

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS CON TÉCNICAS AVANZADAS: PROPUESTA
DE MEJORA PARA UN PROYECTO ARQUITECTÓNICO

Trabajo final de investigación aplicada sometido a la consideración de la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Arquitectura y Construcción para optar por el grado y título de Maestría Profesional en Arquitectura y Construcción.

MARCO ANTONIO CORDERO RODRÍGUEZ

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2021

Dedicatoria y agradecimientos

Dedico este trabajo final de investigación a mi familia que me han acompañado en el camino de estudio y formación que se ha trazado a lo largo de nuestras vidas, con el apoyo y empeño que ha sido necesario para alcanzar la meta propuesta.

Agradezco a quienes me han acompañado y brindado su apoyo en este camino, que durante el tiempo de estudio han elaborado espacios de tiempo y colaboración para que se pueda lograr la propuesta de crecimiento personal y profesional.

Este trabajo final de investigación fue aceptado por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Arquitectura y Construcción de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado de Maestría Profesional en Arquitectura y Construcción.

Mag. Dania Chavarría Núñez
**Representante del Decano
Sistema de Estudios de Posgrado**

Arq. Luis Alberto Monge Calvo
Profesor Guía

Arq. Alejandro Barboza Mainieri
Lector

Arq. Rudy Piedra Mena
Lector

Arq. Bryan Vargas Vargas
**Representante de la Directora
Posgrado en Arquitectura**

Marco Antonio Cordero Rodríguez
Sustentante

Índice	
Dedicatoria y agradecimientos	ii
Hoja de aprobación	iii
Resumen.....	vii
Índice de figuras.....	viii
Introducción.....	1
1. Antecedentes	3
1.1 Criterios de selección y evaluación inicial	4
1.1.1 Caso 1: Hugo Boss Competence Center.....	16
1.1.2 Caso 2: Catedral de Oakland	20
1.1.3 Caso 3: Ayuntamiento de Seúl	24
1.1.4 Caso 4: Estación del Metro Óculos, New York.....	28
1.1.5 Caso 5: Galería de Arte Alberta.....	31
1.1.6 Caso 6: Parlamento Escocés	35
1.1.7 Caso 7: Radioterapia Hospital México.....	40
1.1.8 Caso 8: Mall San Carlos.....	43
1.1.9 Caso 9: Auditorio Nueva Generación	45
1. Objetivo principal	49
2. Objetivos específicos	50
3. Metodología	54
3.1 Justificación	54
3.2 Marco teórico	55
3.3 Metodología	56
3.4 Herramienta	57
4. Formulación	60
4.1 Proyecto Auditorio NG: Análisis urbano	73
4.1.1 Ubicación y localización	73
4.2 Temperatura	74
4.3 Topografía.....	75
4.4 Análisis del sitio	75
4.5 Innovación y sostenibilidad	76
4.6 Emplazamiento del Auditorio	77
4.7 Relaciones y servicios urbanos.....	78

4.8	Conclusiones	78
4.9	Certificado de Sostenibilidad.....	79
4.10	Análisis general de proyecto: descripción.....	83
4.10.1	Zonificación	83
4.11	Aplicaciones de la arquitectura bioclimática	86
4.11.1	Calefacción	88
4.11.2	Ventilación natural.....	91
4.11.3	Iluminación natural	93
5.	Configuración.....	95
5.1	Orientación.....	95
5.2	Recorrido solar.....	96
5.3	Análisis solar.....	96
5.4	El Viento.....	99
6.	Evaluación	104
6.1	Modelo multicriterio: Proyecto modelo base Auditorio Nueva Generación 104	
6.2	Aplicación de la evaluación y resultado en puntaje.....	109
6.3	Proyecto modelo Internacional: Catedral Cristo de la Luz.	114
6.4	Proyecto modelo base: evaluación proyecto ajustado	122
6.5	Evaluación EDGE	128
6.6	Propuesta de mejora: integración	131
6.6.1	Descripción del proyecto base	136
6.7	Criterios de mejora en el proyecto ajustado.....	139
6.7.1	Estructura	141
6.7.2	Protección solar.....	143
6.7.3	Cubierta.....	144
6.7.4	Propuesta de mejora: solución de diseño.....	145
6.7.5	Acondicionamiento acústico	147
6.8	Programación para la ejecución de obras.....	155
6.9	Presupuesto.....	159
7.	Conclusiones	160
7.1	Hallazgos	160
7.2	Conclusiones y recomendaciones	165

8. Bibliografía	175
9. Anexos	181
9.1 Estudios adicionales	181
9.2 Madera estructural laminada.....	182
9.3 Análisis Bioclimático.....	193

Resumen

El presente trabajo final de investigación se realiza sobre la premisa de abordar un proyecto preparado por el sustentante en su labor profesional, el cual bajo los parámetros de sostenibilidad se somete a evaluación para la mejora de la propuesta base. El proyecto seleccionado corresponde a un auditorio para una institución educativa de escuela y colegio, ubicada en San Rafael de Heredia. Este proyecto se desarrolla sobre la huella de un gimnasio existente, de modo que sobre este se desarrolla la propuesta del auditorio y talleres multifuncionales de arte y deporte.

Se parte de un proyecto base, de propuesta descrita para construir el auditorio sobre el gimnasio existente, para el proyecto de mejora, bajo la premisa de la arquitectura sostenible, se toma base en los criterios de sostenibilidad que se incorporan en los modelos de certificación de edificios sostenibles que se utilizan en el país y sobre los que se describe en el documento.

Una vez realizada la evaluación multicriterio para la sostenibilidad y realizada la investigación sobre las técnicas y materiales que se han de considerar para mejorar el proyecto base, se realiza dicha propuesta de mejora y se evalúa bajo los parámetros y criterios propuestos al inicio del documento de manera que se pueda revisar el logro de mejora bajo un estándar de medición.

El proyecto mejorado refleja el éxito del procedimiento al lograr la incorporación de técnicas constructivas actuales y la incorporación de materiales que permiten obtener una certificación bajo la premisa de la sostenibilidad que se expone en el documento.

Índice de figuras

Figura 1. Modelo Multicriterio.....	1
Figura 2. Diagrama de metodología de investigación	2
Figura 3. Proyectos Internacionales.....	3
Figura 4. Proyectos internacionales y nacionales	4
Figura 5. Modelo para la evaluación de proyectos.....	5
Figura 6. Evaluación inicial.....	6
Figura 7. Multicriterio selección de obras	12
Figura 8. Catedral Cristo de la Luz.	13
Figura 9. Proyecto Auditorio Nueva Generación	13
Figura 10. Sylvie C. (2009). “De la cuna a la tumba”.	14
Figura 11. César, R. (2008). Catedral Cristo de la Luz.	14
Figura 12. Vista del complejo de oficinas Hugo Boss.	17
Figura 13. Hugo Boss, Competence Centre. planta, fachada y sección	18
Figura 14. Hugo Boss, Competence Centre.	19
Figura 15. Hugo Boss, Competence Centre.	19
Figura 16. Hugo Boss, Competence Centre.	19
Figura 17. Hugo Boss, Competence Centre	20
Figura 18. Hugo Boss, Competence Centre.	20
Figura 19. Planta de conjunto y templo. Diseño.....	21
Figura 20. Planta arquitectónica y sección del templo. SOM. Diseño	21
Figura 21. Catedral Cristo de la Luz. SOM + Arq. Craig W. Hartman.	22
Figura 22. Catedral Cristo de la Luz. SOM + Arq. Craig W. Hartman.	23
Figura 23. Catedral Cristo de la Luz. SOM + Arq. Craig W. Hartman	24
Figura 24. Ayuntamiento de Seoul, Arq. Yoo Kerl. (Kerl, 2013).	25
Figura 25. Ayuntamiento de Seoul, Arq. Yoo Kerl (2013). iArc Architects.....	25
Figura 26. Ayuntamiento de Seoul, Arq. Yoo Kerl (2013).	26
Figura 27. Ayuntamiento de Seoul, Arq. Yoo Kerl (2013).	27
Figura 28. Estación del metro, Óculos, NY. Arq. S. Calatrava (2016).	28
Figura 29. Estación del metro, Óculos, NY. Arq. S. Calatrava (2016).....	29
Figura 30. Estación del metro, Óculos, NY. Arq. S. Calatrava (2016).....	30
Figura 31. Estación del metro, Óculos, NY. Arq. S. Calatrava (2016).....	30
Figura 32. Galería de Arte, Alberta, Canadá.....	31

Figura 33. Galería de Arte, Alberta, Canadá	32
Figura 34. Galería de Arte, Alberta, Canadá,	33
Figura 35. Galería de Arte, Alberta, Canadá	34
Figura 36. Galería de Arte, Alberta, Canadá	34
Figura 37. Parlamento de Escocia.	35
Figura 38. Parlamento de Escocia	36
Figura 39. Parlamento de Escocia.	37
Figura 40. Parlamento de Escocia. Arq. Enric Miralles (2004).	38
Figura 41. Parlamento de Escocia. Arq. Enric Miralles	38
Figura 42. Parlamento de Escocia. Arq. Enric Miralles	39
Figura 43. Parlamento de Escocia. Arq. Enric Miralles	39
Figura 44. Radioterapia Hospital México	40
Figura 45. Radioterapia Hospital México, CCSS-CR (2013).	41
Figura 46. Radioterapia, Hospital México. CCSS. vistas exteriores.	42
Figura 47. Mall San Carlos.....	43
Figura 48. Mall San Carlos.....	44
Figura 49. Mall San Carlos.....	44
Figura 50. Auditorio NG. (2018) Perspectivas de anteproyecto	45
Figura 51. Auditorio NG. (2018) Sección propuesta.....	46
Figura 52. Auditorio NG. (2018) Vista aérea de conjunto.....	47
Figura 53. Auditorio NG. (2018) ubicación y localización. Archivo del autor.	47
Figura 54. Auditorio NG. (2018): Planta distribución arquitectónica.....	48
Figura 55. Diagrama estructura objetivos.	49
Figura 56. Las tres dimensiones de la ingeniería sostenible.....	51
Figura 57. Criterios para lograr Objetivos Específicos.	52
Figura 58. Diagrama bioclimático de zonas de vida del sistema Holdridge	55
Figura 59. Paisaje rural y urbano de Costa Rica. Google (2020).	56
Figura 60. Sostenibilidad.....	56
Figura 61. Diagrama de investigación.....	57
Figura 62. Modelo para la evaluación de proyectos seleccionados.	58
Figura 63. Tres etapas, elaborado por el autor (2020).	59
Figura 64. Diagrama del Modelo de investigación	60

Figura 65. Principales temas por considerar.....	61
Figura 66. Desafío de Innovación de Productos Cradle to Cradle	61
Figura 67. Paradigma de la sostenibilidad.....	62
Figura 68. Naturaleza como herramienta de diseño.	64
Figura 69. Círculo sostenibilidad.....	64
Figura 70. Sistema de cubierta aislante doble capa y relleno.	65
Figura 71. Oficina Nacional Forestal, Costa Rica (2020).	66
Figura 72. Vidrio de bajas emisiones,	66
Figura 73. Arquitectura de consumo energético cero.....	67
Figura 74. ODS, Objetivos de Desarrollo Sostenible.	68
Figura 75. Gobernanza de los ODS, compromiso Costa Rica.	70
Figura 76. Proyecto nacional Auditorio NG.	71
Figura 77. Proyecto Internacional Catedral Cristo de la Luz.	72
Figura 78. Centro de San Rafael de Heredia, y ubicación de la propiedad.....	73
Figura 79. Resumen del clima promedio durante el año para San Rafael de Heredia, CR.	74
Figura 80. Diagrama de temperatura máxima y mínima promedio.	74
Figura 81. Vistas de la topografía típica de la zona geográfica	75
Figura 82. Plano de sitio y vista satelital del conjunto.	76
Figura 83. Proceso para alcanzar la Carbono Neutralidad.	76
Figura 84. Instalaciones del Centro Educativo Nueva Generación	77
Figura 85. Organización para el análisis y valoración de criterios.....	80
Figura 86. Expectativa de reducción y ahorro en cuatro parámetros de sostenibilidad,	80
Figura 87. Logotipo de algunos de los modelos de certificación de edificios sostenibles	81
Figura 88. Planta de distribución, niveles 1, 2 y 3.....	84
Figura 89. Planta de conjunto. Instalaciones deportivas existentes.....	84
Figura 90. Vista de Conjunto, superpuesta carta solar.	85
Figura 91. Vista de Conjunto.	85
Figura 92. Distribución de accesos y elementos en modelo 3D.....	85
Figura 94. Diagramas de Geotermia. Sistema para precalentar el agua de la piscina.	89
Figura 95. Climatización de piscina por paneles solares.	90

Figura 96. Sistema de cosecha, reuso y calentamiento del agua	90
Figura 97. AEROTERMIA (2020). Características del panel Sandwich Costa Rica.	91
Figura 97-b. AEROTERMIA (2020). Características del panel Sandwich Costa Rica.....	91
Figura 98. Fachada sur este, propuesta de modelo mejorado	92
Figura 99. Entradas de aire, Ventilación cruzada en cada ambiente.	92
Figura 100. Entradas de aire, Ventilación cruzada en cada ambiente.	93
Figura 101. Recorrido solar y aprovechamiento de los ciclos Passive House, vidrio low e.....	93
Figura 102. Vidrio low-e, de bajas emisiones.	94
Figura 103. Vidrio low-e. Vidrio de bajas emisiones. Sostenibilidad para todos. .	94
Figura 104. Ventanales con vidrio de capa dura para el control solar.	95
Figura 105. Levantamiento de la ubicación de edificios en el conjunto.....	95
Figura 106. Horas luz y crepúsculo.....	96
Figura 107. Software de análisis solar,	97
Figura 108. Modelado de sombras.....	97
Figura 109. Carta solar, muestra sobre la imagen satelital	98
Figura 110. Diagrama recorrido solar, para el sitio de proyecto.....	98
Figura 111. Velocidad Promedio del Viento en San Rafael de Heredia.	99
Figura 112. Dirección del viento en San Rafael de Heredia. (Weather , 2020)...	100
Figura 113. Configuración, ubicación, localización y clima	100
Figura 114. Climatología Información sobre el clima.	101
Figura 115. Información del clima.	101
Figura 116. Principales elementos del clima a valorar en la edificación	102
Figura 117. Recorrido solar en nuestra latitud 10° CR. Cientec (2019).	103
Figura 118. Criterios de evaluación para el diseño.	103
Figura 119. Vidrio low-e	104
Figura 120. Modelo Multicriterio proyecto base. Elaborado por el autor. (2019).	105
Figura 121. Evaluación Multicriterio, aplicado al edificio Auditorio NG.....	106
Figura 122. Modelo Multicriterio Modelo BASE ANG	107
Figura 123. Multicriterio proyecto base.	108
Figura 124. Multicriterio proyecto internacional.....	108

