona que los equipos de mayor consumo eléctrico deben cumplir con la normativa de eficiencia energética vigente. Indica que los electrodomésticos cumplan Energy Star, la Etiqueta Energética de la Unión Europea o certificaciones equivalentes, y que los aires acondicionados tengan un coeficiente de desempeño mayor o igual a tres.

Este criterio se aplica en la etapa de diseño según la norma RESET, además, tiene incidencia directa en las emisiones de GEI del edificio, por lo que inicialmente se consideró parte de los criterios aplicables para esta investigación. Sin embargo, se decidió no evaluarlo ya que no se contó con información suficiente para determinar la línea base de emisiones desde la etapa de diseño.

Por lo tanto, los electrodomésticos no se consideraron porque ni los planos del proyecto ni el presupuesto incluyeron la cantidad o las especificaciones técnicas de estos. Además, el aire acondicionado tampoco aplicó ya que su impacto se evaluó en el Capítulo 2 – Calidad y bienestar espacial donde se decidió prescindir de este. Y, por último, tampoco se pudo considerar el ascensor a pesar de representar un equipo de alto consumo, ya que no se especificó el tipo de equipo en el presupuesto original del edificio.

7.4 Criterio 6.7.5

En este criterio se incita a utilizar dispositivos para el control del consumo pasivo, el cual se define como la energía utilizada por algún equipo eléctrico activo, conectado a una fuente de energía, que estando apagado igualmente consume (INTECO, 2020).

Por lo tanto, los dispositivos para el control de consumo pasivo son los que impiden el consumo de los equipos cuando no están en funcionamiento, aun conectados a los tomacorrientes. En la actualidad existe gran variedad de dispositivos que funcionan de manera inteligente por medio de internet y pueden ser programados para que el equipo se desconecte por completo de la red eléctrica y su gasto energético sea cero.

La línea base consistió en calcular la demanda energética relacionada a dicho consumo en las computadoras destinadas para las oficinas del segundo nivel. Mientras que el escenario sostenible propuso implementar dispositivos de control para lograr un ahorro total con respecto a la línea base.

7.4.1 Línea base de emisiones

El segundo nivel del edificio prototipo se destina a oficinas para un centro de llamadas, la Figura 41 muestra la cantidad de ordenadores de escritorio para el cual se diseñó el espacio, resultando un total de 39 equipos.

estas se obtuvo un total de 4 602 horas, que convertidas al año resultaron ser 220 896 horas para todos los equipos. Finalmente se determinó una demanda energética anual de 718 kW-h.

Cuadro 137. Cálculo del consumo energético pasivo total por el uso de computadoras en el segundo nivel

Parámetro	Valor
Cantidad total de computadoras de escritorio	39
Potencia del equipo (CPU + monitor) (kW)	0,065
Consumo en stand by por equipo (kW)	0,00325
Tiempo de consumo pasivo por equipo de L a V (h)	70
Tiempo de consumo pasivo por equipo S y D (h)	48
Tiempo de consumo pasivo por equipo a la semana (h)	118
Tiempo de consumo pasivo total por semana (h)	4 602
Tiempo de consumo pasivo total por año (h)	220 896
Consumo energético pasivo total por año (kW-h)	718

El Cuadro 138 presenta la huella de carbono para los 718 kW-h anuales y utilizando el factor de emisión para la energía eléctrica del IMN (2021). Se obtuvo un total de 20,25 kg CO_{2e} por año lo que es igual a 0,02025 t CO_{2e}.

Cuadro 138. Huella de carbono total del criterio RESET 6.7.5 para la línea base

Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Consumo energético anual	kW-h	718	
Factor de emisión	kg CO _{2e} /kW – h	0,0282	Fuente: (IMN, 2021)
Emisión anual	kg CO _{2e}	20,25	
Huella de carbono anual total (t CO_{2e})			0,02025

7.4.1.1 Costos asociados

No se relacionó ningún costo con el escenario base según el alcance planteado, ya que este solo involucra costos iniciales directos relacionados con la etapa de diseño como lo son materiales o mano de obra, sin contar los referentes al consumo eléctrico dado que se asocian a la etapa de operación del edificio.

7.4.2 Evaluación del criterio

Para la línea sostenible se recomendó conectar todos los equipos de una zona de trabajo en una base de enchufes múltiple a través de regletas inteligentes y programables, que permiten

el apagado y encendido automático de todos los equipos conectados a ella dentro de los horarios seleccionados por los usuarios. De esta manera se evita el consumo pasivo, o popularmente llamado "consumo fantasma", tan habitual en una oficina y se asegura que no se produzcan consumos de energía innecesarios en modo espera durante las ausencias nocturnas, festivos y fines de semana.

Los dispositivos se encuentran fácilmente en el mercado y en gran variedad, en este caso, se escogieron dos tipos de regletas inteligentes, una con capacidad para cuatro enchufes y cuatro salidas USB y otra con capacidad para tres enchufes y dos salidas USB (véase Figura 43). Se pueden conectar varios equipos en un solo dispositivo de tal forma que se desconecten de la red eléctrica automáticamente debido a la programación previa realizada por el usuario.

La Figura 42 contiene la planta de obra eléctrica del segundo nivel, en donde se señala a color los tomacorrientes destinados para conectar las computadoras. Cada tomacorriente tiene dos salidas y por lo tanto se destina para conectar un equipo: su CPU y monitor. Las regletas de cuatro enchufes se usarían para cubrir los equipos conectados a los tomacorrientes señalados en color rojo, de tal forma que sirvan a dos computadoras cada una. Y las regletas de tres enchufes, se colocarían para conectar los equipos ubicados en los tomacorrientes señalados en azul, de tal forma que en los espacios de trabajo de tres computadoras se utilicen dos de estas regletas.

Los tomacorrientes indicados en azul y encerrados en un cuadrado abastecen el equipo de los servidores y electrodomésticos del comedor (véase Figura 42), para este último se destina una regleta y para los servidores se destinan dos, del tipo con tres enchufes en ambos casos. Sin embargo, el consumo pasivo en estos tomas no se contempló dentro del cálculo de la línea base, en primer lugar, porque no se cuenta con información precisa sobre los tiempos de consumo activo de los electrodomésticos ya que son datos que se derivan de la etapa de operación del edificio, y, en segundo lugar, porque tampoco se tiene información de la potencia de los equipos para los servidores que tendrán las oficinas. De igual forma, se estaría evitando el gasto innecesario de energía en estas zonas como para el resto de la oficina.

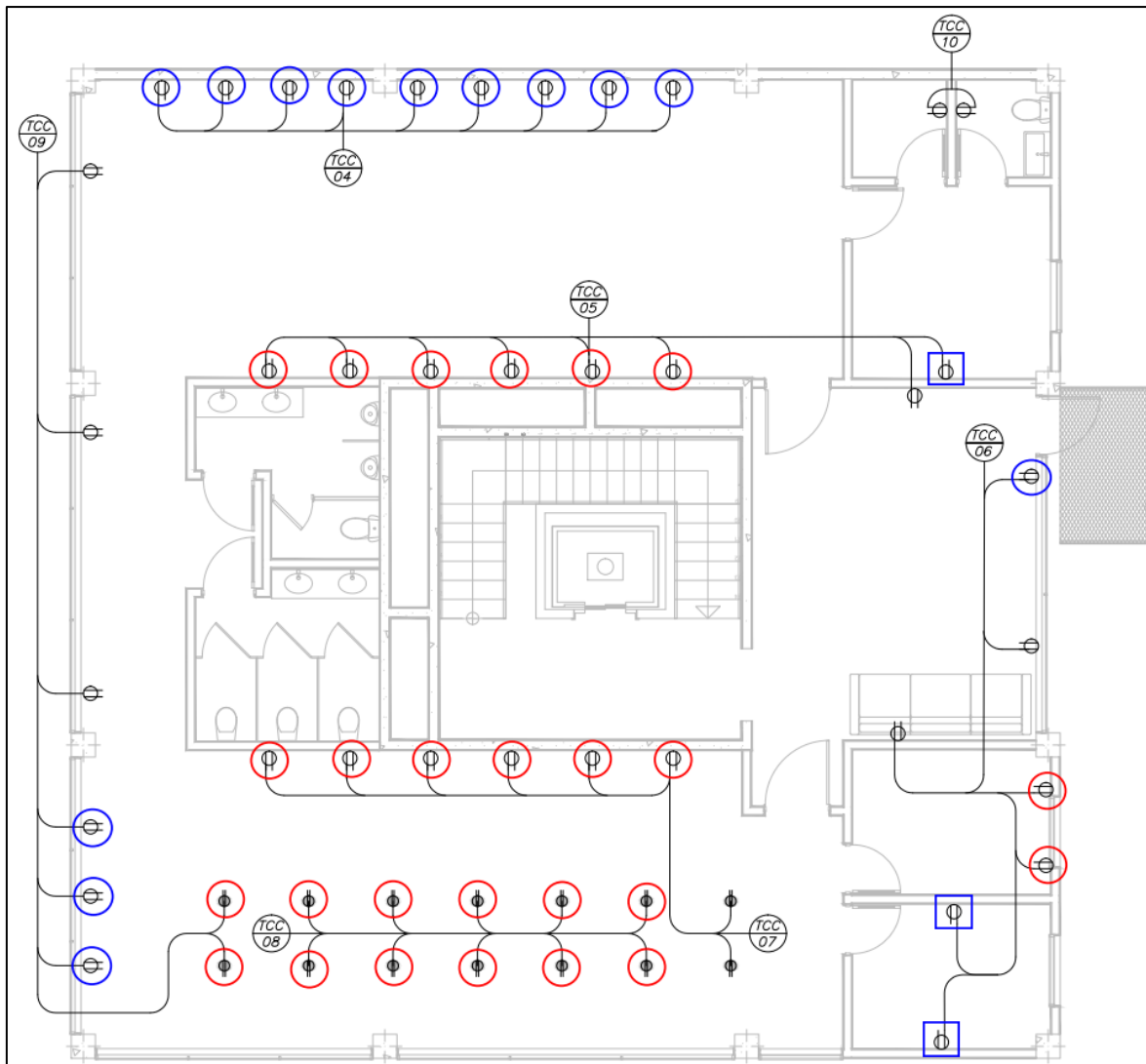


Figura 42. Identificación de tomacorrientes del segundo nivel

Fuente: (BCCR, 2015)

Modificado por: (Calderón, 2022)



Figura 43. Ejemplos de regletas inteligentes propuestas

Fuente: (Nexxt Solutions, s.f.)

Con la implementación de estos dispositivos de control, se redujo a cero la demanda energética asociada al consumo pasivo de todos los sistemas de uso intermitente conectados a las salidas del nivel dos y en consecuencia se obtuvo un ahorro total en las emisiones.

Cuadro 139. Huella de carbono total del criterio RESET 6.7.5 para el escenario sostenible

Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Consumo energético anual	kW – h	0	
Factor de emisión	kg CO _{2e} /kW – h	0,0282	Fuente: (IMN, 2021)
Emisión anual	kg CO _{2e}	0	
Huella de carbono anual total (t CO_{2e})			0

7.4.2.1 Costos asociados

A continuación, se presentan los costos según un proveedor nacional a modo de referencia, donde se cotizaron 13 regletas de cuatros enchufes y 12 de tres enchufes.

Cuadro 140. Costos asociados al escenario sostenible del criterio RESET 6.7.5

Insumo	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Regleta wifi inteligente 110 V con 4 enchufes y 4 entradas USB	und	13	₡ 29 344	₡ 381 472
Regleta wifi inteligente 110 V con 3 enchufes y 2 entradas USB	und	12	₡ 23 879	₡ 286 548
Costo total				₡ 668 020

7.4.3 Comparación de resultados

7.4.3.1 Emisiones

Los equipos eléctricos en su estado pasivo pueden consumir hasta el 95 % menos de energía, y aunque el 5 % restante parezca poco, es un gasto que podría evitarse y con ello ahorrar en la factura eléctrica y en la huella de carbono.

En el edificio prototipo se obtuvo un total de 0,02025 t CO_{2e} al año, considerando solamente los ordenadores del segundo nivel. Estas emisiones se pueden reducir a cero si cada equipo se conecta a un dispositivo de control de consumo pasivo, que lo desconecte totalmente de la red eléctrica cuando no está en uso.

7.4.3.2 Costos

Implementar el criterio de RESET contrajo un aumento en los costos de 668 020 colones por la compra de los dispositivos de control. Solo se consideró el costo inicial, sin contar las futuras compras por reemplazar los dispositivos al finalizar su vida útil.

Para la línea base solo se tendría el gasto económico por el consumo eléctrico durante el año de operación del edificio, sin embargo, este tipo de costos quedan fuera del alcance de esta investigación.

7.5 Criterio 6.7.6

Este criterio solicita explícitamente diseñar los circuitos de iluminación artificial de acuerdo con el aporte de la iluminación natural, de tal forma que existan espacios dentro del edificio donde los usuarios utilicen la luz del día sin disminuir su confort. Así mismo, RESET establece como valor de referencia a cumplir que un 50 % del área de la edificación, durante el horario de 07:00 a 17:00, no necesite la iluminación artificial para su operación.

7.5.1 Línea base de emisiones

Para la línea base de emisiones se calculó el consumo energético por utilizar la iluminación artificial de 07:00 a 17:00 en el nivel uno y dos, destinados a locales comerciales y oficinas respectivamente. Se supuso que todas las luminarias permanecerán encendidas durante ese horario ya que corresponde a un lugar de trabajo, por esta razón, quedaron fuera del consumo base los niveles tres y cuatro dado que durante ese periodo no es preciso afirmar que todas las luminarias del apartamento se utilicen.

Se consultaron los planos eléctricos para conocer la cantidad, distribución y tipo de las luminarias y se cotejó con el presupuesto, ver Figura 44. Este último, solo detalló la potencia de las lámparas fluorescentes utilizadas para el segundo nivel, indicando 32 W, por lo que se decidió utilizar esta potencia para todas las demás luminarias, y es consistente con lo especificado en los planos ya que señalan una carga máxima de 50 W en cada salida.

El Cuadro 141 describe la cantidad de luminarias y el consumo energético en los dos niveles contemplados. El primer nivel tiene 43 lámparas de plafón con fluorescente compacto y cuatro del tipo colgante, lo que conllevó un gasto energético de 1 504 W y el segundo nivel tiene 18 luminarias en total para un gasto de 575 W; sumando los dos niveles se obtuvieron 2,08 kW.

Cuadro 141. Cantidad de luminarias y su consumo energético asociado al primer y segundo nivel

Luminaria	Cantidad	Potencia (W)	Potencia total (W)
Nivel 1			
Luminaria plafón con fluorescente compacto	43	32	1 376
Luminaria redonda con fluorescente compacto, colgante	4	32	128
Total (W)			1 504
Nivel 2			
Lámpara fluorescente, tamaño T8	16	32	512
Luminaria plafón con fluorescente compacto	2	32	64
Total (W)			576
Potencia total (kW)			2,08

El tiempo de consumo anual fue de 2 400 horas al considerar 10 horas diarias de lunes a viernes y esto generó un consumo eléctrico total de 4 992 kW-h por año como lo señala el Cuadro 142.

Cuadro 142. Tiempos de uso de luminarias y consumo eléctrico total anual

Parámetro	Valor
Consumo diario (h)	10
Consumo semanal (h)	50
Consumo anual (h)	2 400
Potencia total (kW)	2,08
Consumo eléctrico total anual (kW-h)	4 992

A continuación, se muestra la huella de carbono de la línea base utilizando el factor de emisión brindado por IMN (2021) y el consumo de 4 992 kW-h por año.

Cuadro 143. Huella de carbono total del criterio RESET 6.7.6 para la línea base

Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Consumo energético anual	kW – h	4 992	
Factor de emisión	kg CO _{2e} /kW – h	0,0282	Fuente: (IMN, 2021)
Emisión anual	kg CO _{2e}	140,8	
Huella de carbono anual total (t CO_{2e})			0,1408

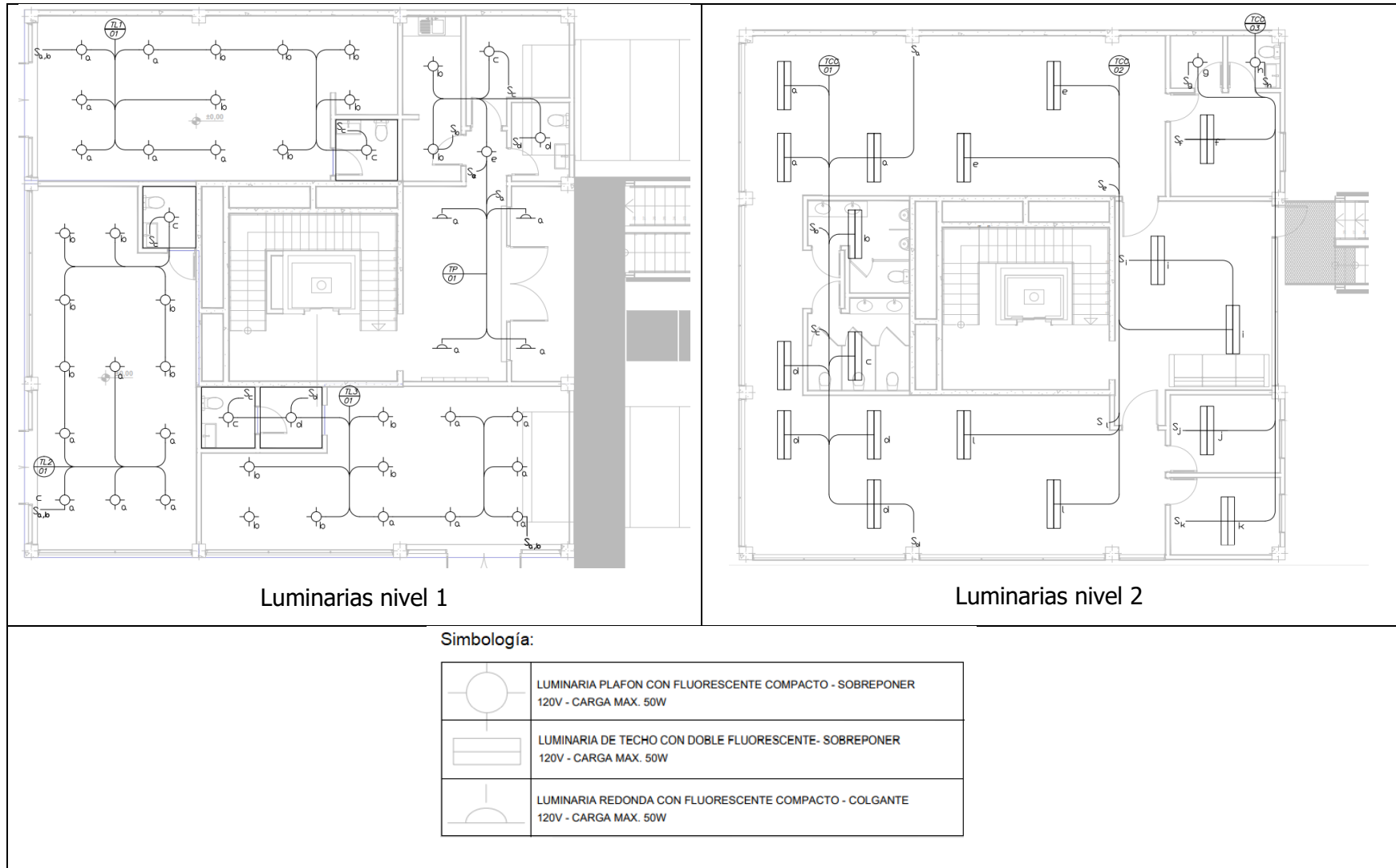


Figura 44. Distribución de luminarias del primer y segundo nivel del edificio prototipo

Fuente: (BCCR, 2015)

7.5.1.1 Costos asociados

No se relacionó ningún costo con el escenario base según el alcance planteado, ya que este solo involucra costos iniciales directos relacionados con la etapa de diseño como lo son materiales o mano de obra, sin contar los referentes al consumo eléctrico dado que se asocian a la etapa de operación del edificio.

7.5.2 Evaluación del criterio

El escenario sostenible analizó el aporte de la luz natural dentro del edificio para conocer la cantidad de luminarias que no se utilizarían en el horario de 07:00 a 17:00. Para lograrlo, primero se obtuvo el área total iluminada de manera artificial y posteriormente se señalaron aquellas zonas donde es posible mantener apagadas las luces gracias a la entrada de luz natural por medio de las ventanas y puertas de vidrio.

Las áreas que reciben luz natural que se pueden mantener únicamente con esta iluminación son las que se señalan en verde en la Figura 45 y Figura 47, para el primer y segundo nivel del edificio respectivamente. Mientras que las áreas señaladas en color rojo son las que requieren de iluminación artificial ya que el aporte de luz natural no es suficiente para mantener el confort. Además, la Figura 46 y Figura 48 muestran las luminarias que se relacionan con estas áreas, es decir, aquellas encerradas en color verde indican que se mantienen apagadas (durante 07:00 a 17:00) ya que hay ahorro por el uso de la luz natural en esas zonas y las encerradas en rojo significan que están en uso ya que sirven a zonas donde la luz natural no es suficiente.

La escogencia de los espacios en verde (con iluminación natural) se hizo tomando en cuenta la ubicación, tamaño y cantidad de las ventanas originalmente diseñadas y las que se propusieron en el Capítulo 2 - Calidad y bienestar espacial, además, se consideraron los parasoles y la pared verde, también propuestos en dicho capítulo, dado que difuminan los rayos del sol.

Los resultados se muestran en el Cuadro 144, donde se observa un área total iluminada de 215 m² en cada nivel considerando el escenario original como el uso completo de la luz artificial. Se observa una reducción del 56 % del área iluminada artificialmente del primer nivel, ya que pasó de 215 m² a 94,6 m² y para el nivel dos una reducción del 45 % al pasar de 215 m² a 118,25 m².

Además, el Cuadro 145 contiene la cantidad de luminarias activas en el escenario base y en el escenario sostenible, notándose una disminución del 45 % al pasar de 65 a 36 luminarias encendidas.

Cuadro 144. Áreas con iluminación natural y artificial en el nivel uno y dos del edificio

Tipo de espacio (m²)	Nivel 1	Nivel 2
Con iluminación artificial - total	215	215
Con iluminación natural - propuesta	120,4	96,75
Con iluminación artificial - propuesta	94,6	118,25
Ahorro de luz artificial	56 %	45 %
Promedio reducción de luz artificial	51 %	

Cuadro 145. Cantidad y tipo de luminarias encendidas en la línea base y escenario sostenible

Tipo de luminaria	Línea base	Escenario sostenible
Luminaria plafón con fluorescente compacto	45	25
Luminaria redonda con fluorescente compacto, colgante	4	2
Lámpara fluorescente, tamaño T8	16	9
Total de luminarias encendidas	65	36
Ahorro de luminarias encendidas	45 %	

Finalmente, el Cuadro 146 presenta el consumo eléctrico anual de los dos escenarios, pasando de 4 992 kW-h a 2 765 kW-h. Y el Cuadro 147 muestra la huella de carbono de 0,0780 t CO_{2e} asociada al escenario sostenible.

Cuadro 146. Consumo eléctrico anual por uso de luminarias en la línea base y escenario sostenible

Consumo anual por tipo de luminaria (kW-h)	Línea base	Escenario sostenible
Luminaria plafón con fluorescente compacto	3 456	1 920
Luminaria redonda con fluorescente compacto, colgante	307,2	153,6
Lámpara fluorescente, tamaño T8	1 228,8	691,2
Consumo total anual (kW-h)	4 992	2 765
Ahorro total en consumo (kW-h)	45 %	

Cuadro 147. Huella de carbono total del criterio RESET 6.7.6 para el escenario sostenible

Parámetro	Unidad	Valor	Comentario
Nuevo consumo energético anual	kW-h	2 765	
Factor de emisión	kg CO _{2e} /kW – h	0,0282	Fuente: (IMN, 2021)
Emisión anual	kg CO _{2e}	77,97	
Huella de carbono anual total (t CO_{2e})			0,0780

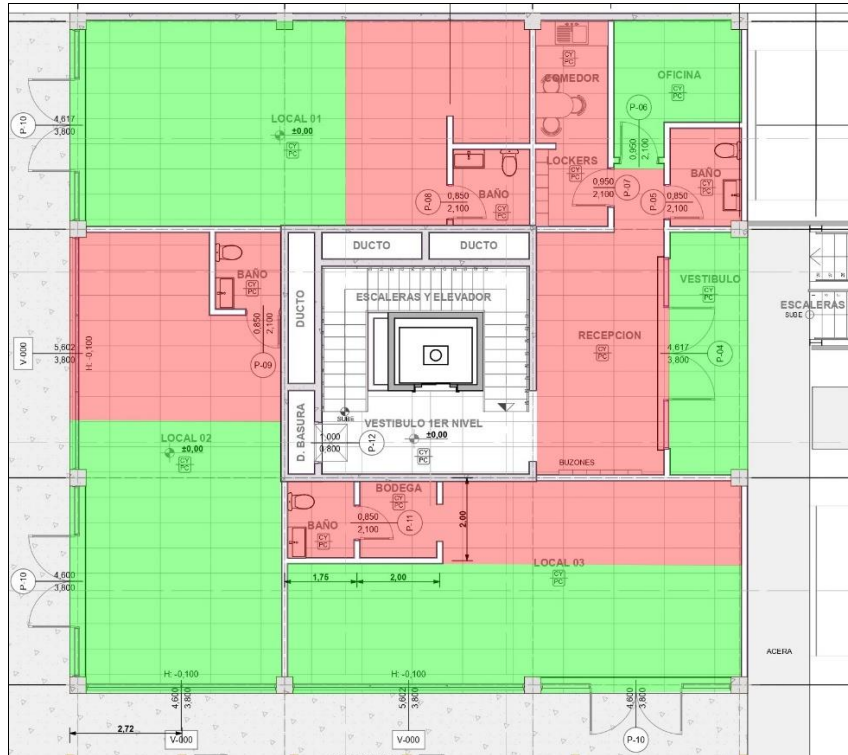


Figura 45. Distribución de zonas con luz natural y artificial del primer nivel

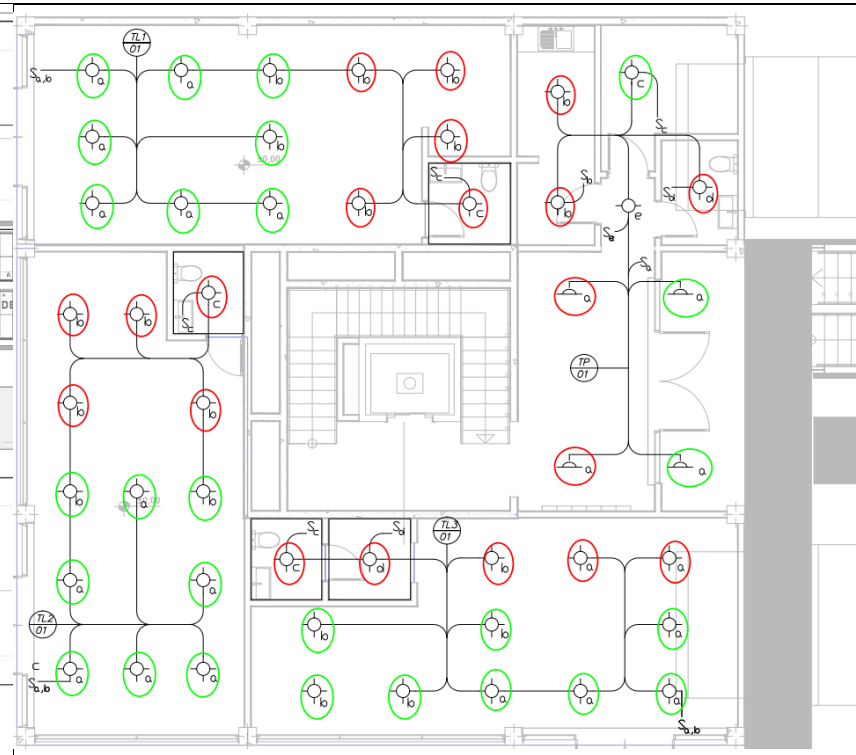


Figura 46. Luminarias en uso y apagadas del primer nivel según distribución de la luz natural