Figura 125. Sostenibilidad Físico Ambiental. Elaborado por el autor (2019).....	110
Figura 126. Sostenibilidad Socio Cultural. Elaborado por el autor. (2019).....	111
Figura 127. Sostenibilidad Económica Financiera.	113
Figura 128. Catedral Cristo de la Luz.	114
Figura 129. Sostenibilidad Físico Ambiental proyecto internacional.	114
Figura 130. Sostenibilidad Socio Cultural proyecto Internacional.	115
Figura 131. Sostenibilidad Económico-Financiera proyecto internacional.	116
Figura 132. Resultados multicriterio proyecto internacional,	116
Figura 133. Sostenibilidad socio cultural,	118
Figura 134. Sostenibilidad económico-financiera.....	120
Figura 135. Resultados modelo multicriterio proyecto internacional	121
Figura 136. Aplicación del modelo multicriterio.	121
Figura 137. Aplicación de evaluación multicriterio	124
Figura 138. Resumen evaluación Multicriterio aplicada al proyecto Auditorio Nueva Generación	124
Figura 139. Evaluación multicriterio.	125
Figura 140. Propuesta de mejora.....	125
Figura 141. Criterios de mejora, implementación, innovación y adecuación que inciden en la calificación del proyecto bajo estándares de sostenibilidad.	126
Figura 142. Selección y evaluación de la obra de referencia, proyecto base y propuesta de proyecto mejorado.....	127
Figura 143. Evaluación Edge.	131
Figura 144. Diagrama de distribución funcional del proyecto.....	132
Figura 145. Vistas de distribución por niveles;.....	133
Figura 146. Planta de distribución arquitectónica primer nivel Gimnasio, segundo nivel Servicios, tercer nivel Auditorio y Talleres.	134
Figura 147. Planta de distribución arquitectónica primer nivel Gimnasio, segundo nivel Servicios, tercer nivel Auditorio y Talleres.	135
Figura 148. Sección y elevación de proyecto base,	136
Figura 149. Sección con distribución propuesta de los espacios y muestra del modelo.	137
Figura 150. Elevaciones del edificio base	138
Figura 151. Fachada Sur Este, y diagrama de ventilación cruzada.	138
Figura 152. Aplicación de estructura en madera técnica laminada estructural. ..	140

Figura 153. Vistas de la edificación en construcción, según modelo base. Estructura metálica en secciones tubulares de acero	141
Figura 154. Sección transversal; muestra gimnasio y Auditorio.....	141
Figura 155. Sección Transversal, por gimnasio, escaleras, servicios sanitarios y vestíbulo de Auditorio.....	142
Figura 156. Sección Longitudinal, gimnasio, Auditorio y talleres	143
Figura 157. Estrategias de diseño.	143
Figura 158. Sistema de fachada ventilada.	144
Figura 159. Propuesta mejorada, cubierta curva con aislante	144
Figura 160. Estrategias de mejora	145
Figura 161. Estrategias de mejora.	146
Figura 162. Estrategias de mejora.	146
Figura 163. Criterios de estrategia para la mejora.	147
Figura 164. Sección muestra disposición de acabado de cielo acústico para el Auditorio.....	147
Figura 165. Aislamiento térmico. Materiales y sus características.	148
Figura 166. Aislamiento térmico.....	148
Figura 167. Vista aérea gimnasio existente	149
Figura 168. Selección de acabados internos.	150
Figura 169. Materiales de envolvente,	150
Figura 170. Materiales de envolvente,	151
Figura 171. Propuesta mejorada del Auditorio	152
Figura 172. Estudio de acústica e isóptica o visual desde el punto del observador. (Rodríguez M. , 2009).	153
Figura 173. Diagrama de trabajo, conclusiones y hallazgos	155
Figura 174. Cuadro de Programación de obra, en la etapa de ejecución	155
Figura 175. Diagrama organizacional de la obra.....	158
Figura 176. Primera sección conclusiones de análisis multicriterio.....	164
Figura 177. Segunda sección conclusiones de análisis multicriterio.....	164
Figura 178. Tercera sección Conclusiones de análisis multicriterio.	165
Figura 179. Diagrama de conclusiones. Elaborado por el autor (2019).	165
Figura 180. Diagrama de conclusiones.....	166
Figura 181. Diagrama de conclusiones.....	167
Figura 182. Proceso de construcción en año 2019.	167

Figura 183. Propuesta arquitectónica del proyecto para la mejora,	168
Figura 184. Aplicación de materiales. Modelo de propuesta de mejora.....	168
Figura 185. Aplicación de materiales	169
Figura 186. Aplicación de materiales.	170
Figura 187. Vistas del edificio propuesto para la mejora.....	170
Figura 188. Vistas del edificio propuesto para la mejora.....	171
Figura 189. Vistas del edificio propuesto para la mejora.....	171
Figura 190. Vistas del edificio propuesto para la mejora.....	172
Figura 191 Vistas del edificio propuesto para la mejora.....	172
Figura 192. Vistas del edificio propuesto para la mejora.....	173
Figura 193. Vistas del edificio propuesto para la mejora.....	173
Figura 194. Vistas del edificio propuesto para la mejora.....	174
Figura 195. Vigas de madera laminada (Plataforma Arquitectura, 2019), Centro Convenciones de Costa Rica. (Esencial Costa Rica, 2020).....	181
Figura 196. Hotel Papagayo y Hotel Andaz en Costa Rica, Guanacaste. Zurcher Arquitectos	182
Figura 197. En Noruega, se construye un rascacielos de madera.	184
Figura 198. Sección de madera estructural laminada, y aplicación en un modelo de cubierta con apoyos a los extremos.	186
Figura 199. Sección de estructura de grandes luces entre apoyos. (Forestal Maderero, 2017).....	186
Figura 200. Vigas curvas de madera laminada.	187
Figura 201. Modelado de la madera estructural realizando una curva en planta de proceso.	187
Figura 202. Detalle constructivo nudos en madera laminada. (Lanname UCR, 2015).....	188
Figura 203. Madera laminada cruzada CLT. (Storaenso, 2020).	189
Figura 204. Estructura de entramados en madera laminada. (Timber, 2020).....	189
Figura 205. Marcos estructurales para grandes luces en madera laminada.	190
Figura 206. Centro de Capacitación Indígena Kăpäclăjui / Entre Nos Atelier. 2014.	190
Figura 207. Estructura en madera laminada	191
Figura 208. Apoyos y nudos en madera laminada. (Lanname UCR, 2015).	191
Figura 209. Estructura en madera laminada.	192

Figura 210. Fabricación en taller de elementos estructurales de madera laminada. (egoing, 2020).	192
Figura 211. Ubicación en Hoja URICHE 1:10000, Fuente: catastro 2018.	195
Figura 212. Planta de Conjunto.	195
Figura 213. Vista de conjunto de las instalaciones.	196
Figura 214. Planta de conjunto. Instalaciones deportivas existentes.	197
Figura 215. Estaciones meteorológicas cercanas al sitio de proyecto. (IMN, 2020).	197
Figura 216. Paisaje cercano y lejano en las inmediaciones de la instalación	198
Figura 217. Carta solar Costa Rica, (Weather , 2020).	199
Figura 218. Software de análisis solar. (Marsh, 2020).	200
Figura 219. Diagrama del movimiento aparente del sol. (Marsh, 2020)	201
Figura 220. Proyección de Sombras fachada noreste.	201
Proyección de sombras fachada suroeste.	202
Figura 221. Proyección de sombras, vista superior.	202
Figura 222. Instalaciones educativas existentes y propuesta preliminar para Auditorio.	203
Figura 223. Protección con árboles en patio interno para brindar sombra, ajustar la temperatura y humedad.	204
Figura 224. Dirección general del viento continental y mundial sobre Costa Rica.	205
Figura 225. Dirección predominante del viento	205
Figura 226. Frecuencia y dirección del viento.	206
Figura 227. Diagrama resumen del clima 2020,	207
Figura 228. Diagramas de datos meteorológicos.	209
Figura 229. Mapa: tipos de clima en Costa Rica.	210
Figura 230. Tratamiento vegetal ornamental en el sitio.	210
Figura 231. Diagrama evaluación de la conveniencia de colocar vegetación cercana al edificio.	211
Figura 232. Incorporar vegetación en el diseño.	212
Figura 233. Moderación del viento con vegetación. Elaborado por el autor (2019).	213
Figura 234. Construcción de estructura metálica	214
Figura 235. Control de la incidencia del sol y viento	215

Figura 236. La ventilación natural	216
Figura 237. Modelo de respuesta a la ventilación cruzada.	216
Figura 238. Vista en planta, modelo bioclimático, ventilación cruzada,	217
Figura 239. Planta de distribución arquitectónica,.....	218
Figura 240. Plantas de distribución, se señalan las rutas de paso del viento predominante.	219
Figura 241. Sección arquitectónica propuesta, Gimnasio y Auditorio.	219
Figura 242. Análisis bioclimático, propuesta ventilación cruzada y monitor de techo.	220
Figura 243. Sección arquitectónica propuesta, gimnasio y Auditorio,	220
Figura 244. Detalle monitor	221
Figura 245. Porcentaje de ventilación según diferentes tipos de partición en ventanas.	222
Figura 246. La ubicación de las ventanas no directamente opuestas provoca la mejor distribución del aire ventilando el área, refrescando con aire de mejor calidad.	222
Figura 247. Ensamble de vidriado en ventanas para la protección solar. (Ventanas eficientes, 2020).....	223
Figura 249. Un entre cielo cerrado.....	224
Figura 250. Es necesario provocar ventilación al interior del cielo raso.....	225
Figura 252. Ventilación de entretecho.....	226
Figura 253. Soluciones alternativas de sombreado en corredores perimetrales.	227



Autorización para digitalización y comunicación pública de Trabajos Finales de Graduación del Sistema de Estudios de Posgrado en el Repositorio Institucional de la Universidad de Costa Rica.

Yo, Marco Antonio Cordero Rodríguez, con cédula de identidad 105710627, en mi condición de autor del TFG titulado "Soluciones Constructivas con Técnicas Avanzadas: propuesta de mejora para un proyecto arquitectónico"

Autorizo a la Universidad de Costa Rica para digitalizar y hacer divulgación pública de forma gratuita de dicho TFG a través del Repositorio Institucional u otro medio electrónico, para ser puesto a disposición del público según lo que establezca el Sistema de Estudios de Posgrado. SI NO *

*En caso de la negativa favor indicar el tiempo de restricción: _____ año (s).

Este Trabajo Final de Graduación será publicado en formato PDF, o en el formato que en el momento se establezca, de tal forma que el acceso al mismo sea libre, con el fin de permitir la consulta e impresión, pero no su modificación.

Manifiesto que mi Trabajo Final de Graduación fue debidamente subido al sistema digital Kerwá y su contenido corresponde al documento original que sirvió para la obtención de mi título, y que su información no infringe ni violenta ningún derecho a terceros. El TFG además cuenta con el visto bueno de mi Director (a) de Tesis o Tutor (a) y cumplió con lo establecido en la revisión del Formato por parte del Sistema de Estudios de Posgrado.

INFORMACIÓN DEL ESTUDIANTE:

Nombre Completo: Marco Antonio Cordero Rodríguez

Número de Carné: 790950 Número de cédula: 105710627

Correo Electrónico: Arquitecto.mcordero@gmail.com

Fecha: 14 abril 2021 Número de teléfono: 88067554

Nombre del Director (a) de Tesis o Tutor (a): Mag. Arq. Luis Alberto Monge Calvo

FIRMA ESTUDIANTE

Nota: El presente documento constituye una declaración jurada, cuyos alcances aseguran a la Universidad, que su contenido sea tomado como cierto. Su importancia radica en que permite abreviar procedimientos administrativos, y al mismo tiempo genera una responsabilidad legal para que quien declare contrario a la verdad de lo que manifiesta, puede como consecuencia, enfrentar un proceso penal por delito de perjurio, tipificado en el artículo 318 de nuestro Código Penal. Lo anterior implica que el estudiante se vea forzado a realizar su mayor esfuerzo para que no sólo incluya información veraz en la Licencia de Publicación, sino que también realice diligentemente la gestión de subir el documento correcto en la plataforma digital Kerwá.

Introducción

Este documento introduce el trabajo preparado en el Taller de la Maestría en Arquitectura y Construcción: Soluciones constructivas con técnicas avanzadas; ofrecido en la Escuela de Arquitectura de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de Costa Rica; durante el segundo semestre del año 2018, donde se prepara el Trabajo Final de Posgrado.

El tema de investigación se encuentra relacionado con la constructividad y la sostenibilidad de las edificaciones para su aplicabilidad en el entorno del desarrollo arquitectónico de Costa Rica, mediante la aplicación de técnicas de análisis comparativo entre proyectos internacionales, seleccionados por destacar en innovación del modelo arquitectónico, así como en la innovación tecnológica en soluciones de avanzada para la estructura constructiva y la integración de sistemas sostenibles.



Figura 1. Modelo Multicriterio. *Estructura conceptual el modelo de evaluación multicriterio.* (Ramírez E. , 2012).