Fuente: (BCCR, 2015)

Modificado por: (Calderón, 2022)

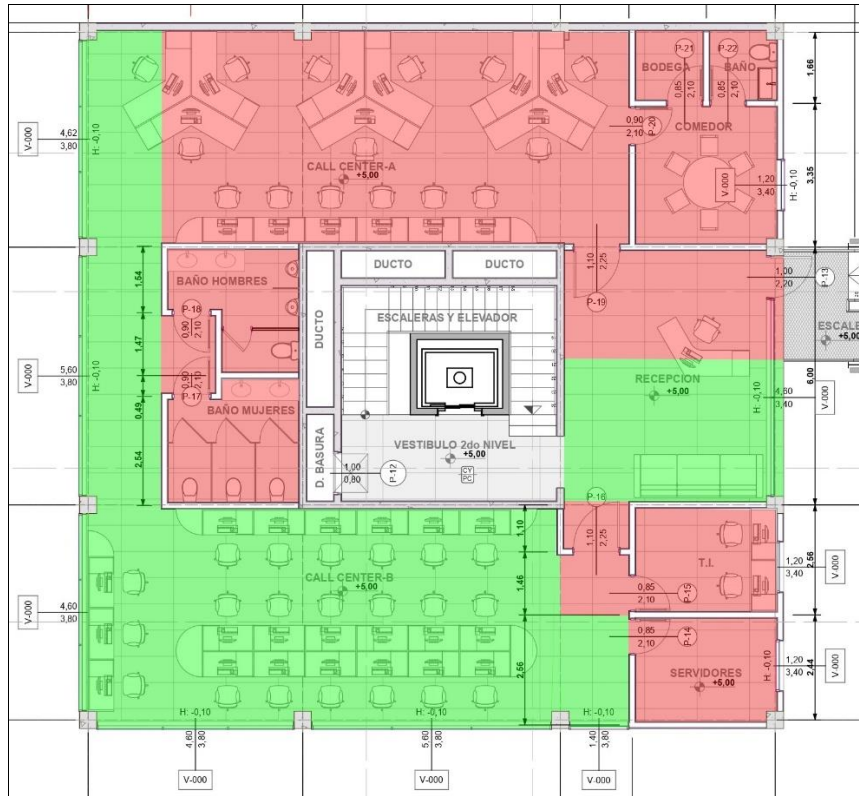


Figura 47. Distribución de zonas con luz natural y artificial del segundo nivel

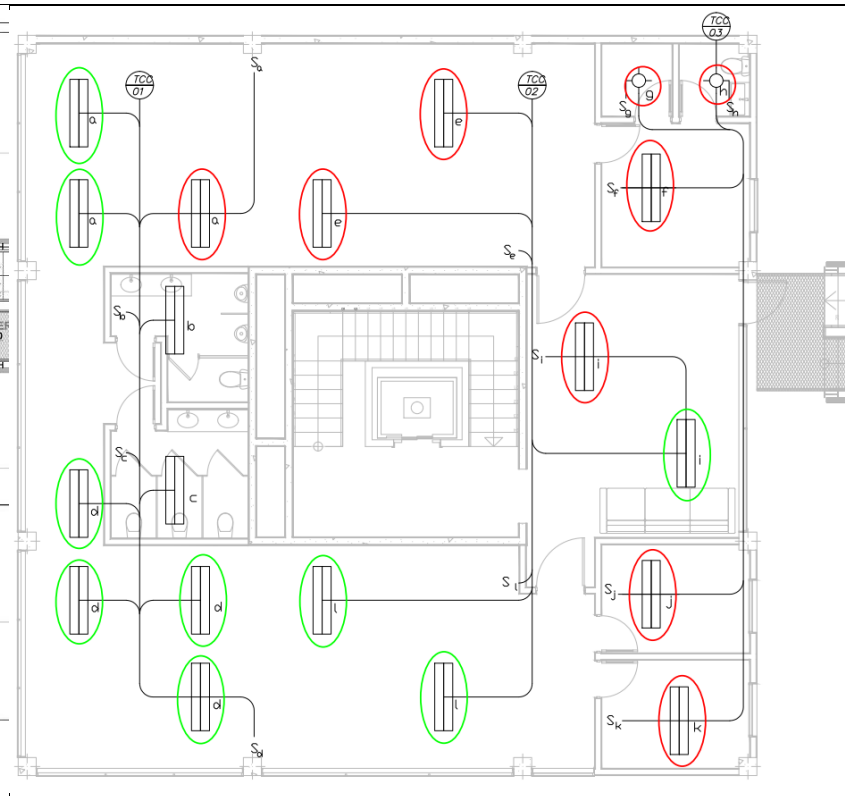


Figura 48. Luminarias en uso y apagadas del segundo nivel según distribución de la luz natural

Fuente: (BCCR, 2015)

Modificado por: (Calderón, 2022)

7.5.2.1 Costos asociados

No se contabilizaron costos asociados al escenario sostenible, ya que el criterio de RESET se cumple gracias al trabajo en conjunto de las estrategias planteadas en capítulos anteriores y al diseño mismo del edificio sin incurrir a gastos de materiales o mano de obra.

7.5.3 Comparación de resultados

7.5.3.1 Emisiones

La huella de carbono se redujo un 45 % al cumplir con el requisito en los primeros dos niveles del edificio. Además, se pudo notar que el valor de referencia a cumplir especificado por RESET, está orientado mayoritariamente a edificios para oficinas o comercio si se cuenta con escasa información sobre los tiempos de consumo energético, como es lo usual en la etapa de diseño, ya que la línea base se estableció para un horario laboral y asumiendo un uso continuo de las luminarias.

7.5.3.2 Costos

En este caso no se contabilizaron costos directos e iniciales en ninguno de los dos escenarios analizados, y se excluyen aquellos relacionados con la factura eléctrica debido a que quedan fuera del alcance de este trabajo.

7.6 Resumen de los resultados obtenidos

El siguiente Cuadro presenta un resumen de las estrategias sostenibles implementadas en cada criterio.

Cuadro 148. Resumen de criterios RESET evaluados del Capítulo 7 – Optimización de la energía

Criterio RESET	Estrategia sostenible
6.7.2	Uso de calentador solar para calentar el agua de los apartamentos
6.7.3	Construcción de un espacio al aire libre en el quinto nivel para el secado pasivo de ropa
6.7.5	Adquisición de dispositivos para el control del consumo pasivo en las computadoras del segundo nivel
6.7.6	Reducción en el uso activo de luminarias del primer y segundo nivel por el aporte de la luz solar

A continuación, el Cuadro 149 expone un resumen de los resultados obtenidos en la línea base y el escenario sostenible, incluyendo la huella de carbono y los costos directos asociados. Los valores positivos representan un aumento en las emisiones o en los costos y los valores negativos significa que hubo un ahorro en estos. Como se puede notar se logró un ahorro total en la huella de carbono de 0,32 t CO_{2e} y también se obtuvo una disminución en el presupuesto del edificio de 497 438 colones.

La huella de carbono del escenario sostenible en la mayoría de los criterios fue nula, exceptuando el criterio 6.7.6, y por eso se obtuvo un mayor ahorro, aunque las emisiones de la línea base no tuvieron un gran impacto. Así mismo, se pudo observar que implementar las estrategias sostenibles también contrajo un ahorro económico sin la necesidad de recurrir a opciones laboriosas. El mayor de todos se consiguió en el criterio 6.7.3 por sustituir los calentadores eléctricos por un calentador solar. De igual forma el criterio 6.7.2 refleja un ahorro, dado que los gastos incurridos por el diseño de un espacio de secado pasivo de ropa fueron menores que los del diseño original. Y, por último, el criterio 6.7.5 fue el único que conllevó un incremento debido a la adquisición de regletas inteligentes para el control del consumo pasivo en las computadoras.

Cuadro 149. Resumen de huella de carbono y costos del Capítulo 7 – Optimización de la energía

Criterio RESET	Huella línea base (t CO_{2e})	Huella escenario sostenible (t CO_{2e})	Ahorro (-) Aumento (+) (t CO_{2e})	Costos línea base	Costos escenario sostenible	Ahorro (-) Aumento (+)
6.7.2	0,23	0,00	-0,23	₡ 1 450 699	₡ 1 355 590	-₡ 95 109
6.7.3	0,01	0,00	-0,01	₡ 0	-₡ 1 070 348	-₡ 1 070 348
6.7.5	0,02	0,00	-0,02	₡ 0	₡ 668 020	₡ 668 020
6.7.6	0,14	0,08	-0,06	₡ 0	₡ 0	₡ 0
Total	0,40	0,08	-0,32	₡ 1 450 699	₡ 953 262	-₡ 497 438

8 CAPÍTULO 8 - INDICADORES PARA LA GENERACIÓN DE GEI

Este capítulo responde al cuarto y último objetivo específico del presente trabajo de graduación, el cual se enfocó en definir indicadores para la generación de gases de efecto invernadero, utilizando los rendimientos calculados y factores tales como ocupación, costo total y área de construcción.

8.1 Indicador de ocupación

Esta sección describe las toneladas de dióxido de carbono equivalente emitidas por ocupante del edificio para el escenario de la línea base y el escenario sostenible, así como las emisiones ahorradas por cada persona producto de evaluar las propuestas sostenibles. En el cálculo de los indicadores, para los primeros cinco capítulos evaluados se consideró la totalidad de usuarios del edificio, la cual es de 121 personas, ya que en estos la huella de carbono se determinó basándose en la ocupación del edificio completo, mientras que en el Capítulo 7 - Optimización de la energía, se calculó para distintas ocupaciones de acuerdo con lo exigido en los criterios y el tipo de uso del edificio (residencial o comercial), por lo que la cantidad de usuarios fue variable.

El Cuadro 150 resume la huella de carbono obtenida para el escenario base, el sostenible y el ahorro correspondiente de los capítulos donde se contempló la ocupación total del edificio. Para estos tres escenarios se obtuvieron los indicadores, donde el signo negativo señala que hubo ahorro. En términos totales para la línea base se obtuvo un indicador de 2,149 t CO_{2e}/persona, mientras que por aplicar las propuestas sostenibles fue de 1,311 t CO_{2e}/persona, lo que generó un ahorro de 0,837 t CO_{2e} por persona y esta disminución total fue del 39 %.

Por otro lado, el Cuadro 151 presenta los resultados obtenidos para el Capítulo 7 – Optimización de la energía. Como se mencionó anteriormente, resultó imposible obtener el indicador (t CO_{2e}/persona) total del capítulo, ya que sus criterios fueron evaluados con una ocupación variable del edificio dependiendo del enfoque y requisitos de cada uno de estos. Como se puede ver (Cuadro 151) solo se obtuvieron los respectivos indicadores por cada criterio evaluado, siendo el primero el que generó mayor ahorro, ya que las emisiones de su línea base fueron las mayores y se pudieron reducir totalmente. Así mismo, se observa que las emisiones en este capítulo fueron significativamente menores en comparación con los demás y esto pudo haber sido debido a que se aplicó el factor de emisión para el uso de la electricidad, el cual, se

mantiene menor en comparación con otros como el uso del cemento o la gasolina (IMN, 2021) que fueron usados en los demás capítulos.

Además, el Capítulo 5 fue el que tuvo la mayor huella de carbono de todos y causó un ahorro del 37 %. Los Capítulos 3 y 4 fueron los siguientes con mayor impacto en la huella alcanzando ahorros de 48 % y 29 % respectivamente. El Capítulo 2 obtuvo el mayor ahorro en emisiones con un 97 % menos, aunque su impacto en la huella fue uno de los menores y el Capítulo 7 generó una huella significativamente menor a las otras, con 0,40 t CO_{2e} y 0,08 t CO_{2e} en la línea base y escenario sostenible respectivamente, que se tradujo en 80 % de ahorro.