La propuesta pasa por realizar la base de evaluación multicriterio, tomando los pares temáticos para luego realizar el análisis desde la interacción de tres cuerpos de integración, que se dirigen hacia un resultado de viabilidad y sustentabilidad, conformando así una herramienta para la toma de decisiones en el ciclo de vida de proyectos para la construcción de nuevas edificaciones, donde se toma en consideración el ciclo de vida en la construcción sostenible, desde el nacimiento de la idea, pasa por el análisis de viabilidad, propuestas, diseño, ejecución de obra, entrada en operación, readecuación, final de la vida útil y demolición o reciclado, sea de edificios, espacios o sus materiales.

El documento se ha organizado en tres secciones: la primera sección es de carácter introductoria, en la que se presenta la información general de la investigación aplicada, con las edificaciones seleccionadas y la evaluación previa.

En la segunda sección se desarrolla la configuración del proyecto, tomando en cuenta las consideraciones de análisis crítico y técnico del par de edificios seleccionados como base del trabajo de aplicación del modelo multicriterio y ensayo sobre la aplicabilidad hacia la innovación.

En la tercera sección se aborda la evaluación de la propuesta, la validación de resultados, así como la selección de escenarios para la mejora de las condiciones de viabilidad y sostenibilidad, por lo que se presenta en modo comparativo, la base de evaluación inicial y la aplicación de mejoras al modelo seleccionado, por calibración y aplicación del modelo multicriterio.

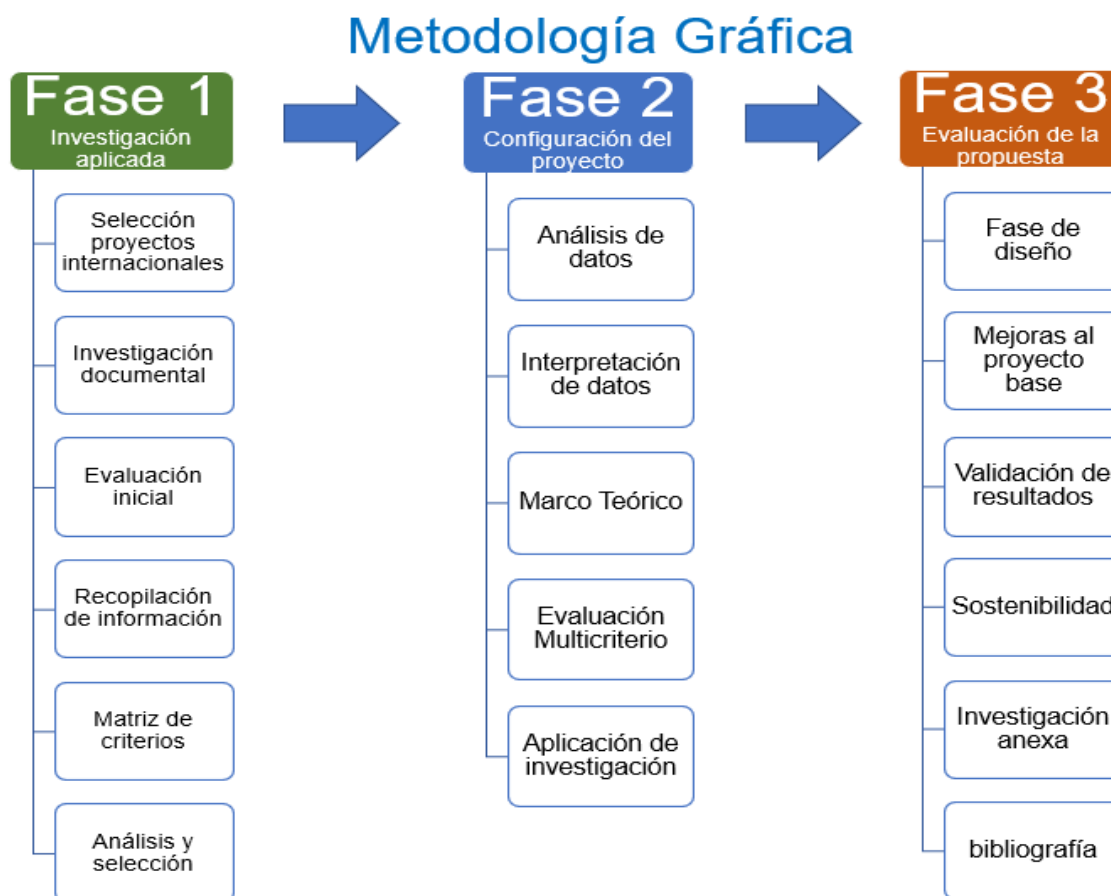


Figura 2. Diagrama de metodología de investigación. Elaborado por el autor, 2019.

1. Antecedentes

Evaluación y estudio de casos

En esta sección se realiza la propuesta de un conjunto de proyectos de reciente data, a los cuales se les aplica el análisis y evaluación de selección, para escoger y desarrollar un estudio de caso internacional, con el fin de contrastar en el análisis con un estudio de caso de un proyecto personal.

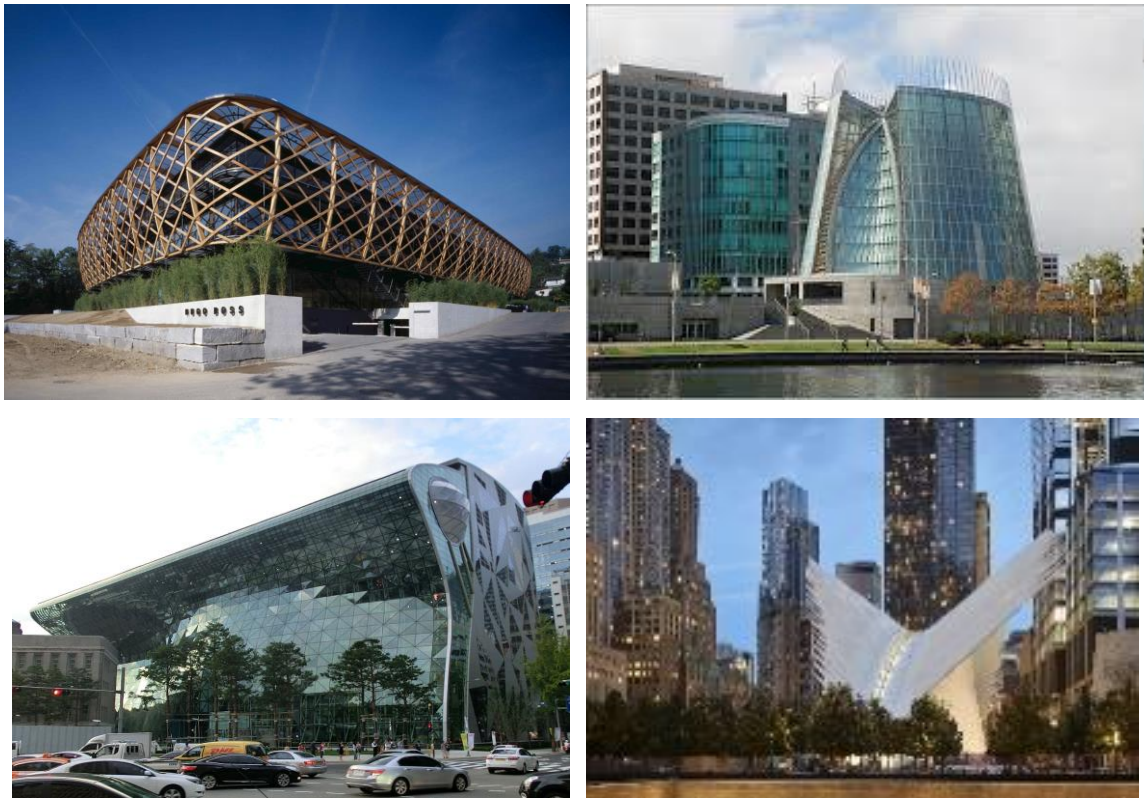


Figura 3. Proyectos Internacionales. (Thun, 2006), (Hartman, 2008), (Kerl, 2013), (Calatrava, 2016)

Se analizan las opciones de proyectos internacionales se analizan con base en criterios de su contenido y desarrollo, donde sobresalen por la propuesta de diseño arquitectónico, emplazamiento, impacto en el entorno, integración de modelos estructurales y constructivos con materiales y técnicas novedosas, entre otros, así como el acceso a información relevante del proyecto en publicaciones que se encuentran en la red internet, libros, revistas y entrevistas, principalmente.



Figura 4. Proyectos internacionales y nacionales. HSQ (2011), ANG (2018) (Stotut, 2014), (CCSS, 2013).

1.1 Criterios de selección y evaluación inicial

1. Periodo de diseño, construcción y operación en la década 2008 – 2018
2. Ubicación del proyecto en contexto internacional, fuera de Centro América.
3. Sobresaliente diseño arquitectónico, estructural y de sistemas
4. Enmarcado en una propuesta de sostenibilidad ambiental.
5. Sistema constructivo de avanzada tecnología y uso de materiales.
6. Muestra avances tecnológicos en componentes de infraestructura
7. Integración de soluciones pasivas para control del clima e iluminación natural
8. Información accesible sobre autor, promotor, plantas de distribución, secciones.
9. Información técnica accesible, costos, tiempos, materiales, constructores.

Criterios de evaluación: modelado de la matriz Excel para facilitar el análisis de datos, se ponderan valores que permitan diferencias características para calificar y valorar los proyectos seleccionados, de manera que facilite seleccionar objetivamente aquel que se

adapte al tipo de investigación, valoración y que colabore para realizar el ejercicio comparativo con el proyecto nacional seleccionado.

El modelo de evaluación se basa en valores técnicos sobre el diseño, la estructura, los materiales y la construcción.

Técnica	Alcance Promedio del Proyecto	Estructural Primario	Elementos de fachada	Sistema de cubierta	Eficiencia Energética	Tecnología
El diseño de implementación del sistema a nivel constructivo requiere de profesionales altamente especializados.	88,00%	10	8	6	10	10
El diseño del sistema requiere de procesos de fabricación de alta tecnología o experimentales.	68,00%	6	6	6	10	6
El diseño de implementación del sistema constructivo está compuesto de materiales poco convencionales que sean de difícil acceso ya sea por su especificidad o alta demanda.	64,00%	6	6	4	8	8
Es necesario la asistencia de sistemas informáticos especializados para su diseño, tanto a nivel arquitectónico como estructural.	64,00%	8	6	4	8	6
Existe información accesible respecto a los procesos de control de calidad para la escogencia y especificación de materiales así como aspectos críticos en su diseño.	72,00%	10	4	6	8	8
Seguridad contra el fuego	88,00%	10	8	10	8	8
Al ser aplicado este sistema, existe alguna variable técnico legal que no este contemplada en el marco normativo costarricense.	60,00%	8	2	6	6	8
Se requieren de altos niveles de especificación para poder implementar el diseño.	60,00%	8	6	4	6	6
Es necesario el análisis amplio de detalles constructivos tanto arquitectónicos como estructurales.	76,00%	8	8	6	8	8
		82,22%	60,00%	57,78%	80,00%	75,56%
	71,11%	Alcance por variable				

Figura 5. Modelo para la evaluación de proyectos internacionales seleccionados. Elaborado por el autor (2019).

La selección de proyectos para estudios se inicia con un recorrido virtual en el escenario de publicaciones, accesible en la red internet, para lo cual se realiza una vista a proyectos de arquitectos de renombre, tomando en cuenta las siguientes consideraciones.

1. Información accesible desde la internet: arquitectura del siglo XXI
2. Proyectos de arquitectos o firmas de arquitectos de renombre internacional
3. Realizados en la década reciente
4. Edificaciones galardonadas
5. Edificaciones que cuentan con certificación de sostenibilidad
6. Accesibilidad a la información descriptiva y técnica del proyecto
7. Muestra de técnicas constructivas sobresalientes por materiales
8. Afinidad de aplicación a nuestro medio

Con base en estos criterios iniciales, se procedió a realizar un primer barrido de información, donde luego de ubicar algunos prospectos, se preparó la selección.

ENTORNO NATURAL				ENTORNO ARTIFICIAL
Paisaje Natural Dominante	Paisaje Natural Modificado		Paisaje Artificial Dominante	
1	2	3	4	5
Obra: Hugo Boss Competence Center	Obra: Catedral de Cristo de la Luz	Obra: Ayuntamiento de Seúl	Obra: Oculus, NY	Obra: GAA Galería de Arte Alberta
Arquitectos: Matteo Thun & Partners, Milan, Ing. Estructural Merz Kley	Arquitectos: Skidmore, Owing y Merrill (SOM), junto a Craig Hartman.	Arquitectos: Yoo Kerl de iArc Architects	Arquitecto: Santiago Calatrava	Arquitecto: Randall Stout
Ubicación: Coldrerio, Suiza	Ubicación: Oakland, California, USA	Ubicación: Seúl, Corea del Sur	Ubicación: New York, USA	Ubicación: Alberta, Canadá.
Realización: 2006	Realización: 2008	Realización: 2013	Realización: 2015	Realización: 2010
				
Inversión: \$20 millones	Inversión: \$80 millones	Inversión: \$200 millones	Inversión: \$4BLL	Inversión: \$88 millones
Dimensión: 1,045m ²	Dimensión: 68,000m ²	Dimensión: 7.590m ²	Dimensión: 88m x 29 m	Dimensión: 7,800m ²
Altura: 12 m 2+3 niveles	Altura: 40m 3 a 5 niveles	Altura: 40 m 5 a 13 niveles	Altura: 24m a 42m -5 niveles	Altura: 5 niveles
Materiales: Madera laminada Lonas tensadas	Materiales: Madera laminada Vidrio e inteligente	Materiales: Acero Vidrio e Jardines verticales	Materiales: Acero paramétrico Paneles vidrio Mármol	Materiales: Acero Inoxidable Vidrio e
Premios:	Premios: 2003 a 2008	Premios:	Premios: 2016	Premios: 2009 a 2011
Publicaciones: 2008	Publicaciones: 2009	Publicaciones: 2010	Publicaciones: 2016	Publicaciones: 2011 a 2013
Altura: 12 m	Altura: 40 m	Altura: 40 m	Altura: 30 m	Altura: 20 m

Figura 6. Evaluación inicial a los proyectos seleccionados. Elaborado por el autor (2019). Proyectos Internacionales y nacionales. HSQ (2011), ANG (2018) (Stotut, 2014), (CCSS, 2013), (Thun, 2006), (Hartman, 2008), (Kerl, 2013), (Calatrava, 2016).

Seguidamente, se establece la ponderación por nivel de incidencia del criterio en la obra y con respecto a las otras, de manera que se pueda valorar como un elemento obtiene mayor o menor desarrollo para determinar cuál de las obras preseleccionadas sobresale con respecto a las otras y así escoger el par de obras por trabajar en la siguiente investigación, orientada a mejorar un proyecto nacional.

La rúbrica por numeración o valor de menor a mayor define la estrategia de obtener un puntaje que, al ser mayor para una u otra obra, permite conocer cuál es superior en su desarrollo.

Valor	0	2	4	6	8	10
Color						

Rúbrica evaluación de proyectos seleccionados. Elaborado por el autor (2019).

Los criterios para evaluar se han propuesto como sigue:

1. El diseño e implementación del sistema a nivel constructivo requiere de profesionales altamente especializados.
2. El diseño del sistema requiere de procesos de fabricación de alta tecnología o experimentales.
3. El diseño e implementación del sistema constructivo está compuesto de materiales poco convencionales, de difícil acceso ya sea por su especificidad o alta demanda.
4. Es necesario la asistencia de sistemas informáticos especializados para su diseño, tanto a nivel arquitectónico como estructural.
5. Existe información accesible respecto a los procesos de control de calidad para la escogencia y especificación de materiales, así como aspectos críticos en su diseño
6. Seguridad contra el fuego
7. Al ser aplicable este sistema, existe alguna variable técnico legal que no esté contemplada en el marco normativo internacional
8. Se requieren altos niveles de especificación para poder implementar el diseño
9. Es necesario el estudio exhaustivo de detalles constructivos, tanto arquitectónicos como estructurales.

Luego estos criterios se evalúan y puntúan según sea:

- a. Estructural primario
- b. Elementos de fachada
- c. Sistema de cubierta
- d. Eficiencia energética

e. Tecnología

Proyecto 1 Competence Center	Técnica	Alcance Promedio del Proyecto	Estructural Primario	Elementos de fachada	Sistema de cubierta	Eficiencia Energética	Tecnología
	El diseño de implementación del sistema a nivel constructivo requiere de profesionales altamente especializados.	72,00%	6	8	8	8	6
	El diseño del sistema requiere de procesos de fabricación de alta tecnología o experimentales.	60,00%	4	6	6	8	6
	El diseño de implementación del sistema constructivo está compuesto de materiales poco convencionales que sean de difícil acceso ya sea por su especificidad o alta demanda.	52,00%	2	6	6	6	6
	Es necesaria la asistencia de sistemas informáticos especializados para su diseño, tanto a nivel arquitectónico como estructural.	60,00%	6	8	8	4	4
	Existe información accesible respecto a los procesos de control de calidad para la escogencia y especificación de materiales así como aspectos críticos en su diseño.	76,00%	8	8	8	8	6
	Seguridad contra el fuego	88,00%	10	10	10	8	6
	Al ser aplicado este sistema, existe alguna variable técnico legal que no este contemplada en el marco normativo costarricense.	72,00%	10	6	6	8	6
	Se requieren de altos niveles de especificación para poder implementar el diseño.	64,00%	6	8	6	6	6
	Es necesario el análisis amplio de detalles constructivos tanto arquitectónicos como estructurales.	68,00%	6	8	6	8	6
		64,44%	75,56%	71,11%	71,11%	57,78%	
	68,00%	Alcance por variable					

Proyecto 2 Catedral Cristo de la Luz	Técnica	Alcance Promedio del Proyecto	Estructural Primario	Elementos de fachada	Sistema de cubierta	Eficiencia Energética	Tecnología
	El diseño he implementación del sistema a nivel constructivo requiere de profesionales altamente especializados.	96,00%	10	10	8	10	10
	El diseño del sistema requiere de procesos de fabricación de alta tecnología o experimentales.	96,00%	10	10	8	10	10
	El diseño he implementación del sistema constructivo está compuesto de materiales poco convencionales que sean de difícil acceso ya sea por su especificidad o alta demanda.	68,00%	8	8	6	6	6
	Es necesara la asistencia de sistemas informáticos especializados para su diseño, tanto a nivel arquitectónico como estructural.	72,00%	8	8	8	6	6
	Existe información accesible respecto a los procesos de control de calidad para la escogencia y especificación de materiales así como aspectos críticos en su diseño.	72,00%	8	8	6	8	6
	Seguridad contra el fuego	96,00%	10	10	10	10	8
	Al ser aplicado este sistema, existe alguna variable técnico legal que no este contemplada en el marco normativo costarricense.	80,00%	10	6	8	8	8
	Se requieren de altos niveles de especificación para poder implementar el diseño.	72,00%	8	10	6	6	6
	Es necesario el análisis amplio de detalles constructivos tanto arquitectónicos como estructurales.	80,00%	8	10	6	8	8
			88,89%	88,89%	73,33%	80,00%	75,56%
	81,33%	Alcance por variable					

Proyecto 3 Ayunamiento Seul	Técnica	Alcance Promedio del Proyecto	Estructural Primario	Elementos de fachada	Sistema de cubierta	Eficiencia Energética	Tecnología
	El diseño he implementación del sistema a nivel constructivo requiere de profesionales altamente especializados.	88,00%	10	10	6	10	8
	El diseño del sistema requiere de procesos de fabricación de alta tecnología o experimentales.	76,00%	6	10	6	8	8
	El diseño he implementación del sistema constructivo está compuesto de materiales poco convencionales que sean de difícil acceso ya sea por su especificidad o alta demanda.	64,00%	4	8	6	8	6
	Es necesara la asistencia de sistemas informáticos especializados para su diseño, tanto a nivel arquitectónico como estructural.	68,00%	10	8	2	8	6
	Existe información accesible respecto a los procesos de control de calidad para la escogencia y especificación de materiales así como aspectos críticos en su diseño.	56,00%	6	6	2	8	6
	Seguridad contra el fuego	72,00%	8	8	6	6	8
	Al ser aplicado este sistema, existe alguna variable técnico legal que no este contemplada en el marco normativo costarricense.	72,00%	10	6	6	8	6
	Se requieren de altos niveles de especificación para poder implementar el diseño.	64,00%	8	8	4	8	4
	Es necesario el análisis amplio de detalles constructivos tanto arquitectónicos como estructurales.	60,00%	8	2	8	4	8
			77,78%	73,33%	51,11%	75,56%	66,67%
	68,89%	Alcance por variable					

Proyecto 4 Oculus New York	Técnica	Alcance Promedio del Proyecto	Estructural Primario	Elementos de fachada	Sistema de cubierta	Eficiencia Energética	Tecnología
	El diseño de implementación del sistema a nivel constructivo requiere de profesionales altamente especializados.	100,00%	10	10	10	10	10
	El diseño del sistema requiere de procesos de fabricación de alta tecnología o experimentales.	100,00%	10	10	10	10	10
	El diseño de implementación del sistema constructivo está compuesto de materiales poco convencionales que sean de difícil acceso ya sea por su especificidad o alta demanda.	88,00%	10	10	8	8	8
	Es necesaria la asistencia de sistemas informáticos especializados para su diseño, tanto a nivel arquitectónico como estructural.	80,00%	10	10	8	6	6
	Existe información accesible respecto a los procesos de control de calidad para la escogencia y especificación de materiales así como aspectos críticos en su diseño.	84,00%	10	10	6	10	6
	Seguridad contra el fuego	100,00%	10	10	10	10	10
	Al ser aplicado este sistema, existe alguna variable técnico legal que no este contemplada en el marco normativo costarricense.	80,00%	10	6	8	8	8
	Se requieren de altos niveles de especificación para poder implementar el diseño.	72,00%	8	10	6	6	6
	Es necesario el análisis amplio de detalles constructivos tanto arquitectónicos como estructurales.	84,00%	10	10	6	8	8
			97,78%	95,56%	80,00%	84,44%	80,00%
	87,56%	Alcance por variable					

Proyecto 5 Museo Alberta	Técnica	Alcance Promedio del Proyecto	Estructural Primario	Elementos de fachada	Sistema de cubierta	Eficiencia Energética	Tecnología
	El diseño de implementación del sistema a nivel constructivo requiere de profesionales altamente especializados.	100,00%	10	10	10	10	10
	El diseño del sistema requiere de procesos de fabricación de alta tecnología o experimentales.	100,00%	10	10	10	10	10
	El diseño de implementación del sistema constructivo está compuesto de materiales poco convencionales que sean de difícil acceso ya sea por su especificidad o alta demanda.	84,00%	10	10	6	8	8
	Es necesaria la asistencia de sistemas informáticos especializados para su diseño, tanto a nivel arquitectónico como estructural.	84,00%	10	10	8	8	6
	Existe información accesible respecto a los procesos de control de calidad para la escogencia y especificación de materiales así como aspectos críticos en su diseño.	64,00%	8	6	6	6	6
	Seguridad contra el fuego	92,00%	10	10	10	10	6
	Al ser aplicado este sistema, existe alguna variable técnico legal que no este contemplada en el marco normativo costarricense.	76,00%	10	6	8	8	6
	Se requieren de altos niveles de especificación para poder implementar el diseño.	80,00%	8	10	6	6	10
	Es necesario el análisis amplio de detalles constructivos tanto arquitectónicos como estructurales.	84,00%	8	10	10	8	6
			93,33%	91,11%	82,22%	82,22%	75,56%
	84,89%	Alcance por variable					

Proyecto 6 Parlamento Escocia	Técnica	Alcance Promedio del Proyecto	Estructural Primario	Elementos de fachada	Sistema de cubierta	Eficiencia Energética	Tecnología
	El diseño de implementación del sistema a nivel constructivo requiere de profesionales altamente especializados.	84,00%	10	6	8	10	8
	El diseño del sistema requiere de procesos de fabricación de alta tecnología o experimentales.	68,00%	8	6	8	6	6
	El diseño de implementación del sistema constructivo está compuesto de materiales poco convencionales que sean de difícil acceso ya sea por su especificidad o alta demanda.	56,00%	6	4	8	6	4
	Es necesaria la asistencia de sistemas informáticos especializados para su diseño, tanto a nivel arquitectónico como estructural.	64,00%	8	6	4	6	8
	Existe información accesible respecto a los procesos de control de calidad para la escogencia y especificación de materiales así como aspectos críticos en su diseño.	60,00%	6	4	8	6	6
	Seguridad contra el fuego	72,00%	8	6	8	8	6
	Al ser aplicado este sistema, existe alguna variable técnico legal que no este contemplada en el marco normativo costarricense.	68,00%	10	8	6	6	4
	Se requieren de altos niveles de especificación para poder implementar el diseño.	72,00%	8	10	8	6	4
	Es necesario el análisis amplio de detalles constructivos tanto arquitectónicos como estructurales.	84,00%	10	6	10	8	8
		82,22%	62,22%	75,56%	68,89%	60,00%	
	69,78%	Alcance por variable					

Proyecto 7 RADIOTERAPIA HMX	Técnica	Alcance Promedio del Proyecto	Estructural Primario	Elementos de fachada	Sistema de cubierta	Eficiencia Energética	Tecnología
	El diseño de implementación del sistema a nivel constructivo requiere de profesionales altamente especializados.	72,00%	6	8	4	8	10
	El diseño del sistema requiere de procesos de fabricación de alta tecnología o experimentales.	64,00%	4	6	6	8	8
	El diseño de implementación del sistema constructivo está compuesto de materiales poco convencionales que sean de difícil acceso ya sea por su especificidad o alta demanda.	52,00%	2	6	2	8	8
	Es necesaria la asistencia de sistemas informáticos especializados para su diseño, tanto a nivel arquitectónico como estructural.	52,00%	6	6	2	6	6
	Existe información accesible respecto a los procesos de control de calidad para la escogencia y especificación de materiales así como aspectos críticos en su diseño.	76,00%	8	6	8	8	8
	Seguridad contra el fuego	92,00%	10	8	8	10	10
	Al ser aplicado este sistema, existe alguna variable técnico legal que no este contemplada en el marco normativo costarricense.	48,00%	10	2	2	2	8
	Se requieren de altos niveles de especificación para poder implementar el diseño.	52,00%	4	6	2	6	8
	Es necesario el análisis amplio de detalles constructivos tanto arquitectónicos como estructurales.	72,00%	8	6	6	8	8
		64,44%	60,00%	44,44%	71,11%	82,22%	
	64,44%	Alcance por variable					

Técnica	Alcance Promedio del Proyecto	Estructural Primario	Elementos de fachada	Sistema de cubierta	Eficiencia Energética	Tecnología	
Proyecto 8 MALL SAN CARLOS	El diseño he implementación del sistema a nivel constructivo requiere de profesionales altamente especializados.	60,00%	6	8	4	6	6
	El diseño del sistema requiere de procesos de fabricación de alta tecnología o experimentales.	48,00%	4	4	6	6	4
	El diseño he implementación del sistema constructivo está compuesto de materiales poco convencionales que sean de difícil acceso ya sea por su especificidad o alta demanda.	32,00%	2	4	2	4	4
	Es necesara la asistencia de sistemas informáticos especializados para su diseño, tanto a nivel arquitectónico como estructural.	44,00%	6	6	2	4	4
	Existe información accesible respecto a los procesos de control de calidad para la escogencia y especificación de materiales así como aspectos críticos en su diseño.	60,00%	8	6	6	6	4
	Seguridad contra el fuego	76,00%	10	4	10	8	6
	Al ser aplicado este sistema, existe alguna variable técnico legal que no este contemplada en el marco normativo costarricense.	44,00%	10	2	2	2	6
	Se requieren de altos niveles de especificación para poder implementar el diseño.	52,00%	6	4	4	6	6
	Es necesario el análisis amplio de detalles constructivos tanto arquitectónicos como estructurales.	60,00%	8	4	4	8	6
			66,67%	46,67%	44,44%	55,56%	51,11%
	52,89%	Alcance por variable					
Proyecto 9 Auditorio NG	El diseño he implementación del sistema a nivel constructivo requiere de profesionales altamente especializados.	88,00%	10	8	6	10	10
	El diseño del sistema requiere de procesos de fabricación de alta tecnología o experimentales.	68,00%	6	6	6	10	6
	El diseño he implementación del sistema constructivo está compuesto de materiales poco convencionales que sean de difícil acceso ya sea por su especificidad o alta demanda.	64,00%	6	6	4	8	8
	Es necesara la asistencia de sistemas informáticos especializados para su diseño, tanto a nivel arquitectónico como estructural.	64,00%	8	6	4	8	6
	Existe información accesible respecto a los procesos de control de calidad para la escogencia y especificación de materiales así como aspectos críticos en su diseño.	72,00%	10	4	6	8	8
	Seguridad contra el fuego	88,00%	10	8	10	8	8
	Al ser aplicado este sistema, existe alguna variable técnico legal que no este contemplada en el marco normativo costarricense.	60,00%	8	2	6	6	8
	Se requieren de altos niveles de especificación para poder implementar el diseño.	60,00%	8	6	4	6	6
	Es necesario el análisis amplio de detalles constructivos tanto arquitectónicos como estructurales.	76,00%	8	8	6	8	8
			82,22%	60,00%	57,78%	80,00%	75,56%
	71,11%	Alcance por variable					

Figura 7. Multicriterio selección de obras a evaluar en la comparación. Elaborado por autor (2019).