Cuadro 150. Indicador de ocupación del edificio prototipo para los capítulos RESET evaluados

Capítulo	Emisiones (t CO _{2e})			Indicadores (t CO _{2e} /persona)			Porcentajes de ahorro
	Línea base	Escenario sostenible	Escenario de ahorro	Línea base	Escenario sostenible	Escenario de ahorro	
2 - Calidad y bienestar espacial	10,34	0,281	-10,06	0,085	0,002	-0,083	97 %
3 - Entorno y transporte	25,16	13,18	-11,98	0,208	0,109	-0,099	48 %
4 - Suelos y paisajismo	40,27	28,64	-11,63	0,333	0,237	-0,096	29 %
5 - Materiales	172,2	108,27	-63,92	1,423	0,895	-0,528	37 %
6 - Optimización en el uso del agua	12,02	8,31	-3,71	0,099	0,069	-0,031	31 %
Resultados totales	260,0	158,7	-101,3	2,149	1,311	-0,837	39 %

Cuadro 151. Indicador de ocupación del edificio prototipo para el Capítulo 7 evaluado

Capítulo 7 – Optimización de la energía	Emisiones (t CO _{2e})			Usuarios	Indicadores (t CO _{2e} /persona)			Porcentajes de ahorro
	Línea base	Escenario sostenible	Escenario de ahorro		Línea base	Escenario sostenible	Escenario de ahorro	
6.7.2	0,23	0,00	-0,23	11	0,0213	0	-0,0213	100 %
6.7.3	0,01	0,00	-0,01	8	0,0011	0	-0,0011	100 %
6.7.5	0,02	0,00	-0,02	42	0,0005	0	-0,0005	100 %
6.7.6	0,14	0,08	-0,06	107	0,0013	0,0007	-0,0006	43 %
Resultados totales	0,40	0,08	-0,33	na	na	na	na	80 %

8.2 Indicador del costo total

Esta sección muestra el indicador del costo total, el cual, representa el impacto que tienen los costos añadidos o disminuidos (signo negativo) en el costo total del edificio por implementar el escenario sostenible, es decir, se obtiene la proporción en porcentaje de este aumento (o disminución) con respecto al costo total.

El costo total fue tomado del presupuesto oficial del proyecto publicado por el BCCR a la fecha de junio del año 2021, donde se dio inicio con el presente trabajo de graduación, sin embargo, fue ajustado a junio del año 2022 por motivos del alcance ya que todos los costos de las propuestas sostenibles se obtuvieron de cotizaciones para dicho año, por lo tanto, fue este último el que se utilizó para todos los cálculos. El Cuadro 152 muestra el costo total del edificio.

Cuadro 152. Costo total del edificio prototipo según presupuesto

Costo total edificio 2021 - original	₡ 1 609 757 144
Costo total edificio - ajustado a junio 2022	₡ 1 780 391 401

Fuente: (BCCR, 2021)

Modificado por: (Calderón 2022)

El Cuadro 153 contiene el resumen de los costos para la línea base y para el escenario sostenible de cada capítulo y su total, de donde se puede notar que solo los Capítulos 4 y 7 generaron un ahorro por implementar la solución sostenible, sin embargo, no fue lo suficientemente elevado como para obtener un ahorro total neto, ya que los otros capítulos tuvieron aumento en sus costos porque el escenario sostenible resultó ser más costoso que su línea base. Por implementar las estrategias sostenibles se generó un gasto total adicional de aproximadamente diez millones de colones, que significó solo un aumento del 2,3 % con respecto al escenario base. Esto generó un indicador total de 0,56 %, lo cual significa que el gasto extra solo representó un 0,56 % con respecto al costo total del edificio.

De igual forma se puede observar el indicador para cada capítulo (Cuadro 153), donde todos se mantienen por debajo del 1 %, lo cual resulta favorecedor, ya que demuestra que se pueden ahorrar cantidades significativas de emisiones de GEI con un bajo impacto económico para proyectos constructivos similares a las condiciones del edificio prototipo.

Cuadro 153. Indicador del costo total del edificio prototipo para los capítulos RESET evaluados

Capítulo	Costos				Indicador (%)
	Línea base	Escenario sostenible	Ahorro/Aumento	Ahorro / Aumento	
2 - Calidad y bienestar espacial	₡ 126 831 744	₡ 132 080 693	₡ 5 248 949	4,1 %	0,29 %
3 - Entorno y transporte	₡ 0	₡ 0	₡ 0	0,0 %	0,00 %
4 - Suelos y paisajismo	₡ 169 880 664	₡ 152 537 934	-₡ 17 342 731	-10,2 %	-0,97 %
5 - Materiales	₡ 145 429 958	₡ 153 497 516	₡ 8 067 558	5,5 %	0,45 %
6 - Optimización en el uso del agua	₡ 754 200	₡ 15 284 564	₡ 14 530 364	95,1 %	0,82 %
7 - Optimización de la energía	₡ 1 450 699	₡ 953 262	-₡ 497 438	-34,3 %	-0,03 %
Resultados totales	₡ 444 347 266	₡ 454 353 968	₡ 10 006 702	2,3 %	0,56 %

8.3 Indicador del área constructiva

El indicador del área constructiva pretende señalar el aumento del costo por metro cuadrado al implementar las propuestas sostenibles en lugar de mantener el diseño original. Se entiende como área constructiva el espacio edificado bajo techo del proyecto que integra paredes, cielos, pisos, columnas, vigas y otros elementos que se encuentren dentro del perímetro del edificio y bajo techo. El BCCR (2021) estableció en su presupuesto un área constructiva de 1 465 m² para el edificio prototipo, por lo tanto, fue este dato el que se utilizó en los cálculos para obtener el indicador de la línea base, así como del escenario sostenible.

El Cuadro 154 muestra los resultados obtenidos, de donde se aprecia el presupuesto total original del edificio y el nuevo presupuesto con un aumento neto de 10 006 702 colones producto de agregar las soluciones sostenibles evaluadas en los capítulos de la norma RESET. Además, se observa que el costo por metro cuadrado aumentó un total de 0,56 %, ya que pasó de 1 215 284 col/m² a 1 222 115 col/m².

Este indicador tiene coherencia con el mencionado anteriormente, ya que ambos concluyen que las soluciones sostenibles encontradas para el edificio prototipo no tienen un gran impacto en su presupuesto original y, por el contrario, sí lo pueden llegar a tener en cuanto a la huella de carbono ahorrada como se vio con el indicador de ocupación.

Cuadro 154. Indicador del área constructiva del edificio prototipo

Área constructiva (m ²)		Costo total del edificio		Indicador (col/m ²)		Porcentaje de aumento
Línea base	Escenario sostenible	Línea base	Escenario sostenible	Línea base	Escenario sostenible	
1 465	1 465	₡ 1 780 391 401	₡ 1 790 398 104	₡ 1 215 284	₡ 1 222 115	0,56 %

8.4 Alcances de la huella de carbono

Esta sección presenta la clasificación de la huella de carbono calculada para la línea base y el escenario sostenible según el alcance correspondiente. Dicho alcance depende de las fuentes emisoras que se analizaron en el cálculo y se divide en tres tipos. El alcance uno se refiere al conjunto de emisiones directas de GEI producidas por fuentes propias o controladas de la empresa u organización, por lo que podría entenderse de manera muy simplificada como aquellas liberadas in situ en el lugar donde se produce la actividad. El alcance dos se refiere a las emisiones indirectas (no ocurren en la propia organización) asociadas a la generación de electricidad adquirida y consumida por la organización. Por último, el alcance tres corresponde a las emisiones que tampoco son de propiedad ni están controladas por la empresa, pero surgen por consecuencia de sus actividades (Greenhouse Gas Protocol, 2020).

Basado en lo anterior, se clasificaron las emisiones calculadas de los diferentes capítulos en el alcance tipo uno, dos o tres según correspondía. El Cuadro 155 muestra esa información, donde se aprecia que los capítulos dos, cuatro y seis aplican para el alcance uno, el capítulo siete para el alcance dos y los capítulos restantes tres y cinco para el alcance tres.

Las emisiones evaluadas en el Capítulo 2 son causadas por el uso del aire acondicionado que los usuarios del edificio demandan. El Capítulo 4 calcula las emisiones basándose en el consumo de combustible de la maquinaria utilizada para la remoción de terreno en el lugar del proyecto. Y las emisiones del Capítulo 6 se relacionan con el gasto del agua potable de los usuarios del edificio. Estas emisiones fueron producidas en el lugar del proyecto y sus fuentes pueden ser controladas por el mismo, por esta razón se encuentran bajo el primer alcance.

El Capítulo 7 clasifica dentro del alcance dos, ya que su huella de carbono hace referencia a la energía eléctrica consumida por los usuarios de los locales comerciales, oficinas y residencias del edificio. Por otro lado, las emisiones calculadas de los restantes dos capítulos pertenecen al alcance tres, ya que el Capítulo 3 hace referencia a emisiones provenientes por el transporte

de los usuarios hacia o desde el edificio por razones laborales y el Capítulo 5 basa su huella de carbono en las emisiones que provocan los materiales de construcción en su ciclo de vida.

Cuadro 155. Clasificación de la huella de carbono de los capítulos RESET evaluados en alcance Tipo I, II y III

Alcance	Capítulo	Emisiones (t CO _{2e})		
		Línea base	Escenario sostenible	Ahorro
Tipo I	2 - Calidad y bienestar espacial	10,34	0,28	10,06
	4 - Suelos y paisajismo	40,27	28,64	11,63
	6 - Optimización en el uso del agua	12,02	8,31	3,71
Tipo II	7 - Optimización de la energía	0,40	0,08	0,33
Tipo III	3 - Entorno y transporte	25,16	13,18	11,98
	5 - Materiales	172,2	108,3	63,92

9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1 Conclusiones

1. Se asignó una localización al proyecto ya que no la tenía por ser un edificio prototipo sin ejecución real. Se ubicó dentro de la GAM para delimitarlo a un proyecto en zona urbana y se buscó que contara con características estándar sobre su topografía, uso del suelo, acceso, cercanía y entorno similares a las de los terrenos donde generalmente se construyen edificios como el prototipo. Se insertó en el cantón de Goicoechea, en el distrito de San Francisco con un área de 2 025 m².
2. El edificio prototipo clasificó dentro de la categoría de mediano impacto al obtener una calificación de 34 puntos según la metodología de evaluación que establece la norma RESET. Se contemplaron 11 aspectos relacionados con las características del edificio y su entorno, cada uno tenía un posible puntaje de 1 a 5 donde 5 representaba el mayor impacto. Los aspectos que más influyeron fueron el tamaño y ubicación del edificio, el primero obtuvo 4 puntos y el segundo indicó que San Francisco pertenecía a un área tipo comunidad por su cantidad de habitantes, por lo tanto, lo convirtió en una zona más vulnerable en comparación con áreas tipo ciudad.
3. Según la norma RESET eran aplicables de evaluar 80 criterios para la etapa de diseño y la categoría de mediano impacto del edificio, sin embargo, solo se seleccionaron 35 de estos para evaluar el edificio ya que eran los que incidían de manera directa con las emisiones de GEI de este. Existieron otros criterios que causaban una reducción en emisiones, pero su impacto se producía de forma indirecta y no se contaron con metodologías o propuestas precisas para realizar el cálculo de la huella de carbono.
4. Se demostró que fue posible obtener ahorro cuantificable para el proyecto evaluando una mayor cantidad de criterios, con respecto a la cantidad de criterios que tienen metodologías de cálculo de ahorro de emisiones establecidos por la norma en sus Tablas de Anexos.
5. Los apartados con más criterios seleccionados fueron Calidad y bienestar espacial, Materiales y Optimización de la energía, ya que sus requisitos llevaron a disminuir la huella consumiendo menos energía y utilizando de manera sostenible los recursos y materiales del edificio.
6. El apartado de Materiales tuvo el mayor impacto en la huella de carbono de la línea base con un 66 % de emisiones. Por lo tanto, se evidenció el impacto significativo que

tienen los materiales y recursos utilizados en el proyecto y la importancia de utilizar opciones sostenibles y recursos locales.

7. Los siguientes apartados con mayor impacto en la huella fueron aquellos que enfocaron su cálculo en el consumo de combustible debido al alto valor de su factor de emisión.
8. Cumplir con los requisitos de RESET generó una línea sostenible con un ahorro neto total del 39 % de emisiones de GEI con respecto a la línea base.
9. Se evidenció la capacidad de la norma en disminuir la huella de carbono desde la concepción de un diseño integral, ya que el apartado de Calidad y bienestar espacial obtuvo el mayor porcentaje de ahorro (97 %) por la implementación de estrategias pasivas que llevaran a un diseño bioclimático.
10. Conseguir ahorros significativos en la huella de carbono del edificio no significó un gran impacto en su presupuesto, ya que el gasto extra total solo representó un 0,56 % con respecto al costo total del proyecto. Esto representó pasar de un costo por metro cuadrado de ₡ 1 215 284 a ₡ 1 222 115.
11. La norma RESET brindó la posibilidad de implementar estrategias sencillas que signifiquen grandes reducciones de emisiones, ya que varios criterios proponen soluciones para el ahorro de consumo energético o de agua potable que son simples de desarrollar y de bajo costo.

9.2 Recomendaciones

1. Expandir las fronteras de la norma RESET y abrir la posibilidad a futuros investigadores de evaluar la norma y calcular la línea base para otras tipologías constructivas de proyectos reales.
2. Priorizar el uso de factores de emisión locales o la calculadora de carbono del Instituto Costarricense del Cemento y Concreto (ICCYC) para el cálculo de emisiones, especialmente en el apartado de Materiales ya que es uno de los más impactantes en la huella de carbono del edificio y con esto se obtendrían resultados más cercanos al contexto nacional. En esta investigación se acudió en diferentes ocasiones a fuentes internacionales ya que la calculadora de carbono no estaba funcionando en esos momentos.
3. Realizar un presupuesto detallado de las estrategias sostenibles para futuras evaluaciones de la norma y con ello obtener indicadores económicos más precisos, ya que esta investigación tuvo un alcance de costos generales.