Uno a uno se somete cada uno, de los proyectos a una matriz de evaluación de criterios arquitectónicos con énfasis en la sostenibilidad, así se obtiene un resultado donde el mayor porcentaje brinda una calificación con la cual se selecciona uno de los proyectos como el de mayor viabilidad para el éxito, y que se utilizará para el comparativo con un proyecto nacional o local.

Para el caso de estudio se ha seleccionado al edificio del proyecto **Catedral Cristo de la Luz**, por haber obtenido mayor puntaje en la propuesta de calificación (81.33%).

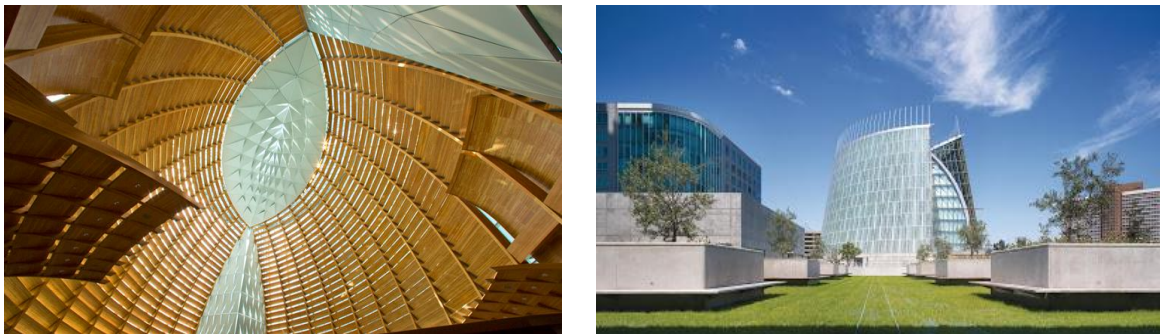


Figura 8. Catedral Cristo de la Luz. (S.O.M., 2008).

Este edificio será comparado con el proyecto nacional **Auditorio NG**, (71.11%) con la expectativa de aplicar mejoras en la conceptualización de la estructura y las envolventes, además de los criterios de certificación en el uso de técnicas bioclimáticas pasivas para el control del asoleamiento y proporcionar condiciones naturales de ventilación e iluminación, donde, inclusive, se resaltan las cualidades de los materiales con reducida huella ecológica, no producción de gases efecto invernadero, integración de materiales reciclados y selección de materiales reciclables al final de la vida útil de las edificaciones.

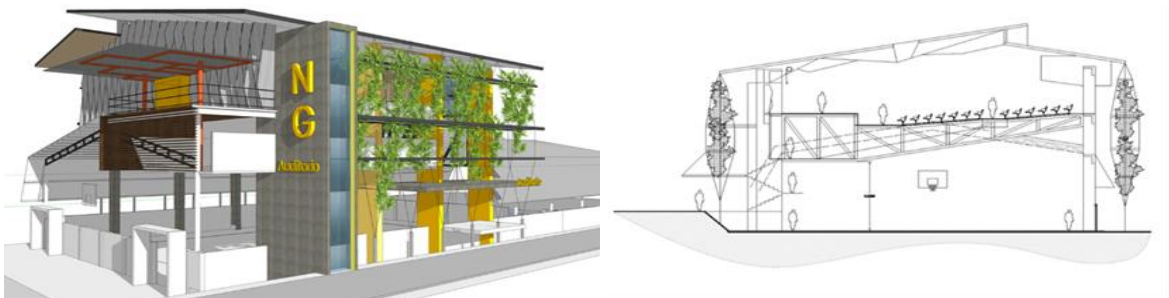


Figura 9. Proyecto Auditorio Nueva Generación. Archivo del autor (2019).

En el análisis de obras por seleccionar para esta investigación se agrega el concepto en idioma inglés: “cradle to cradle” que significa “de la cuna a la cuna”, en referencia al ciclo de vida de las edificaciones y sus materiales, con la visión ambiental de reducir el impacto desde los procesos de producción y extracción de la materia prima para los materiales y equipos que se incorporan al edificio, hasta la disposición de la obra, al final de su vida útil, tal como se apunta en la revista digital (Maderamen, 2017)

[Cradle to Cradle; el ciclo de vida de los productos íntegramente verde \(maderamen.com.ar\)](http://maderamen.com.ar)



Figura 10. Sylvie C. (2009). “De la cuna a la tumba”. (Maderamen, 2017).

Entre los ejemplos de obras internacionales de arquitectura que se han preseleccionado, resalta la aplicación de materiales por su uso para obtener una forma y composición del espacio con énfasis a obtener un ambiente propicio para el desarrollo de las actividades del programa de proyecto.

Así, se incorporan materiales como la madera certificada, proveniente de plantación y el uso de vidrios de bajas emisiones que proporcionan ventaja en el manejo de las características locales del clima para protegerse de la intemperie, el sol, calor, brillo, el viento y la lluvia, entre otros.



Figura 11. César, R. (2008). *Catedral Cristo de la Luz*. (S.O.M., 2008).

Se incluyen los materiales naturales, provenientes de la cercanía al lugar, de la mano con técnicas avanzadas de producción industrializada, ahora aplicadas con innovación y creatividad para lograr una arquitectura de excepcional apariencia y utilidad.

El uso y aplicación de la madera, material natural, que se tecnifica en su tratamiento industrial, sigue siendo un material de bajo impacto ambiental en producción y ciclo de vida, con alta participación en la captura de CO₂ (Dióxido de carbono, fórmula química CO₂), lo cual es de alto beneficio para el ambiente y por lo cual se utilizan en su mejora pinturas y aceites para su protección, para así evitar mezclas con productos solventes u otros que podrían tener alto impacto en el ambiente y daño a la capa de ozono.

A continuación se presentan uno a uno los proyectos seleccionados para análisis, en una ficha resumen de la investigación preparada.



Hugo Boss Centre



Catedral de Oakland



Ayuntamiento de Seúl



Estación del metro, Óculos



Galería de arte, Alberta



Parlamento Escoses



Radioterapia H. México



Mall San Carlos



Auditorio NG

Thun M. (2006)., Hartman C. (2008), Kerl Y. (2013), Calatrava S. (2016), Stout R. (2010), CCSS (2013), HSQ (2011), ANG (2018).

1.1.1 Caso 1: Hugo Boss Competence Center

Arq. Matteo Thun, Suiza.

Descripción general

Se presenta un edificio de construcción aislada, en un medio semi urbano y casi rural; donde el medio ambiente circundante es principalmente natural, por lo que en la propuesta de diseño prevalece el privilegio de observar hacia el exterior, a las montañas y al valle. El edificio de planta rectangular, con patio central interior y cubierto, cuenta con tres plantas sobre nivel de terreno y dos en sótano; se ha construido en materiales de acero y concreto, con una envolvente de la fachada exterior en madera laminada que recuerda un tejido de cesta, los cerramientos generales son en vidrio.

Ubicación

Se ubica en Suiza, en medio del verde valle de Tessin, Coldrerio.

Generalidades del proyecto

Obra realizada por el arquitecto Matteo Thun (2006), en Suiza, ubicado en el verde valle de Tessin, Coldrerio, localidad semi urbana periférica, rodeada de ambiente natural rural que le brinda un espectacular sitio de instalación. Se señala en la publicación de su página web: (Thun, 2006).



Figura 12. Vista del complejo de oficinas Hugo Boss. (Thun, 2006). Cuartel general, Hugo Boss.

Como ha indicado Rocca, A. (2006), en la revista “Domus”, se trata de un edificio de planta rectangular con patio central cubierto, de tres plantas sobre nivel de terreno y dos sótanos; donde por la privilegiada posición geográfica se aprovecha en la propuesta arquitectónica el poder observar hacia el exterior, a las montañas cercanas y al valle.

La estructura principal se desarrolla en perfiles de acero en combinación con apoyos de concreto reforzado, y es sobresaliente la envolvente de la fachada exterior construida de un entramado de madera laminada, haciendo eco del tejido de una cesta que se antepone entre el exterior y los ventanales de vidrio que son la piel externa de las oficinas y observatorio que enlaza con la vista lejana.

Este edificio alberga un centro de entrenamiento para el diseño y la innovación para el mercado de la moda mundial, como se ha destacado a lo largo de su historia desde 1923 cuando Hugo Boss funda su empresa en Alemania, de gran impacto en el mercado de la moda con marcado éxito.

El edificio hace referencia a lo que allí sucede: un tejido exterior que lo alberga y contiene, y la aplicación de materiales novedosos por su uso y técnica convierte los balcones de

salida de emergencia en expositor de la membrana translúcida de alta tecnología que los cubre y enlaza de la estructura de la fachada por medio de dispositivos de perfiles de aluminio y acero inoxidable con clara alusión a la moda del vestuario y accesorios que la marca promueve, como se ha descrito en por el proveedor “Hightex”, Tensoestructura sobre armazón metálico (2019), Hugo Boss Competence Centre, en www.archiexpo.es

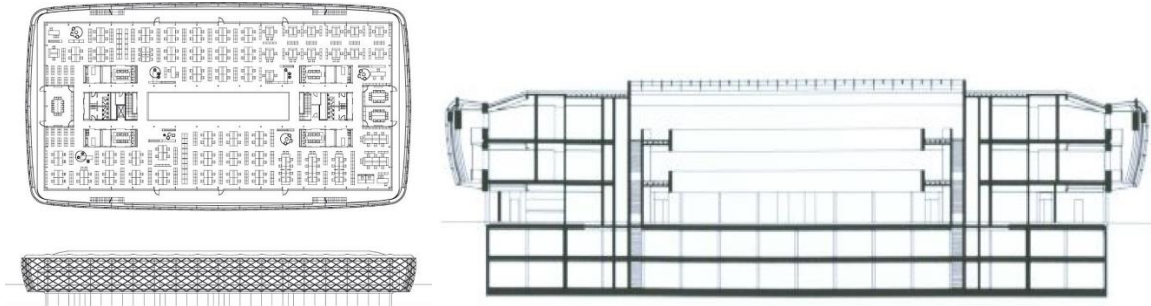


Figura 13. Hugo Boss, Competence Centre. planta, fachada y sección. (Thun, 2006).

La obra posee 10,500 metros cuadrados de extensión, distribuidos en cinco niveles, finalizada en 2008, diseño del Arq. Matteo Thun (Milán, Italia). Del edificio destaca la composición de la fachada en forma de cesto tejido en laminado de madera, lo envuelve y le da un aspecto a impresión de textil que se identifica con la marca comercial que representa. Forma así una fachada flotada que cuelga del balcón perimetral, como escudo al sol, la lluvia y el viento, tamizando la entrada de la luz a través de los ventanales parte del cubo de madera, acero y concreto prefabricado que se ha utilizado para facilitar la instalación en sitio y reducido tiempo montaje.

En la revista digital “e-architect”, (Lomholt, 2019), anota que el edificio posee diseño de planta libre, para distribución de espacios de trabajo colaborativo, integra salones de conferencia, exposición y talleres como arte del centro de investigación y desarrollo.

La estructura principal de soporte y conformación es de perfiles de acero que permite luces de 14 metros libres, e inclusive se menciona que para un jurado del premio a la obra de acero 2007, le ha parecido que la combinación entre acero y madera es una muestra del concepto de arquitectura sostenible en el medio.



Figura 14. Hugo Boss, Competence Centre. Ubicado en Coldrerio, Ticino. (Thun, 2006).

Desde mi perspectiva personal, sobresale en la obra la simpleza del edificio en su concepción, para albergar un programa complejo, pero ante todo, en el uso y aplicación de los materiales combinados de acero, vidrio y madera se lee la intención del arquitecto por crear un espacio de oficina plenamente identificado con la zona de implantación, así como proveer al ocupante y visitante un aire de serenidad en un edificio que se adapta, se protege y proporciona un ambiente construido muy propio de la campiña, e intencionadamente provocador para la apertura a la innovación en un medio de confort sin descuidar la materialidad de la estética.



Figura 15. Hugo Boss, Competence Centre. Fachada flotante superpuesta al edificio, construida en madera laminada. (Thun, 2006).

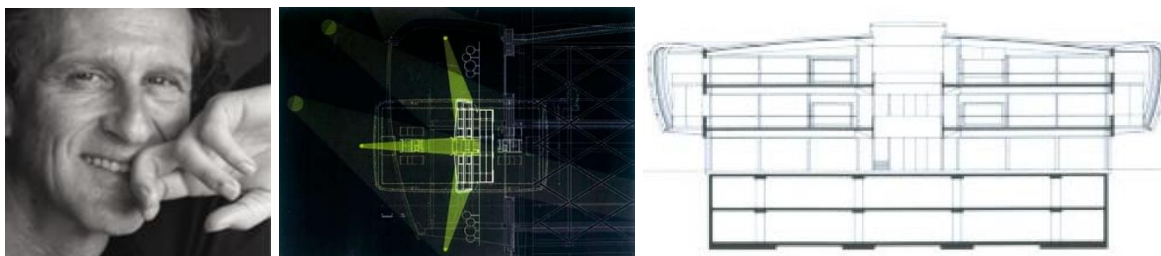


Figura 16. Hugo Boss, Competence Centre. (Lomholt, 2019).

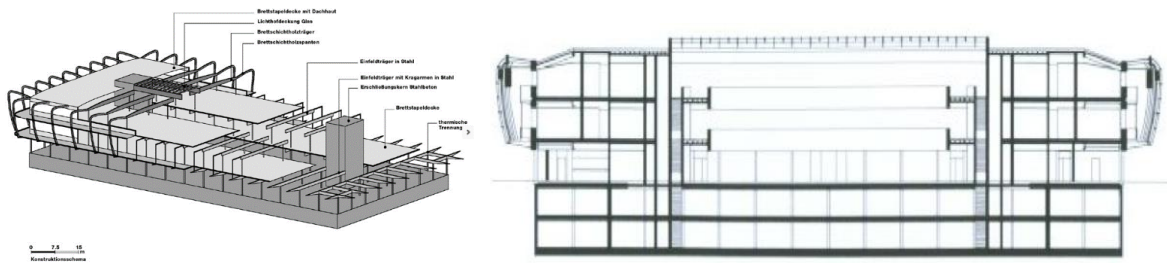


Figura 17. Hugo Boss, Competence Centre. Archiexpo. (Hightex, 2006).

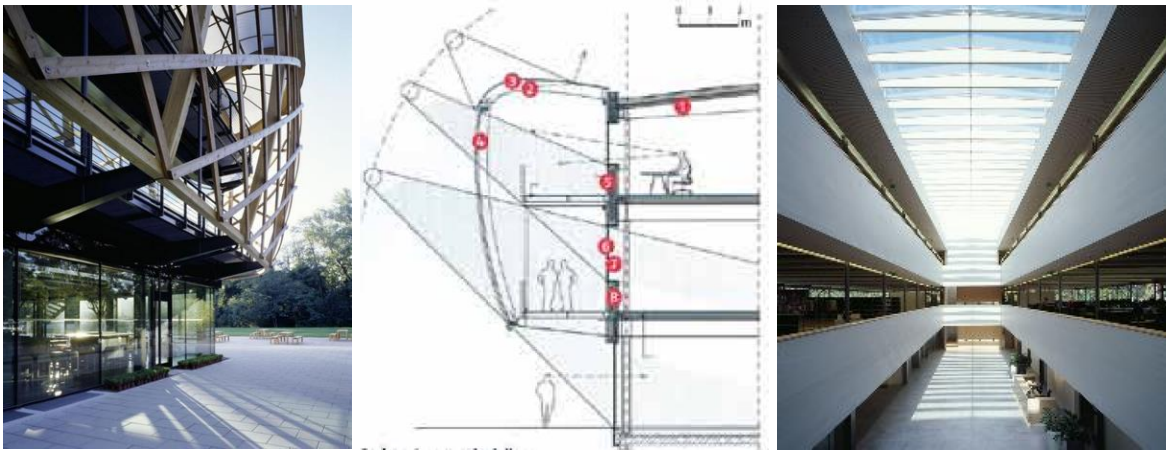
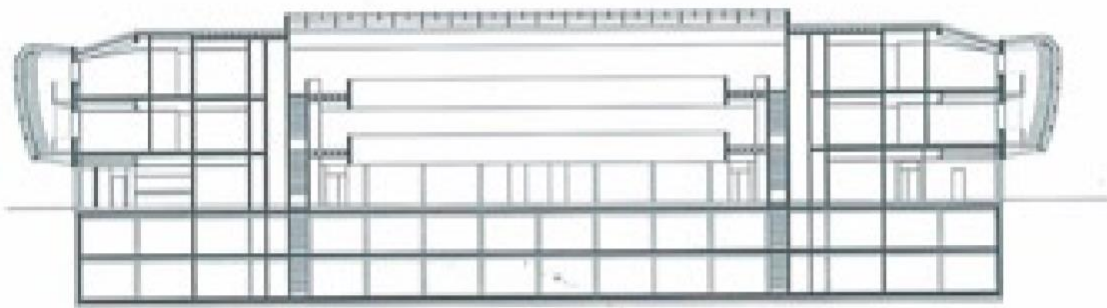


Figura 18. Hugo Boss, Competence Centre. Archiexpo. (Hightex, 2006).



Längsschnitt Longitudinal section

1.1.2 Caso 2: Catedral de Oakland Iglesia Cristo de la Luz, USA.

Arq. Craig W. Hartman

Descripción General

En un contexto urbano central se encuentra esta edificación, parte de un complejo que se desarrolla en la extensión de dos cuadrantes o manzanas de la ciudad, como centro de atracción y balcón frente a la bahía que conforma el lago cercano.

Ubicación

USA, California, Oakland.

Propietario: Iglesia Metropolitana de Oakland.

Arquitectos: SOM + Arq. Craig W. Hartman.

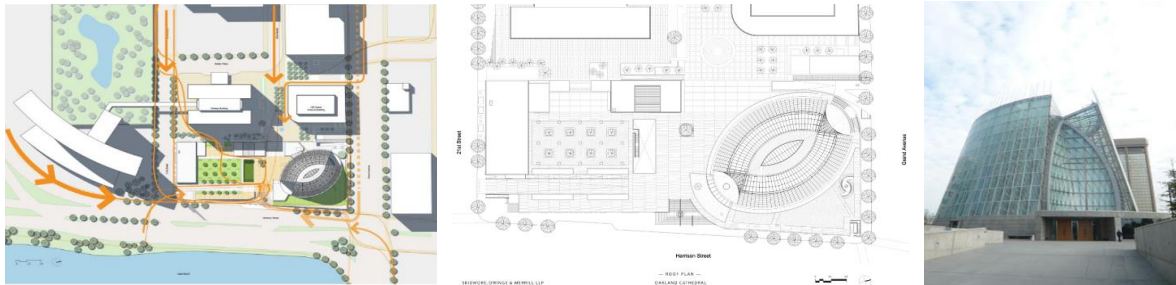


Figura 19. Planta de conjunto y templo. Diseño. (Hartman, 2008).

Generalidades del proyecto

Como se cita en la página de internet de la firma SOM: (S.O.M., 2008). [SOM | Cathedral of Christ the Light](#). La obra fue realizada por el Arq. Craig W. Hartman, en Oakland, California, Estados Unidos, frente al lago Merrit, en el área de la Bahía de San Francisco, 2004-2008; además del templo, se compone de otras instalaciones relacionadas, es la sede del obispo de Oakland, oficinas de cancillería, centro diocesano de conferencias, un centro de salud y caridad inmerso en un desarrollo de plazas, senderos y jardines, parte de lo que le ha valido reconocimiento como punto cívico de relevancia en la trama urbana que se completa con una librería, cafetería y plaza de acceso público.

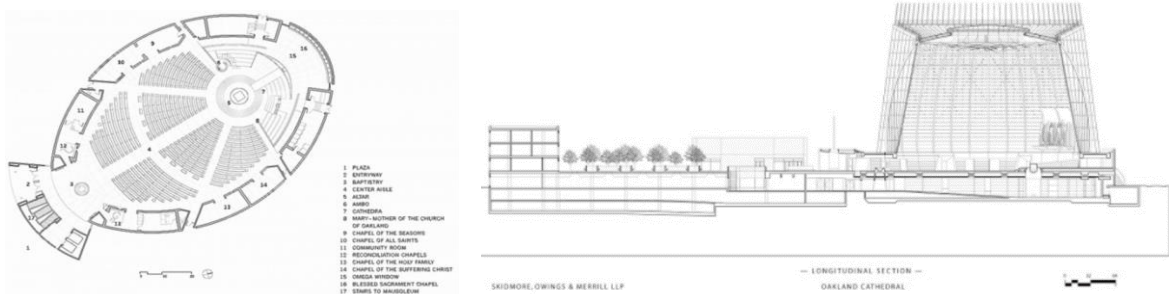


Figura 20. Planta arquitectónica y sección del templo. SOM. Diseño (Hartman, 2008).

Ha recibido premios de reconocimiento por el diseño, uso de materiales, desde 2003 a 2015; en el 2008 se destaca el reconocimiento: Wood Design Awards: Premio de Honor

por la Revista de Diseño y Construcción de Madera, así como en el 2009 obtuvo el Premio a la Innovación en Ingeniería de Madera, Sociedad de Productos Forestales. Donde se destaca el uso de la madera, en un modelo de innovación, para grandes estructuras, para una altura superior a los 40 metros sobre una base de concreto en planta de ovalo, donde se construye un caparazón envolvente de acabado en vidrio, lo cual le da un aspecto de farol iluminado desde adentro y con un excepcional sentido del manejo de la luz y sombra con los parasoles que componen la estructura y dosifican la luz al interior.



Figura 21. Catedral Cristo de la Luz. SOM + Arq. Craig W. Hartman. La catedral se ubica frente al lago Merrit. (S.O.M., 2008).

Se reconoce el manejo de los materiales, concreto, acero, madera y vidrio, para dar forma a una obra de especial interés por el concepto del edificio, por el manejo de la ventilación e iluminación, el cobijo para los ocupantes y transmitir un sentido de recogimiento espiritual.

Es importante recalcar que para este tipo de obra se ha realizado un concurso de diseño por invitación, cuyo objeto central es la catedral, y se construyeron 68,000 metros cuadrados en un terreno de 2.5 ha.; en la propuesta se sale del tradicional esquema de templo de largos corredores para abordar el esquema de Auditorio, enfoque hacia un centro de atención, proveyendo corredores que rodean por la base del ovalo, albergando tanto la estructura de soporte como oficinas operativas, y sobre todo el tratamiento de la luz, como evocador del espacio espiritual, lo que prevalece y se suma al alto techo envolvente y que se fusiona con la fachada.



Figura 22. Catedral Cristo de la Luz. SOM + Arq. Craig W. Hartman. (Rubio, 2011).

La superestructura consiste en un sistema híbrido de concreto armado, madera laminada prefabricada, barras de acero estructural de alta resistencia, con puntales de compresión y un sistema de aislamiento de la base con péndulo de fricción sísmico de acero. OMA Express (2012/15/4).

En la revista digital (Rubio, 2011), se hace alusión a la Catedral Cristo de la Luz; la estructura principal es la integración de las grandes vigas de madera laminada encolada prefabricada, sobre una gran piedra de basamento que se recorre alrededor de todo el templo y soportes adicionales de acero, lo que logra el conjunto del edificio, para sorprender con detalles de acabados en piedra, madera y contraste de cielos en color blanco, además de la iluminación indirecta para evocar esa calma espiritual por transmitir. Así se basa la catedral en la tradición de la luz, como fenómeno que nos une a lo sagrado.

De igual manera en la revista digital “Espacios de madera” (madera, 2014); Se cita la procedencia de la madera, por cuanto para contabilizar puntos en el sistema de certificación para edificios sostenibles, es necesario que se considere la procedencia de los materiales por utilizar que se integran a la obra, desde el principio, según sea la meta de los involucrados del proyecto. Se indica que la madera procede de bosques de cultivo sustentable, del tipo “abeto de Douglas” que posee características esenciales para el tipo de construcción por llevar a cabo, como la elasticidad y capacidad de transmitir esfuerzos de tensión y compresión a solicitud.

La madera además de ser un material natural posee cualidades de calidez, color, olor, tersura y suavidad, que se transmite y provoca en las personas afinidad y relajación, entre otros.

La fachada se constituye en una combinación que entrelaza el concreto, la madera y el acero para soportar una amplia capa de vidrio de baja emisión térmica con revestimiento para modular la luz y reducir la ganancia térmica al interior, así como los costos de operación.

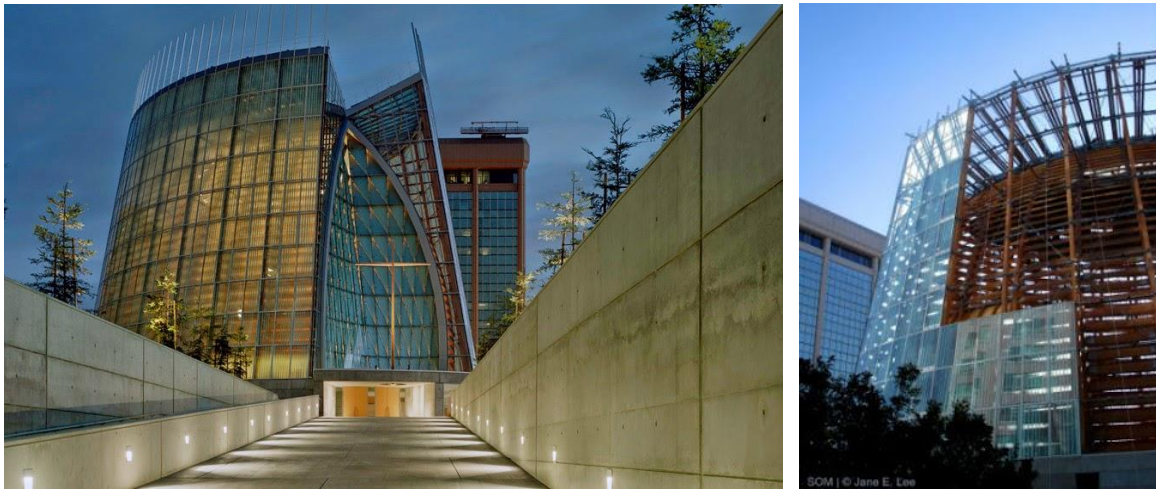


Figura 23. Catedral Cristo de la Luz. SOM + Arq. Craig W. Hartman. (Rubio, 2011). La Catedral se basa en la tradición de la luz como un fenómeno sagrado, el espacio está totalmente iluminado por la luz del día, con la excepción de los oficios de la tarde, disminuyendo así el consumo energético del complejo.