4. Incluir metodologías más directas y específicas de cuantificación de emisiones y expandirlas a más criterios que también tienen un impacto en la reducción de huella de carbono, ya que solo 16 criterios de los 35 en total seleccionados contaron con metodologías de cálculo de emisiones establecidos por la norma.
5. Incorporar en el proceso de cálculo de huella de carbono y costos asociados el análisis BIM (Building Information Modeling) y con ello replicar distintos escenarios para analizar diferentes soluciones y optimizar el ahorro.

10 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andreoli, C., Sperling, M., & Fernandes, F. (2007). *Volume SIX. Sludge Treatment and Disposal*. London: IWA Publishing.
- Anglin, R. (2020). *Tabla de rendimientos para distintas actividades de construcción de obras civiles*. San Pedro: Programa de Educación Continua, Universidad de Costa Rica.
- ARESEP. (2019). *Rutas de autobuses en Goicoechea*. Obtenido de ARESEP: <https://aresep.go.cr/datos-abiertos/rutas-autobuses>
- Armabloque. (2022). *Productos: Conozca nuestros bloques modulares*. Obtenido de Armabloque Sistemas de Construcción: <https://www.armabloque.com/bloques-modulares/>
- Asamblea General de las Naciones Unidas. (2015). *Agenda 2030*. Naciones Unidas. Obtenido de <https://www.cepal.org/es/temas/agenda-2030-desarrollo-sostenible/acerca-la-agenda-2030-desarrollo-sostenible>
- ASHRAE. (2009). *Estándar ANSI/ASHRAE 62.1-2007: Ventilación para una Calidad Aceptable de Aire Interior*. Estándar, Atlanta.
- Asociación Green Building Council. (2016). *GBC-CR*. Obtenido de <https://www.gbccr.org/>
- AyA. (2015). *Planta de tratamiento de aguas Residuales "Los Tajos", Costa Rica*. San José: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.
- Badilla, P., Elizondo, J., Fernández, T., Méndez, J., Mora, F., & Quesada, M. (2015). *Cálculo de huella de carbono para materiales de construcción en Costa Rica*. San Pedro: Universidad de Costa Rica.
- Banco Central de Costa Rica [BCCR]. (2015). *Prototipo constructivo: Edificio - Planos constructivos*. Obtenido de <https://www.bccr.fi.cr/indicadores-economicos/estad%C3%ADsticas-de-la-construcci%C3%B3n/edificio>
- Banco Central de Costa Rica [BCCR]. (2021). *Prototipo constructivo: Edificio - Presupuesto*. Obtenido de <https://www.bccr.fi.cr/indicadores-economicos/estad%C3%ADsticas-de-la-construcci%C3%B3n/edificio>

- Benavides, C. (2020). Actualizan la norma Reset, ¿cuáles fueron los principales cambios? *CONSTRUIR: AMEÉRICA CENTRAL Y EL CARIBE*. Obtenido de <https://revistaconstruir.com/actualizan-la-norma-reset-cuales-fueron-los-principales-cambios/>
- Bolaños, R., & Watson, V. (1993). *Mapa Ecológico de Costa Rica. Escala 1:200 000*. San José: Centro Científico Tropical.
- Bosch. (s.f.). *Lavadoras y secadoras: Secadora WTW85530EE*. Obtenido de BSH Electrodomésticos: <https://www.bosch-home.es/electrodomesticos/lavadoras-y-secadoras/secadoras?contentType=products>
- Broecker, W. (1975). Climatic Change: Are We on the Brink of a Pronounced Global Warming? En *Science New Series Vol. 189 No. 4201* (págs. 460-463). American Association for the Advancement of Science.
- Brundtland, H., Khalid, M., Agnelli, S., Al-Athel, S., Chidzero, B., Fadika, L., . . . Strong, M. (1987). *Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo "Nuestro Futuro Común"*. Naciones Unidas.
- Cascante, A., & Estrada, A. (2000). *Composición florística y estructura de un bosque húmedo premontano en el Valle Central de Costa Rica*. San José: Revista Biológica Tropical.
- Caterpillar. (2014). *Especificaciones Técnicas: Camión de obras 770G*. Ficha técnica.
- Caterpillar. (2018). *320 Hydraulic Excavator Technical Specifications*. Ficha técnica . Obtenido de chrome-extension://efaidnbnmnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.bm-cat.com/sites/bmc_be/files/atoms/files/320.pdf
- Centeno, E., & Murillo, A. (2020). Comparación de tecnologías para el tratamiento sostenible de aguas residuales ordinarias en pequeñas comunidades de Costa Rica: demanda de área, costo constructivo y costo de operación y mantenimiento. *Revista de la Universidad de Costa Rica*, 12-15.
- Centro Nacional de Control de Electricidad. (2021). *Informe Anual de la Operación del Sistema Eléctrico Nacional 2021*. Instituto Costarricense de Electricidad. Obtenido de <https://apps.grupoice.com/CenceWeb/CenceDescargaArchivos.jsf?init=true&categoria=3&codigoTipoArchivo=3008>

- Chamorro, P. (2014). *Aplicación del sistema de certificación LEED for Schools para la evaluación del diseño de edificaciones educativas públicas en Costa Rica [Trabajo Final de Graduación]*. San José: Universidad de Costa Rica.
- Comisión de Construcción Sostenible. (2020). *CFIA Construcción Sostenible*. Obtenido de <https://construccionsostenible.cfia.or.cr/>
- Consegrua, F. (2008). *Investigación sobre el Comportamiento Térmico de Soluciones Constructivas Bioclimáticas: Aplicación de nuevas tecnologías para la rehabilitación sostenible de edificios*. Madrid: Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://arquieficiencia.files.wordpress.com/2012/07/4-huecos.pdf>
- Cruz, A. (2011). *Aplicación de la norma ISO 14064 para la estimación de la huella de carbono en el sector salud: Caso de estudio Laboratorio Clínico Congregación Mariana*. Escuela de Ingeniería de Antioquia.
- Cruz, E. (2010). *Diseñar un sistema de manejo de desechos sólidos para una empresa constructora de edificios de apartamentos*. San Pedro: Universidad de Costa Rica.
- Cruz, N. (2021). *Notas del Curso IC-1026 Construcción Sostenible de la Escuela de Ingeniería Civil*. Universidad de Costa Rica.
- Dagostino, F., & Feigenbaum, L. (2002). *Estimating in Building Construction*. Nueva Jersey: Prentice Hall (Sd).
- Daikin. (2016). *Catálogo comercial Sistema VRV IV*. Ficha técnica.
- Easiroll. (2021). *Home: Custom Glaze Gallery*. Obtenido de Easiroll Roofing Ltd: <https://www.easiroll.co.nz/custom-glaze-gallery/>
- EDGE. (2018). *Guía del usuario de EDEG V.2.1*.
- Environmental Protection Agency. (2022). *EPA Federal Test Procedure (FTP)*. Obtenido de EPA: <https://www.epa.gov/emission-standards-reference-guide/epa-federal-test-procedure-ftp>
- Extralum. (2019). *Vidrios de control solar Essential*. Ficha técnica.

- EXTRALUM. (2020). *Catálogo de Rejillas y Parasoles Balance*. Ficha técnica, San José.
- Field, C., Barros, V., Dokken, D., Mach, K., Mastrandrea, M., Bilir, T., . . . White, L. (2014). *Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. OMM.
- Germer, J. (1986). *Estrategias pasivas para Costa Rica: Una aplicación regional del diseño bioclimático*.
- Gobierno de Costa Rica. (2018). *Plan de Descorbanización Compromiso País 2018-2050*. San José: Gobierno de Costa Rica.
- Gómez, A. (2018). *Consumo específico de combustible en vehículos a gasolina. Estudio a partir de parámetros constructivos y descriptivos de Ciclos de Conducción*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
- González, M., Jurado, E., González, S., Aguirre, O., Jiménez, J., & Navar, J. (2003). *Cambio Climático Mundial: Origen y Consecuencias*. Universidad Autónoma de Nueva León .
- Graphenstone. (2021). *Ficha Técnica. Biosphere Color Premium*. Sevilla: IEDISA.
- Graphenstone. (2021). *Ficha Técnica. Ecosphere Color Premium*. Sevilla: IEDISA.
- Graphenstone. (2021). *Ficha Técnica. MortarBase Premium*. Sevilla: IEDISA.
- Graphenstone. (2021). *Ficha Técnica. NaturGlue Premium*. Sevilla: IEDISA.
- Graphenstone. (2022). *Declaración Ambiental de Producto. Ecosphere Premium (S-P-01050)*. Sevilla: IEDISA.
- Graphenstone. (2022). *Declaración Ambiental de Producto. Morteros Premium & The Earth Collection (S-P-01618)*. Sevilla: IEDISA.
- Hammond, G., & Jones, C. (2011). *The Inventory of Carbon and Energy (ICE)*. University of Bath & BSRIA. Somerset: Fiona Lowrie & Peter Tse.
- Holcim. (2022). *Declaración Ambiental de Producto. Cemento Fuerte (S-P-05007)*. San José: Holcim.

- Holdridge, L. (1947). *Determination of plant world formations from simple climatic data*. Michigan: University of Michigan.
- IMN. (2021). *Factores de emisión de gases de efecto invernadero. Undécima edición*. San José: IMN, ICE, & LCM.
- IMN. (2022). *Promedios Mensuales de datos Climáticos (estaciones automáticas)*. San José: Departamento de Información.
- Instituto de Arquitectura Tropical. (2012). RESET, Requisitos para edificios sostenibles en el trópico. *Instituto de Arquitectura Tropical*. Obtenido de <http://www.arquitecturatropical.org/>
- Instituto Meteorológico Nacional & Ministerio de Ambiente y Energía. (2019). *II Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Gobierno de Costa Rica.
- Instituto Meteorológico Nacional, & Ministerio de Ambiente y Energía. (2021). *Inventario Nacional de emisiones por fuentes y absorción por sumideros de Gases de Efecto Invernadero Costa Rica 1990-2017*. Gobierno de Costa Rica.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2018). *Costa Rica: Densidad de la población proyectada y estimada según provincia, cantón y distrito al 1 de julio de cada año*. Obtenido de <https://www.inec.cr/documento/poblacion-21-costa-rica-densidad-de-la-poblacion-proyectada-y-estimada-segun-provincia>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2021). *Población total proyectada al 30 de junio por grupos de edades, según provincia, cantón, distrito y sexo - 2021*. Obtenido de https://www.inec.cr/poblacion/estimaciones-y-proyecciones-de-poblacion?keys=cant%C3%B3n&shs_term_node_tid_depth=All&field_periodo_tid=All&field_anio_documento_value%5Bvalue%5D%5Bdate%5D=
- INTACO. (2022). *Material Descargable: Catálogo de Productos 2022*. Obtenido de INTACO Costa Rica: <https://www.intaco.com/costa-rica/material-descargable/>
- INTECO. (2020). *INTE C170:2020 Requisitos para Edificaciones Sostenibles en el Trópico*. San José, Costa Rica: INTECO.

- International Organization for Standardization. (1995). *Guide for the inclusion of environment aspects in products standards (ISO 14060)*. American National Standards Institute (ANSI).
- INVU. (2018). *Reglamento de Construcciones*. San José: Imprenta Nacional.
- IPCC. (2014). *Reports: AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014*. Obtenido de Greenhouse Gas Protocol: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
- IPCC. (2019). *IPCC Reports: 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Obtenido de IPCC: <https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>
- Lanco. (2016). *Data Técnica de Producto. SUPRA VA-950 Pintura Mate Int/Ext*. San José: Lanco.
- Lanco. (Junio de 2016). *Ficha técnica de producto: Urethanizer RC-994*. Obtenido de LANCO: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://www.lancopaints.com/suramerica/wp-content/uploads/sites/6/2017/08/Urethanizer-RC994-TDS-ESP.pdf>
- Lanco. (2016). *Ficha Técnica. Dura Life DF-2824. Sellador y Repelente de Agua Transparente Siliconizado*. San José: LANCO.
- Manso, P., Stolz, W., & Fallas, J. (2005). *El régimen de la precipitación en Costa Rica*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.ambientico.una.ac.cr/wp-content/uploads/taianacan-items/5/15025/144_7-8.pdf
- Marín, R. (2020). *Huella de Carbono asociada al Ciclo Integral del Agua en Córdona (Emacsa) [Artículo técnico]*. Obtenido de <https://www.emacsa.es/wp-content/uploads/2014/02/Tecnoaqua-41-En-Feb-2020-38-46.pdf>
- Meadows, D., Meadows, D., Randers, J., & Behrens, W. (1972). *Los límites del crecimiento: Informe al Club de Roma sobre el predicamento de la Humanidad*. New York : Universe Books.

- Ministerio de Ambiente y Energía. (2020). *Contribución Nacionalmente Determinada*. Gobierno de Costa Rica.
- Ministerio de Ambiente y Energía. (2021). *Manual Técnico de Dotaciones de Agua*. San José.
- Ministerio de Ambiente y Energía MINAE. (2015). *VII Plan Nacional de Energía 2015-2030*. San José: PNUD. Obtenido de <https://minae.go.cr/recursos/2015/pdf/VII-PNE.pdf>
- Ministerio de Hacienda. (2019). *Manual de Valores Base Unitarios por Tipología Constructiva*. San José, Costa Rica: La Gaceta.
- Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica. (2020). *Cambio Climático y Objetivos del Desarrollo Sostenible. Área de Análisis del Desarrollo / Unidad de Análisis Prospectivo*. San Jose: MIDEPLAN.
- Morales, F., Montero, M., Castillo, Á., & Rosas, C. (2012). *Árboles y arbustos para uso urbano en el Valle Central, Costa Rica*. Instituto Nacional de Biodiversidad.
- Moreno, A. (2015). *Estrategias para la certificación del edificio de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Costa Rica bajo el sistema LEED v4 EB: O+M [Trabajo Final de Graduación]*. Universidad de Costa Rica.
- Municipalidad de Goicoechea. (2020). *Actualización del Plan Regulador del cantón Goicoechea*. Obtenido de <https://munigoicoechea.go.cr/wp-content/uploads/2021/02/PR-Goicoechea-Diag-Dic2020.pdf>
- Murillo, G. (2015). *Estrategias para certificar la operación y mantenimiento del edificio administrativo de la Municipalidad de Heredia mediante el sistema de evaluación LEED O+M: EB versión 4 [Trabajo Final de Graduación]*. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Naciones Unidas. (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático CMNUCC*. Obtenido de <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- Naciones Unidas. (1998). *Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático*. GE.05-61702.

- Navarro, M. (2018). *Estrategias para la certificación del nuevo edificio de residencias estudiantiles del Instituto Tecnológico de Costa Rica bajo el sistema LEED v4 O+M: EB [Trabajo Final de Graduación]*. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Navas, A., & Fonseca, C. (2016). *Densidad de la mampostería de concreto en Costa Rica*. San Pedro: LANAMME.
- Nayak, N. (2017). *LA GLOBALIZACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE EN COSTA RICA: ESTUDIO DE CASO*. Centro de Investigaciones en Desarrollo Sostenible.
- Nexxt Solutions. (s.f.). *Products: Regleta Wifi Inteligente*. Obtenido de Nexxt Solutions Connectivity: <https://www.nexxtsolutions.com/connectivity/internal-products/AHIUSBSO4U1/>
- ONU. (1995). *Cumbre Mundial sobre Desarrollo Social*. Copenhague: Naciones Unidas.
- Open Access Government. (12 de Mayo de 2020). *Open Access Government*. Obtenido de <https://www.openaccessgovernment.org/automation-and-technology-green-future/86248/>
- Organización Internacional de Normalización. (2018). *Gases de efecto invernadero- Huella de carbono de los productos- Requisitos y directices para la cuantificación (ISO 14067)*. ISO.
- Organización Metereológica Mundial. (2020). *Boletín de la OMS sobre los Gases de Efceto Invernadero*. Organización Metereológica Mundial.
- Pedregal. (2022). *Nuestros Productos: ECOBLOCK*. Obtenido de PEDREGAL: <http://pedregal.co.cr/web/?p=11332>
- PNUD. (2019). *Atlas de Desarrollo Humano Cantonal 2021 - PNUD Costa Rica*. Obtenido de <https://www.cr.undp.org/content/costarica/es/home/atlas-de-desarrollo-humano-cantonal.html>
- Productos de Concreto. (2022). *Ficha técnica: Familia tradicional. Bloques de concreto*. Obtenido de Productos de Concreto S.A: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://productosdeconcretocr.com/wp-content/uploads/2018/07/Ficha_tecnica_bloques.pdf

- Programa Estado de la Nación. (2018). *Informe Estado de la Nación 2018*. San José: Girot, Pascal.
- Ramírez, A. (2009). *El Movimiento de la Construcción Sostenible*. Consejo Construcción Verde de España.
- Ramírez, A. (s.f). *La Construcción Sostenible*. Consejo de la Construcción Verde de España.
- Sancho, M. (10 de Marzo de 2022). Transporte genera el 42 % de las emisiones de gases de efecto invernadero en Costa Rica. *Dirección de Cambio Climático*. Obtenido de <https://cambioclimatico.go.cr/transporte-genera-el-42-de-las-emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-en-costa-rica/>
- Sandí, A. (2018). *Herramientas para la estimación de Huella de Carbono de proyectos constructivos*. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Schaus, M., Ochoa, E., Vásquez, J., Carrera, J., Carrillo, R., & Bravo, R. (2018). *Guía para la elaboración de la Línea Base en el marco del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental - SEIA*. Ministerio del Ambiente de Perú - MINAM.
- Schneider, H., & Samaniego, J. (2010). *La huella de carbono en la producción, distribución y consumo de bienes*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Sistema Nacional de Métrica de Cambio Climático. (2021). *SINAMECC*. Obtenido de <http://sinamecc.opendata.junar.com/home/>
- Sliding Door Repair. (2020). *Services: Sliding Door Repair*. Obtenido de Sliding Door Repair: <https://slidingdoorfix.com/sliding-door-repair-services/>
- Sperling, M. (2007). *VOLUME ONE. Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal*. Belo Horizonte: IWA Publishing.
- THERMO SOLUTIONS. (2020). *Calentamiento de Agua: Calentadores de Paso. Thermo Master*. Obtenido de THERMO SOLUTIONS GROUP S.A: <https://www.thermosolutionsgroup.com/espanol/tienda/thermo-master/>
- THERMO SOLUTIONS. (2020). *Calentamiento de Aguas: Calentadores Solares. Termosifón*. Obtenido de THERMO SOLUTIONS GROUP S.A: <https://www.thermosolutionsgroup.com/espanol/tienda/termosifon/>

- Torres, Á., Cortez, L., & Paz, Y. (2011). *Estudio de Medición de Huella de carbono*. Lima: AIDIS. Obtenido de <https://aidisnet.org/wp-content/uploads/2019/08/11-huella-de-carbono.pdf>
- U.S Green Building Council. (2014). *LEED v4 para DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS*. Madrid: Spain GBC.
- Unit Nations. (2021). *United Nations Climate Change*. Obtenido de <https://unfccc.int/>
- Universidad de Alicante. (s.f.). *Consumo energético en los diferentes estados de un ordenador*. Alicante: Universidad de Alicante.
- Vengoechea, A. (2012). *Las Cumbres de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Fundación Friedrich Ebert-FES.
- WWF. (1993). *The Built Environment Sector, PreSeminar*. World Wildlife Fund.
- Zenghelis, D., & Sullivan, L. (Enero de 2008). *El problema del Calentamiento Global*. doi:10.38178/cep.vi112.455

11 ANEXOS

11.1 Evidencias para la categoría de impacto

La presente sección contiene las evidencias pertinentes que respaldan la puntuación obtenida en cada requisito de la Tabla de Categoría de Impacto, elaborada por la norma INTE C170:2020 RESET para el proceso de su certificación.

11.1.1 Evidencia del Criterio N° 1

El Figura 49 muestra el IDH del cantón de Goicoechea.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Cantón	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
2	San José	0.824	0.820	0.816	0.809	0.813	0.822	0.824	0.815	0.822	0.815	0.820	0.816	0.825	0.831
3	Escazú	0.895	0.894	0.893	0.882	0.899	0.914	0.895	0.912	0.902	0.915	0.909	0.905	0.922	0.920
4	Desamparados	0.779	0.787	0.778	0.777	0.776	0.782	0.785	0.787	0.778	0.783	0.789	0.794	0.798	0.804
5	Puriscal	0.761	0.774	0.786	0.775	0.767	0.769	0.790	0.781	0.789	0.805	0.792	0.803	0.807	0.799
6	Tarrazú	0.663	0.685	0.687	0.671	0.707	0.704	0.716	0.741	0.743	0.715	0.719	0.715	0.732	0.743
7	Aserri	0.764	0.753	0.746	0.757	0.763	0.752	0.790	0.782	0.783	0.793	0.785	0.787	0.787	0.801
8	Mora	0.822	0.821	0.825	0.835	0.847	0.819	0.836	0.843	0.839	0.837	0.855	0.857	0.861	0.853
9	Goicoechea	0.805	0.817	0.811	0.813	0.821	0.812	0.829	0.824	0.827	0.819	0.825	0.807	0.817	0.817
10	Santa Ana	0.870	0.881	0.879	0.895	0.897	0.906	0.917	0.900	0.912	0.913	0.909	0.910	0.922	0.935
11	Alajuelita	0.726	0.738	0.731	0.717	0.734	0.739	0.745	0.751	0.743	0.749	0.753	0.761	0.764	0.769
12	Vázquez de Coronado	0.800	0.802	0.817	0.811	0.817	0.826	0.834	0.843	0.831	0.850	0.841	0.840	0.850	0.844
13	Acosta	0.733	0.727	0.778	0.732	0.755	0.749	0.793	0.760	0.758	0.787	0.758	0.789	0.769	0.791
14	Tibás	0.841	0.830	0.817	0.828	0.810	0.830	0.826	0.830	0.810	0.839	0.838	0.830	0.830	0.834
15	Moravia	0.862	0.877	0.865	0.874	0.867	0.885	0.895	0.882	0.876	0.876	0.867	0.887	0.875	0.875
16	Montes de Oca	0.907	0.916	0.916	0.913	0.897	0.900	0.913	0.901	0.904	0.911	0.914	0.914	0.916	0.915
17	Turrubares	0.626	0.657	0.629	0.672	0.674	0.657	0.688	0.736	0.738	0.716	0.736	0.773	0.748	0.734
18	Dota	0.637	0.652	0.639	0.662	0.632	0.727	0.671	0.664	0.710	0.747	0.740	0.723	0.757	0.707

Tomado de la base de datos disponible en la página web del PNUD en Costa Rica

Figura 49. Índice de Desarrollo Humano del cantón de Goicoechea

Fuente: (PNUD, 2019)

Modificado por: (Calderón, 2022)

11.1.2 Evidencia del Criterio N° 2

En el Figura 50 se señala la cantidad total de habitantes proyectada por el INEC para el 2021 en el distrito de San Francisco.

CUADRO 3		Costa Rica: Población total proyectada al 30 de junio por grupos de edades, según provincia, cantón, distrito y sexo 2021														
Provincia, cantón, distrito y sexo	Total	Grupos de edades														
		0 - 4	5 - 9	10 - 14	15 - 19	20 - 24	25 - 29	30 - 34	35 - 39	40 - 44	45 - 49	50 - 54	55 - 59	60 - 64	65 - 69	70 - 74
Jaris	1 351	78	81	76	80	105	115	130	124	106	91	85	77	67	57	35
Goicoechea	139 678	8 397	8 797	8 710	9 109	11 015	12 607	12 660	12 136	10 149	7 981	7 553	7 920	7 291	5 795	3 845
Guadalupe	22 415	1 007	1 118	1 042	1 029	1 473	1 775	2 321	2 397	1 994	1 535	1 401	1 410	1 253	970	617
San Francisco	2 408	118	126	127	134	155	192	232	232	194	154	146	154	144	114	77
Calle Blancos	23 280	1 249	1 323	1 323	1 403	1 723	2 020	2 179	2 113	1 768	1 395	1 332	1 407	1 303	1 042	697
Mata de Plátano	21 029	1 230	1 301	1 300	1 373	1 591	1 762	1 899	1 847	1 546	1 222	1 167	1 236	1 147	917	612
Ipis	31 754	1 959	2 050	2 052	2 148	2 510	2 786	2 816	2 696	2 257	1 784	1 703	1 803	1 672	1 336	894
Rancho Redondo	3 187	213	228	222	234	267	301	271	251	211	169	161	170	158	127	84
Purral	35 605	2 621	2 651	2 644	2 788	3 296	3 771	2 942	2 602	2 179	1 722	1 643	1 740	1 614	1 289	864
Santa Ana	61 162	4 274	4 604	4 471	4 196	4 332	4 589	5 119	5 065	4 571	4 093	3 814	3 606	3 041	2 124	1 349
Santa Ana	12 921	803	835	812	795	858	940	1 188	1 227	1 093	954	864	794	657	445	272
Salitral	5 508	440	436	448	422	429	482	435	406	368	332	312	296	254	178	114
Pozos	20 382	1 471	1 694	1 571	1 492	1 515	1 541	1 635	1 592	1 439	1 298	1 221	1 167	989	697	447

Tomado de la base de datos disponible en la página web del INEC

Figura 50. Población total proyectada al 2021 del distrito de San Francisco

Fuente: (INEC, 2021)

Modificado por: (Calderón, 2022)

11.1.3 Evidencia del Criterio N° 3

En el mapa de la Figura 51 se delimita el área supuesta para el proyecto y en esta se observa la existencia de vegetación en varias zonas del terreno.