1.1.3 Caso 3: Ayuntamiento de Seúl **Arq. Yoo Kerl**

Descripción General

Este proyecto se ha seleccionado por mostrar un notable manejo no convencional de materiales en la aplicación de protección, cerramiento y envolvente; además, por considerar el sentir de la población y la integración con el antiguo edificio, que se incorpora a la solución sin detrimento de este.

La obra es realizada por el Arq. Yoo Kerl, (2013) de la firma iArc Architects, en la ciudad capital “Seúl” de Corea del Sur, con un desarrollo de 7,590 metros cuadrados, distribuidos

en 13 pisos. El edificio alberga las oficinas del ayuntamiento; el nivel superior está dedicado a equipamiento urbano para el disfrute del público, todo envuelto por un muro cortina diseñado para la circulación del aire por todos los niveles.



Figura 24. Ayuntamiento de Seoul, Arq. Yoo Kerl. (Kerl, 2013).



Figura 25. Ayuntamiento de Seoul, Arq. Yoo Kerl (2013). iArc Architects, (Kerl, 2013).

Ubicación

Seúl, Corea del Sur. Seúl está construida en una de las regiones más montañosas del planeta —y más pobladas también, con 10 millones de personas—. La naturaleza abunda y, a la vez, convive con la urbanización típica de lo que supone una ciudad en el siglo XXI.

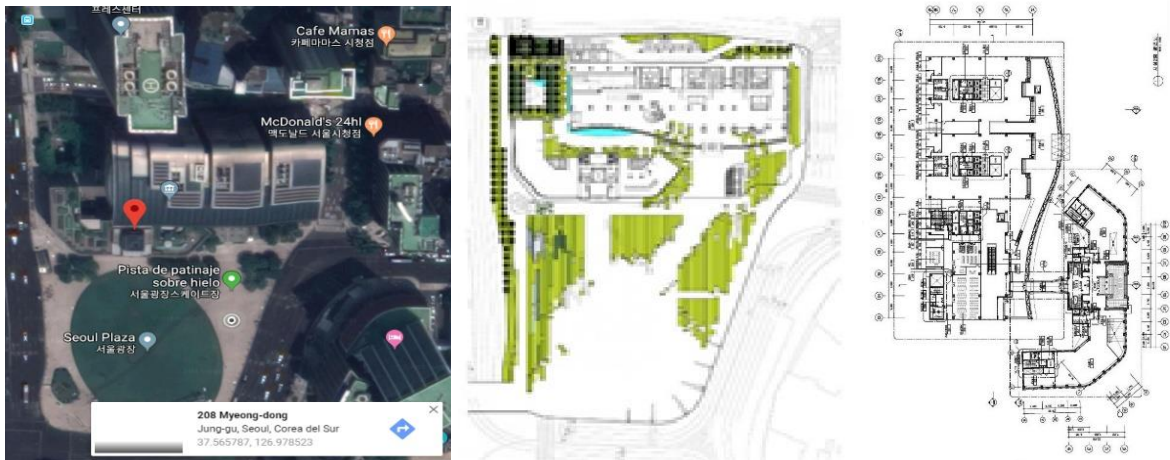


Figura 26. Ayuntamiento de Seúl, Arq. Yoo Kerl (2013). Vistas de emplazamiento. iArc Architects, (Kerl, 2013).

Generalidades del proyecto

Después de un concurso para un nuevo ayuntamiento, el jurado otorgó la comisión a Yoo Kerl de iArc: "Las palabras clave principales para diseñar el nuevo edificio son tradiciones, ciudadanos, futuro. El nuevo Ayuntamiento de Seúl tiene que ser una arquitectura de forma futura que vaya con el terreno de Corea que se adapta a la emoción cultural de los ciudadanos de Seúl, se completa al vincular el pasado y el futuro de la plaza de Seúl". iArc-Architects (2013).

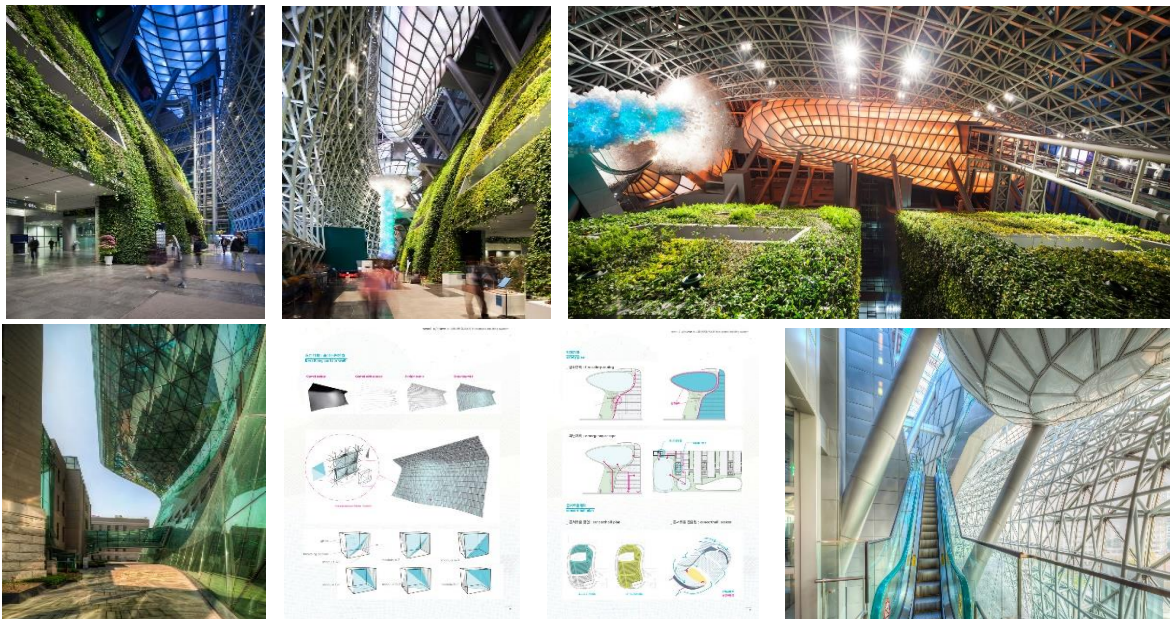
El diseño proviene de la plaza de Seúl así está conectado a la estación City Hall (Seúl) de la línea 1 del metro de Seúl, con acceso a la línea 2 desde la misma estación. El proyecto incluye salas multiuso e instalaciones culturales para los ciudadanos. El antiguo edificio, inscrito como bien cultural, ha sido reconvertido en biblioteca e integrado a la oferta del conjunto. (iArc Architects, 2013).



Figura 27. Ayuntamiento de Seoul, Arq. Yoo Kerl (2013). Vistas del emplazamiento urbano. (iArc Architects, 2013).

Arquitectura y construcción

El diseño del Nuevo Ayuntamiento de la Ciudad de Seúl se eligió por concurso. El proyecto ganador fue de Yoo Kerl de iArc. A esta estructura de vidrio y 13 pisos se le considera popularmente como una gigantesca ola, si bien la intención original del diseñador era evocar la figura de un alero de una casa tradicional coreana hanok; para lograr un edificio de 7,590 m² de construcción.



Aasarchitectura (2013/12/18) Nuevo ayuntamiento de Seúl por iArc Architects. (Kerl, 2013).

1.1.4 Caso 4: Estación del Metro Óculos, New York Arq. Santiago Calatrava

Descripción General

En los Estados Unidos de América, en el estado de New York se ha realizado esta obra por el controvertido Arq. Santiago Calatrava (2016) en la zona cercana donde se encontraban las torres gemelas o World Trade Center de New York, devastado en 9/11. A la altura de la plaza sobresale a modo de cúpula la extravagancia de la arquitectura y la audacia de la ingeniería.



Figura 28. Estación del metro, Óculos, NY. Arq. S. Calatrava (2016). (Archdaily, 2016).

Ubicación

Estados Unidos de América, USA; Ciudad de Nueva York; World Trade Center.

Promotor o propietario:

Port Authority of New York and New Jersey

Arquitecto: Santiago Calatrava.

Generalidades del proyecto

Como es de esperar, el edificio escultura causa revuelo por su configuración, simbolismo, por el presupuesto que, una vez más como ha ocurrido en otros proyectos con participación del mismo arquitecto, crece como espuma y al igual el plazo de ejecución, que inicia desde 2004 y finaliza 12 años más tarde.

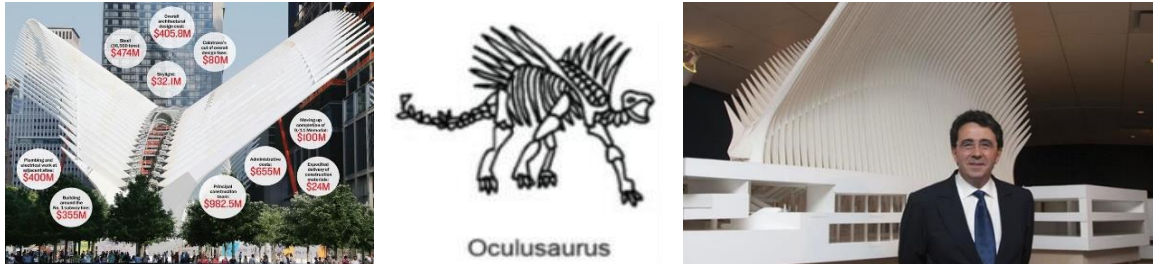


Figura 29. Estación del metro, Óculos, NY. Arq. S. Calatrava (2016 (Archdaily, 2016)).

La **estación de metro más cara del mundo** terminó costando US\$4.000 millones y se construyó en 12 años. Las obras del Arq. Santiago Calatrava se han destacado siempre por sus originales diseños inspirados en cavernas, animales y plantas. El "Oculus", como se llama la controvertida obra, conecta hasta once líneas de metro distintas con la línea de tren que enlaza a Nueva York con Nueva Jersey, permitirá el acceso subterráneo a las principales torres del WTC y albergará un centro comercial y restaurantes.

Oculus – Estación del World Trade Center

Arquitecto
Santiago Calatrava +

Ingeniero estructural
Thornton Tomasetti, Skanska

Constructora
Skanska USA

Promotor
Autoridad Portuaria de Nueva York y Nueva Jersey

Diseñado en
2004

Año de Construcción
2004 - 2016

Altura
50m

Ancho
35m

Longitud
106,88m

Área construida
74.000m²

Coste
\$ 4 mil millones

Ubicación
Bajo Manhattan, Zona Cero, Nueva York, Estados Unidos

(Arquitectura y diseño, 2019).

Arquitectura y construcción

2016 es el año de construcción, tardó doce años en construcción.

\$4,000 millones USD, el doble del presupuesto inicial, un símbolo de exceso.

Arquitectos

Santiago Calatrava & Downtown Design Partnership. Es la Autoridad del Puerto de Nueva York y Nueva Jersey (PATH), agencia que gestiona el proyecto de la estación de metro diseñada por el arquitecto español Santiago Calatrava en el World Trade Center (WTC) de Nueva York.



Figura 30. Estación del metro, Óculos, NY. Arq. S. Calatrava (2016). Vistas del interior de la estación, vestíbulo principal. (Archdaily, 2016).

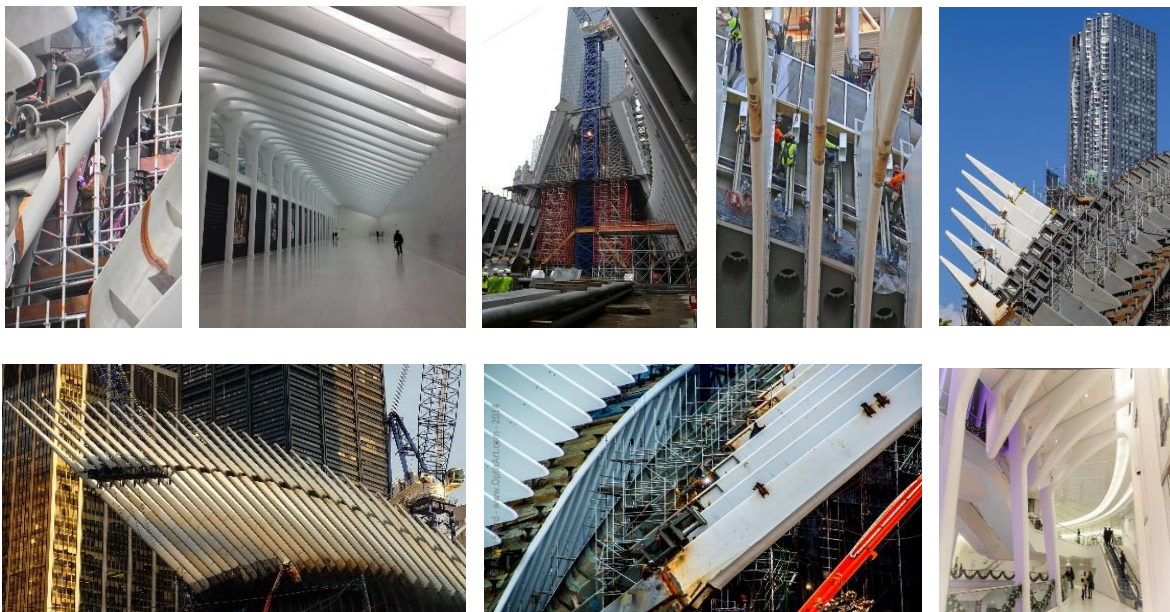


Figura 31. Estación del metro, Óculos, NY. Arq. S. Calatrava (2016). Construcción. (Archdaily, 2016).