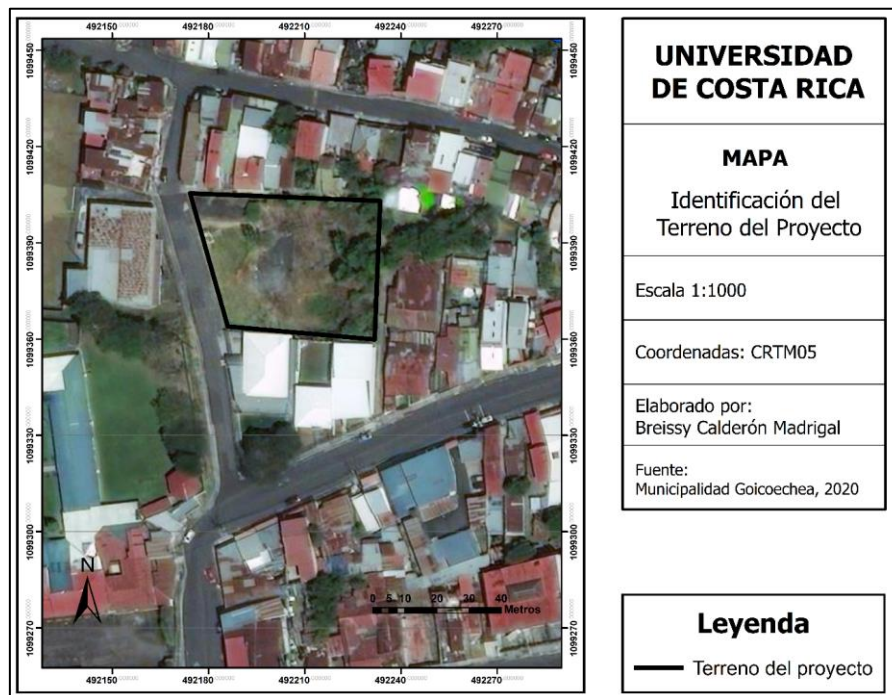


Figura 51. Identificación del terreno supuesto para el proyecto

11.1.4 Evidencia del Criterio N° 4

poblacion 21			
Costa Rica: Densidad de la población proyectada y estimada según provincia, cantón y distrito al 1 de julio de cada año 2016 - 2018			
Provincia, cantón y distrito	2016	2017	2018
Mora	182.39	184.0	184.0
Colón	424.65	426.9	426.9
Guayabo	566.41	573.7	573.7
Tabarcia	120.43	122.0	122.0
Piedras Negras	31.27	32.0	32.0
Picares	31.10	31.5	31.5
Jaris	226.39	230.9	230.9
Goicoechea	4 281.11	4 321.0	4 321.0
Guadalupe	9 471.43	9 462.2	9 462.2
San Francisco	4 103.51	4 140.4	4 140.4
Calle Blancos	9 523.01	9 608.5	9 608.5
Mata de Plátano	2 581.62	2 607.0	2 607.0
Ipiis	12 873.82	13 014.9	13 014.9
Rancho Redondo	227.65	230.5	230.5
Purral	10 840.97	10 997.0	10 997.0

Tomado de la base de datos disponible en la página web del INEC

Figura 52. Densidad de la población proyectada y estimada para el distrito de San Francisco

Fuente: (INEC, 2018)

Modificado por: (Calderón, 2022)

11.1.5 Evidencia del Criterio N° 5

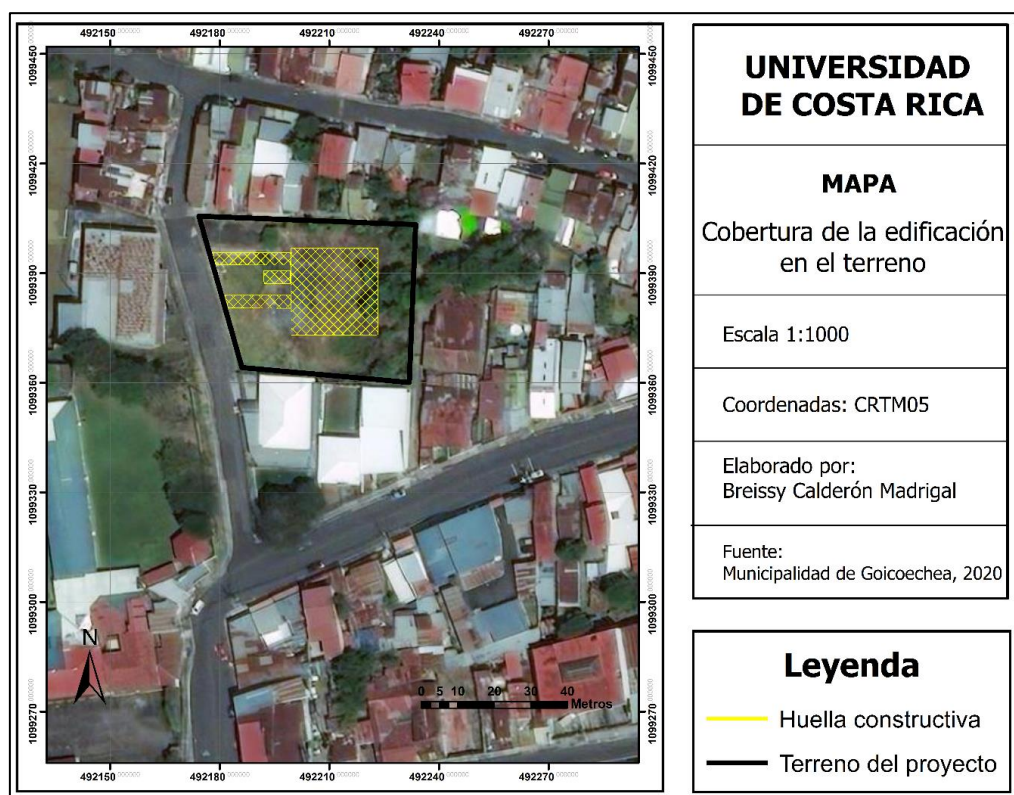


Figura 53. Cobertura de la edificación en el terreno supuesto

11.1.6 Evidencia del Criterio N° 6

El Cuadro 156 contiene el tamaño total de la edificación desglosada por área de cada nivel, y las Figuras siguientes muestran los planos del proyecto resaltando las áreas que se contemplaron para el cálculo.

Cuadro 156. Distribución del área del edificio por cada nivel

Nivel	Área (m ²)
Primer	298
Segundo	278
Tercero	278
Cuarto	278
Quinto	278
Sótano	441
Total	1851

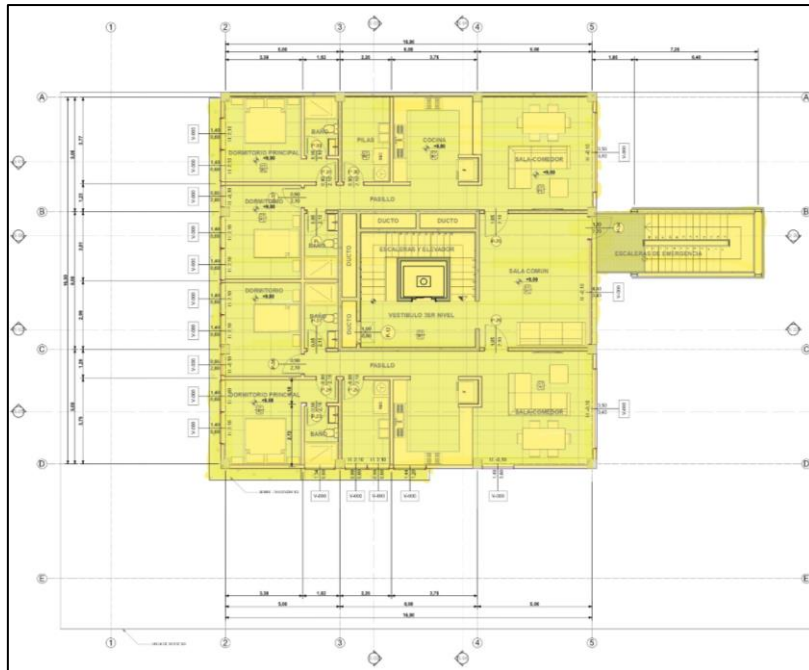


Figura 56. Área calculada en el tercer nivel

Fuente: (BCCR, 2015)

Modificado por: (Calderón, 2022)

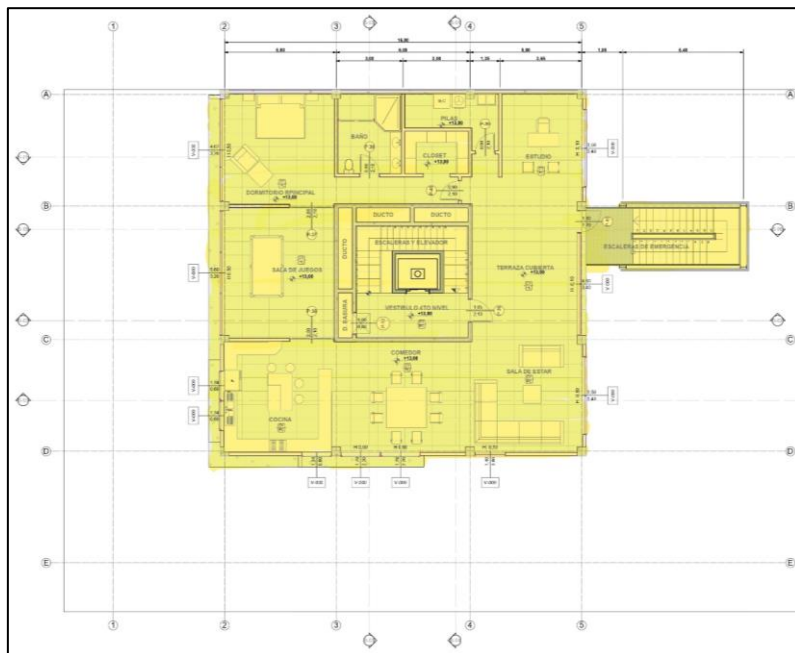


Figura 57. Área calculada en el cuarto nivel

Fuente: (BCCR, 2015)

Modificado por: (Calderón, 2022)

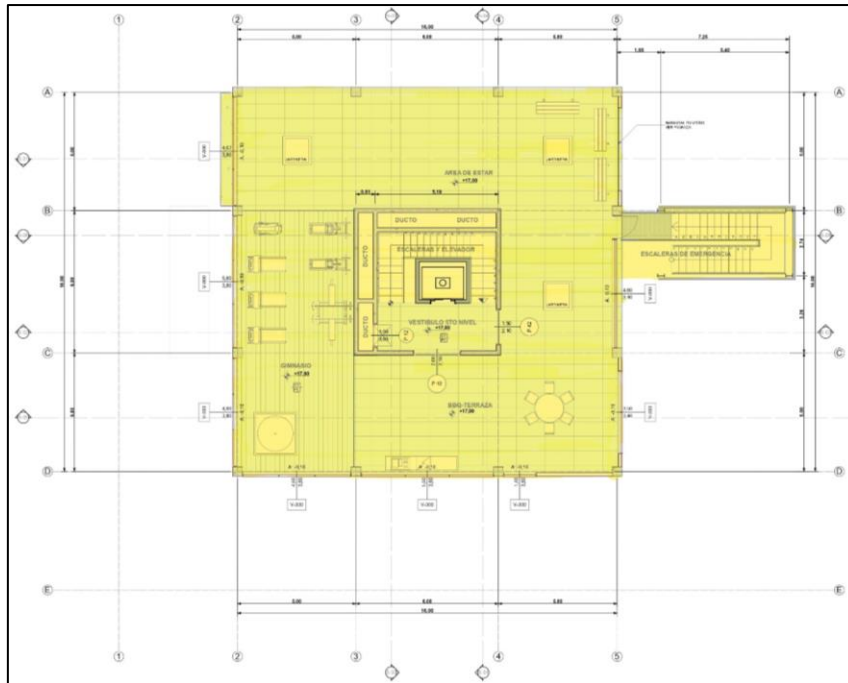


Figura 58. Área calculada en el quinto nivel

Fuente: (BCCR, 2015)

Modificado por: (Calderón, 2022)

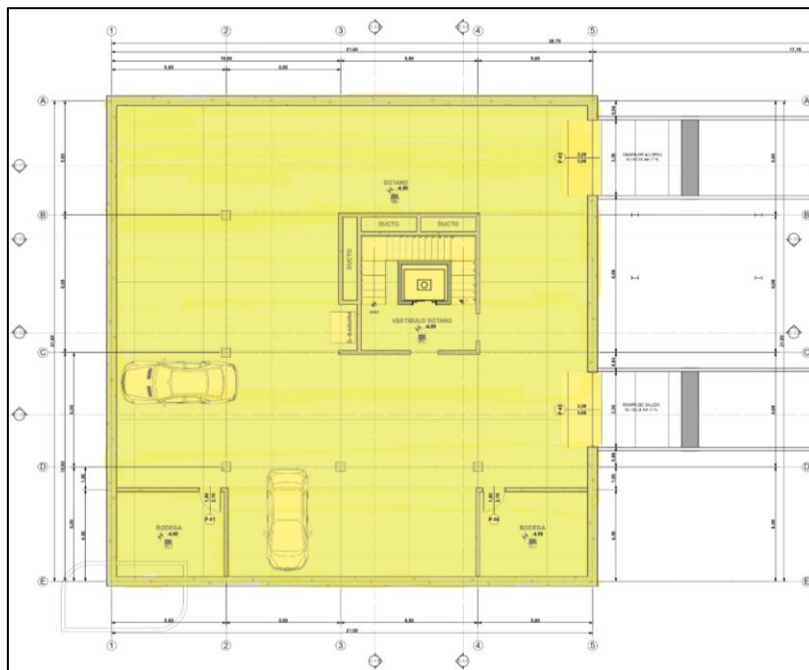


Figura 59. Área calculada en el sótano

Fuente: (BCCR, 2015)

Modificado por: (Calderón, 2022)

11.1.7 Evidencia del Criterio N° 7

La siguientes Figuras describen el tipo de construcción AP03 y EO02 a través de un extracto del Manual de Valores Base Unitarios por Tipología Constructiva 2019.

7.1.12.3. Tipo AP03	
Vida Útil	95 años.
Estructura	Columnas y vigas de concreto armado, prefabricado o perfiles metálicos.
Paredes	Bloques de concreto con repello fino, paneles de yeso, cemento y fibra de vidrio o similar, enchapes de piedra laja, ladrillo ornamental u otro. Repello afinado enmasillado y pintura acrílica o de aceite de buena calidad. Alturas de 2,40 m a 4,00 m.
Cubierta	Cerchas de perfiles metálicos. Láminas onduladas de hierro galvanizado esmaltadas. Canoas de hierro galvanizado y bajantes de PVC internos, con red de recolección subterránea.
Cielos	Concreto lanzado o viguetas expuestas.
Entrepisos	Prefabricados de viguetas pretensadas o similares.
Pisos	Cerámica y/o alfombra de buena calidad, madera laminada o similar, porcelanato de buena calidad.
Baños	Dos cuartos de baño y medio tipo bueno.
Otros	Puerta principal de tablero de laurel, con marcos de 10 cm, guarnición, puertas interiores de madera o melamina termoformada, cerrajería de buena calidad, ventanas con marcos de aluminio bronce o plata y vidrios color bronce, humo o similar, rodapiés, molduras, cornisas y vigas banquinas. Cocina tipo buena. Closets de melamina o similar con puertas tipo celosía de PVC o similar. Agua distribuida a presión mediante bomba eléctrica, intercomunicadores, planta eléctrica de emergencia. Espacio para un vehículo por apartamento. Mayor inversión en instalación electromecánica. Puede tener ascensor. Edificios de una a varias plantas. Estos edificios pueden presentar comercio en la primera planta.
VALOR	¢530 000 / m²
<u>Tomado del Manual de Valores Base Unitarios por Tipología Constructiva 2019, p. 50</u>	

Figura 60. Vida útil tipología constructiva Edificio de Apartamentos AP03

Fuente: (Ministerio de Hacienda, 2019)

Modificado por: (Calderón, 2022)

7.1.16.2. Tipo EO02	
Vida Útil	100 años.
Estructura	Columnas y vigas de concreto armado o perfiles metálicos.
Paredes	Externas bloques de concreto con repello fino o fibrocemento. Divisiones internas de paneles livianos en fibrocemento o similar, paneles de yeso, cemento y fibra de vidrio o similar.
Cubierta	Cerchas de perfiles metálicos. Láminas de hierro galvanizado, tipo canaleta estructural esmaltada. Canoas y bajantes de hierro galvanizado.
Cielos	Láminas de poliestireno expandido, con suspensión de aluminio o similar.
Entrepisos	Viguetas pretensadas o similar.
Pisos	Cerámica de mediana calidad o similar.
Baños	Dos cuartos de baño tipo normal por piso.
Otros	Estos edificios presentan acabados sencillos, con una altura de paredes mayor que en los pisos restantes. No incluye ascensor. Edificios de dos o tres plantas, la primera planta puede estar dedicada a comercio.
VALOR	¢420 000 / m²
<small>Tomado del Manual de Valores Base Unitarios por Tipología Constructiva 2019, p. 70.</small>	

Figura 61. Vida útil tipología constructiva Edificio de Oficina EO02

Fuente: (Ministerio de Hacienda, 2019)

Modificado por: (Calderón, 2022)

11.1.8 Evidencia del Criterio N° 8

El juego de planos del edificio prototipo son de acceso público en la página web del BCCR, de esta manera se puede evidenciar el uso de la edificación. Además, la Figura 62 muestra el mapa de zonificación y uso del suelo en el área supuesta para el proyecto, la cual es ZC-RI (zona comercial-residencial-industrial).

Como se muestra en el mapa, el terreno se encuentra dividido en dos tipos de uso de suelo (AV y ZC-RI), sin embargo, esto resulta en un error de la zonificación y el uso de suelo oficial del terreno es el ZC-RI ya que es el que abarca mayor área.

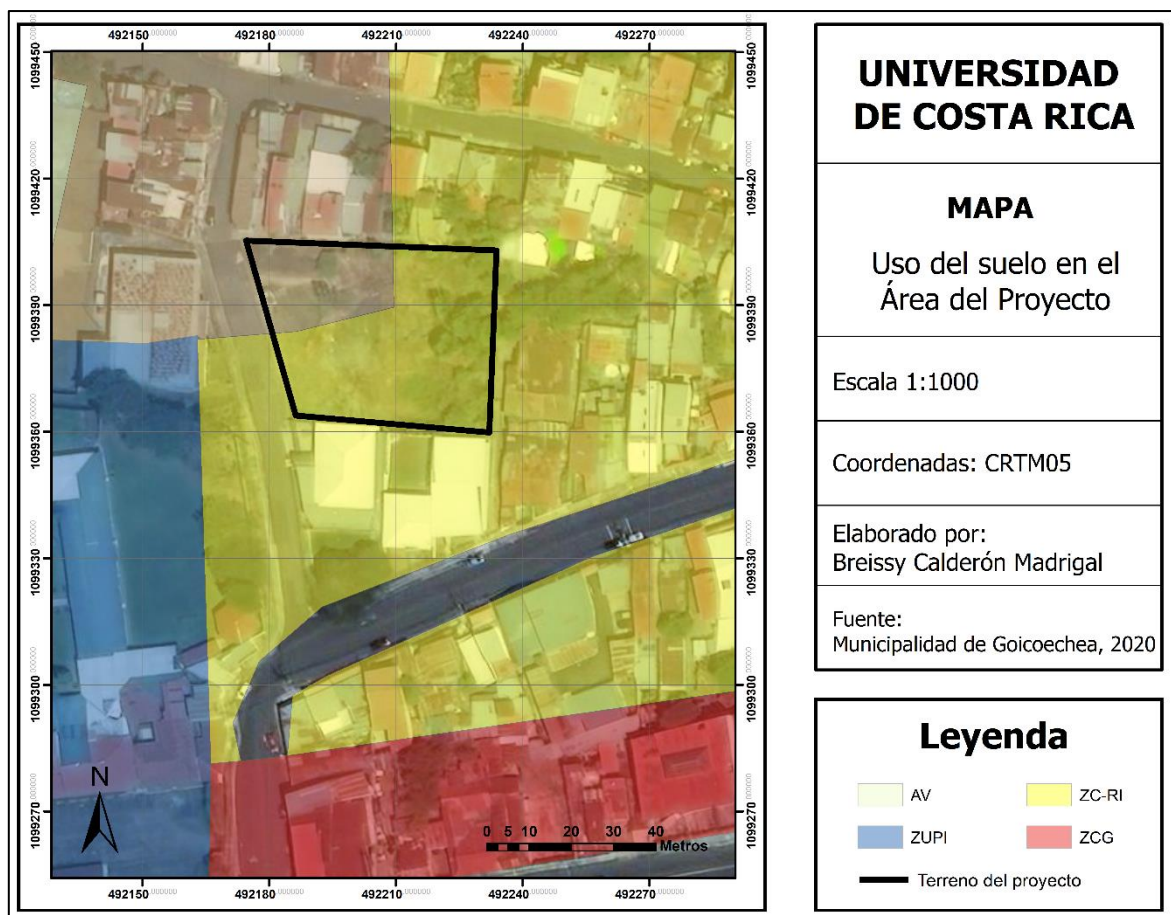


Figura 62. Uso del suelo en el área del proyecto

11.1.9 Evidencia del Criterio N° 9

Con el mapa que contiene la Figura 63 se puede notar la cercanía del terreno con la quebrada permanente Cangrejos, la cual representa un área protegida (AP).

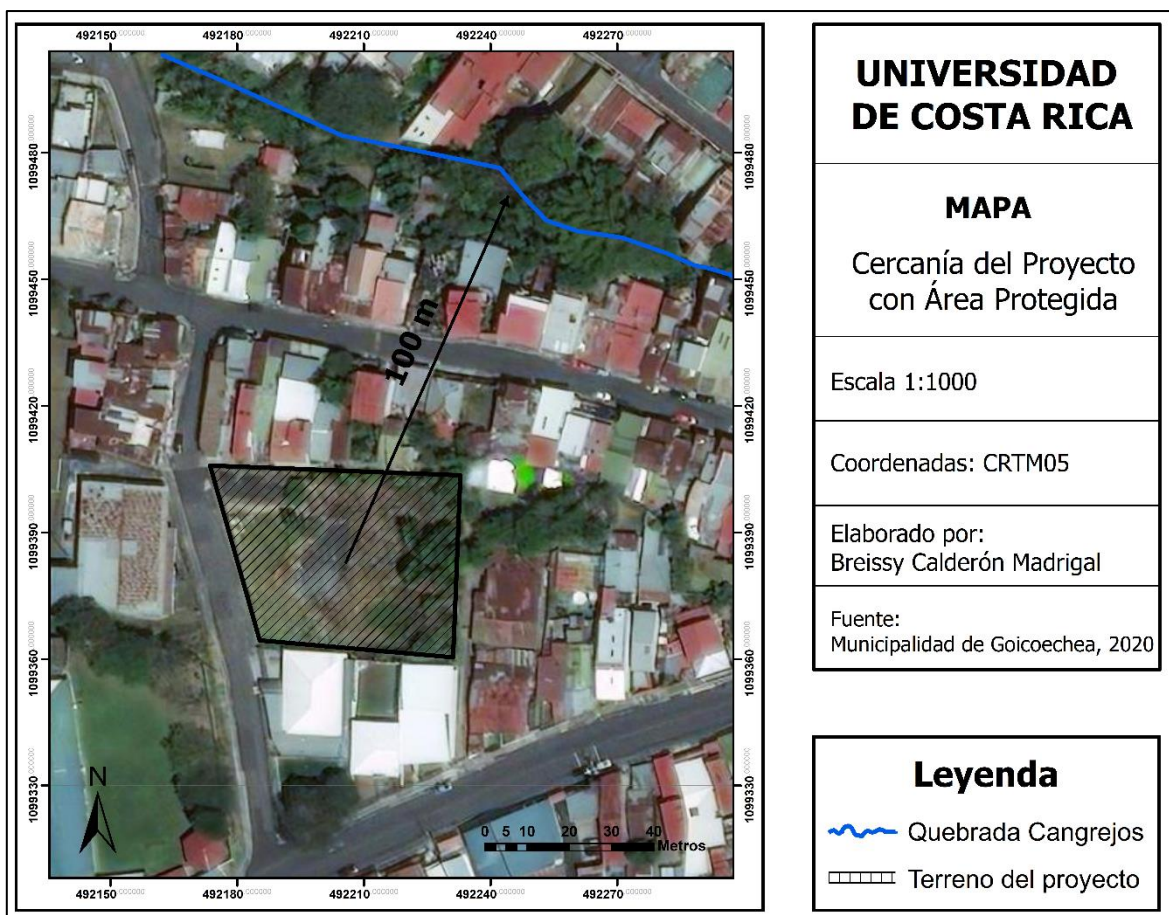


Figura 63. Cercanía del Proyecto con Área Protegida

11.1.10 Evidencia del Criterio N° 10

El Cuadro 157 especifica la cantidad de habitantes o usuarios por cada nivel del edificio prototipo. Esto se calculó observando las áreas y el mobiliario dispuesto en los distintos aposentos.

Cuadro 157. Cantidad de habitantes o usuarios del edificio prototipo

Número de piso	Tipo de uso	Finalidad	Cantidad de habitantes o usuarios
1	Comercial	Locales comerciales	65
2	Comercial	Centro de llamadas	42
3	Residencial	Departamento habitacional	10
4	Residencial	Departamento habitacional	4
5	Residencial	Gimnasio, jardín y BBQ-terraza	14
Total habitantes			135

11.1.11 Evidencia del Criterio N° 11

La siguiente evidencia contiene una vista en sección del sótano y primer nivel del edificio, esta detalla una profundidad de 4 m de excavación para la construcción del sótano, el cual representa el movimiento de tierra contemplado para este criterio.

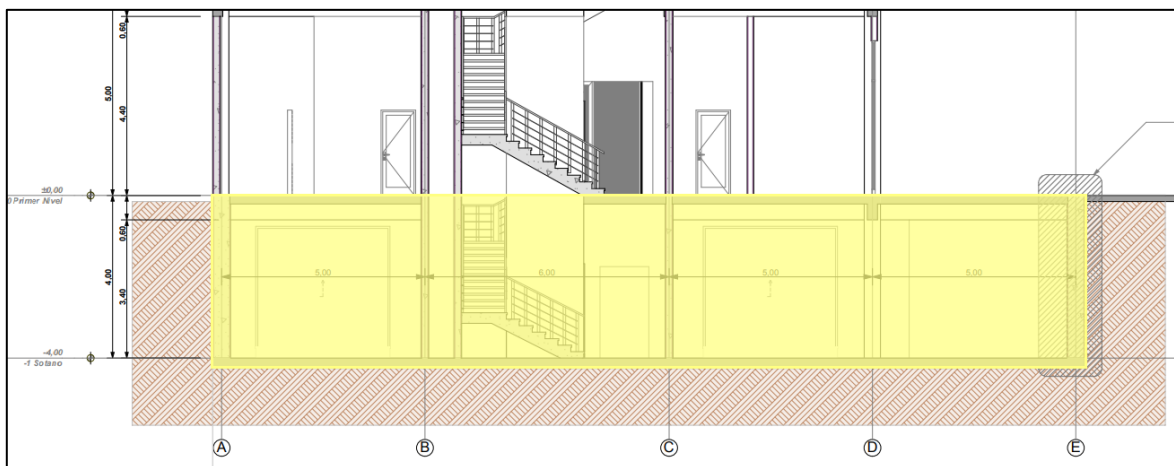


Figura 64. Vista en sección de altura sótano edificio prototipo

Fuente: (BCCR, 2015)

Modificado por: (Calderón, 2022)