1.1.5 Caso 5: Galería de Arte Alberta Arq. Randall Stout

Descripción General

Por otras latitudes del mundo, de donde pocas veces se promueve la obra que se realiza, se ha considerado para la preselección este edificio que alberga salas de exhibición. Sobresale por el tratamiento de la forma, una configuración no tradicional y el uso de materiales combinados de concreto, acero y vidrio en un clima muy diferente al tropical, con extremos de temperatura entre calor y frío estacional, que hacen interesante el estudio de la aplicación de la arquitectura.

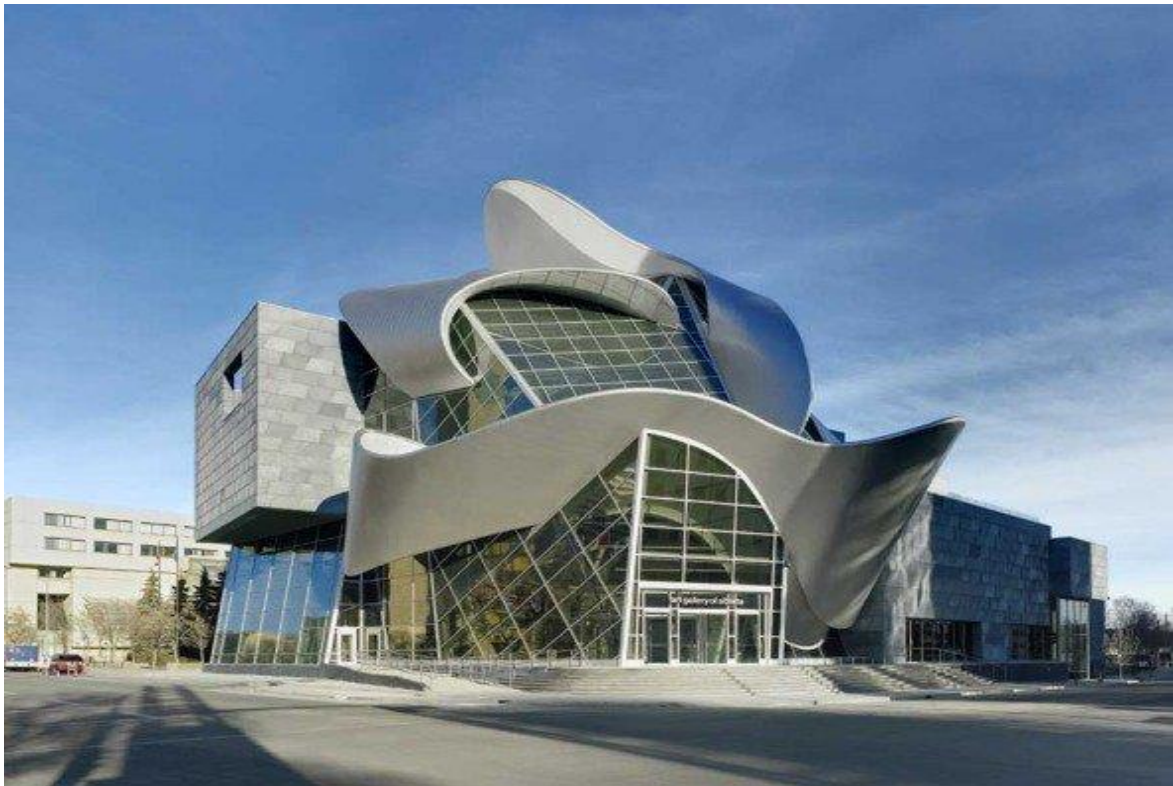


Figura 32. Galería de Arte, Alberta, Canadá, Arq. Randall Stout. (2010). (iarquitectos, 2014).

Así mismo, se ha considerado esta obra por mostrar aplicación de materiales y acabados de cerramiento de acuerdo con la propuesta arquitectónica, producto de la conceptualización del Arq. Randall Stout (2010), una obra de 7,800 metros cuadrados en cinco niveles, un presupuesto de US\$88 millones para realizar una galería de exposiciones (3,000 metros cuadrados), un teatro y un restaurante.

Ubicación

Edmonton, Alberta, Canadá.

Generalidades del proyecto

En los primeros años del siglo XXI se convocó a concurso internacional de diseño para el museo de Alberta; en el 2005 la empresa Randall Stout Architects, Inc. ganó la competencia entre 25 participantes. El reto no era nada sencillo: rediseñar la vieja galería de arte construida en 1969 por el arquitecto Donn Bittorf, la nueva construcción duplicaría el área y debería tener los implementos tecnológicos, tal como existen en las galerías de arte más importantes del mundo. López S. (2010/2/1).



Figura 33. Galería de Arte, Alberta, Canadá, Arq. Randall Stout. (2010). (Stout, 2014).

La influencia del Arq. Gery se debe a que el Arq. Stout fue asociado del primero antes de 1996 en Los Ángeles, California, USA. La obra del Arq. Stout se señala en la revista digital *arquitectos* (2014). También se destaca su sentido por la naturaleza y la sostenibilidad, donde su formato de arquitectura deriva de sus experiencias y sentimiento por el ambiente que le rodea, que lleva hasta las formas que esculpe en este proyecto de la galería.

La forma y materiales seleccionados para reflejar el compromiso con el lugar y el arte son de transparentes cristales planos y las superficies reflectantes de metal dan vida al edificio, dejando al descubierto las actividades al interior y al exterior, estos materiales crean una cualidad dinámica que permiten la creación de transformarse junto con su entorno natural. Noticias de arquitectura (2011).

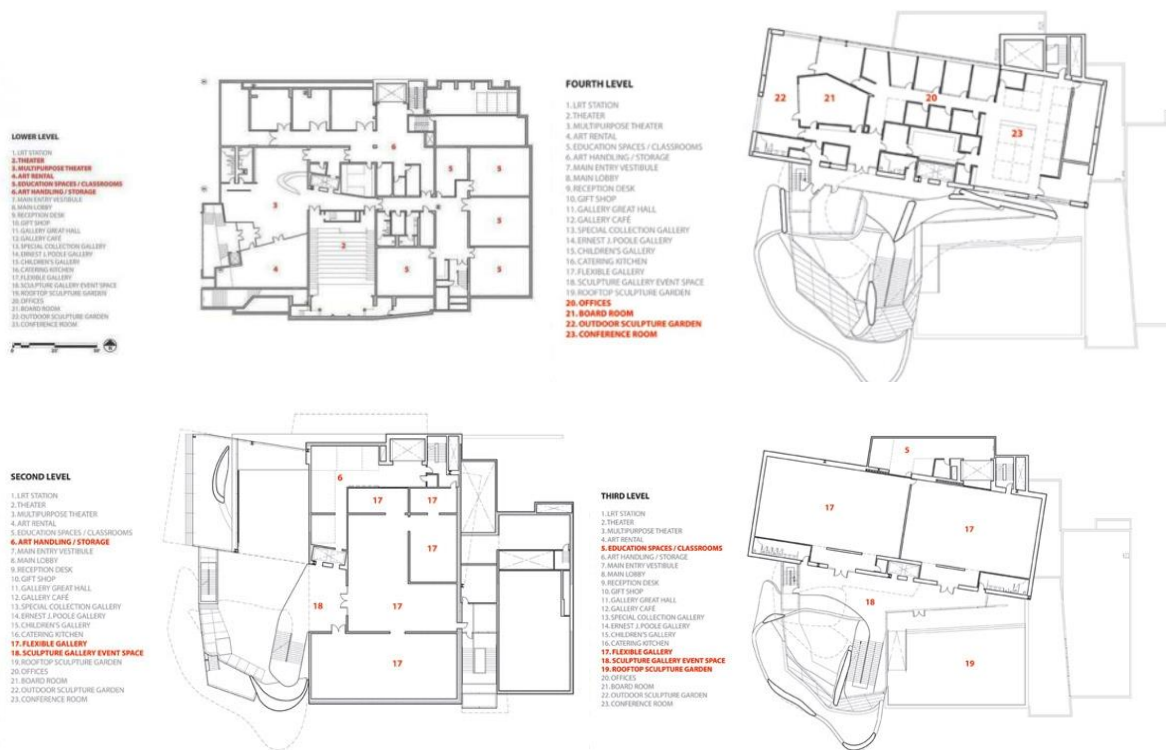


Figura 34. Galería de Arte, Alberta, Canadá, Plantas de distribución arquitectónica. (Stout, 2014).

El edificio ocupa un área de 7,800 metros cuadrados, incluidos 3,000 metros cuadrados de espacios de exhibición con clima controlado. El edificio fue diseñado por Randall Stout Architects, Inc., de Los Ángeles y San Francisco. Los arquitectos locales y las empresas de ingeniería HIP Architects, Stantec, BPTec Engineering y Read Jones Christoffersen ayudaron al equipo de diseño de Randall Stout; mientras que el Grupo de Empresas Ledcor proporcionó la dirección de la construcción del proyecto. El presupuesto original para la renovación era de C \$ 48 millones, aunque luego se incrementó a C \$ 88 millones. Galería de arte de Alberta.

Arquitectura y construcción

2010 es el año de construcción

7,800 m² de construcción, en cinco niveles.

Arquitecto

Randall Stout.

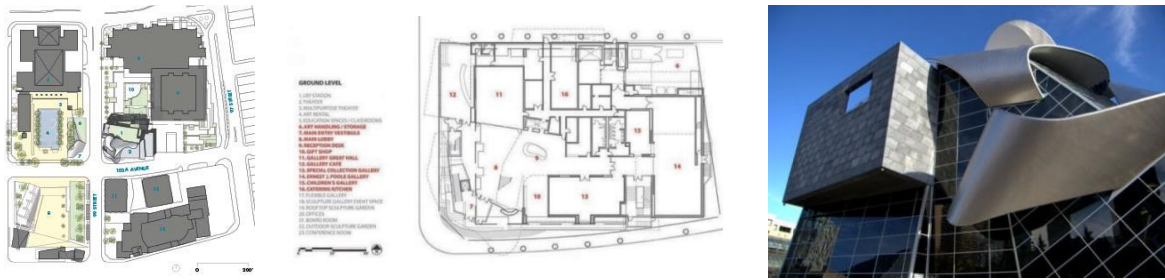


Figura 35. Galería de Arte, Alberta, Canadá, Arq. Randall Stout. (2010).
planta de conjunto, primer nivel y detalle de acceso principal. (Noticias de arquitectura, 2011).



Figura 36. Galería de Arte, Alberta, Canadá, Arq. Randall Stout. (2010). (Noticias de arquitectura, 2011).

1.1.6 Caso 6: Parlamento Escocés

Arq. Enric Miralles

Descripción General

En julio de 1998, los arquitectos EMBT de Barcelona y sus socios escoceses RMJM Scotland ganaron un concurso para diseñar el edificio del nuevo para el Parlamento Escocés en Holyrood. El equipo presentó una serie de esquemas en donde se mostraba la concepción del Parlamento: como una hoja y sus ramas; con un fuerte significado simbólico según interpretación del Arq. Miralles. La obra está compuesta por un conjunto de unidades dispersas, que forman un conjunto.



Figura 37. Parlamento de Escocia. Arq. Enric Miralles (2004). (Langdon, 2014).

En lo particular, en esta obra ha llamado la atención el uso de las formas con el reflejo hacia el interior, donde las personas pueden disfrutar del espacio y los acabados de madera, como un viaje en barca en las aguas mansas y claras de un remanso del río, que representa el paisaje y la naturaleza de su ciudad, con claras reminiscencias del trabajo de las personas del muelle pero también de quienes dirigen al país por los caminos del desarrollo.

Ubicación

Escocia. (Reino Unido)

Generalidades del proyecto

En 1997, un referéndum popular aprobó el proyecto, y un año más tarde, se llevó a cabo un concurso de amplia difusión para el trabajo. Los diseños de los cinco arquitectos finalistas fueron expuestos al público para su aprobación, y mientras que un concepto propuesto por Rafael Viñoly en realidad ganara una mayor parte del soporte público, el

comité de selección otorgó el premio para el arquitecto español-catalán Enric Miralles, cuyo diseño terminó en un cercano segundo lugar; ha comentado el Arq. Langdon, D. para la revista digital Plataforma Arquitectura (2014).

Obra del Arq. Enric Miralles (2004) con 6 años de construcción, el edificio se lleva a cabo para albergar al Parlamento Escocés, con 30,000 metros cuadrados de construcción en cuatro niveles y un costo de £ 414 millones. Le sobrevino la muerte al arquitecto (2000) y su esposa de igual profesión se colocó al frente de la empresa hasta terminarla, se indica en la publicación del diario "El País" en su edición digital. Oppenheimer W. (2004/4/10).



Figura 38. Parlamento de Escocia. Arq. Enric Miralles (2004). Plantas de distribución. (Langdon, 2014).

Desde el principio, el edificio y su construcción han generado polémica. La elección del lugar, el arquitecto, el diseño y la compañía constructora han sido criticados por políticos, los medios y por los ciudadanos de Escocia. El arquitecto fue el español Enric Miralles, quién murió durante la construcción y su socia Benedetta Tagliabue, fue quién finalizó la obra. (Miralles, El País, 2004).



Figura 39. Parlamento de Escocia. Arq. Enric Miralles (2004). Planteamiento general. (Miralles, El País, 2004).

El edificio pretende una unión poética entre el paisaje escocés, su gente, su cultura y la ciudad de Edimburgo. Este enfoque hizo que el edificio obtuviera numerosos premios incluyendo en el 2005 el Premio Stirling; ha sido descrito como «un tour de force del arte y la artesanía. Langdon D. (2014/12/11).

En la publicación digital de la revista "Plataforma Arquitectura", (Langdon, 2014), se cita al crítico Charles Jencks: "En la época del edificio icónico, [el Edificio del Parlamento Escocés] se crea una iconología de referencias a la naturaleza y del entorno local, utilizando mensajes complejos como un sustituto de una sola línea. En lugar de ser un edificio monumental, como es el punto de referencia habitual de la capital, su camino está ubicado en el medio ambiente, un ícono de la resolución orgánica, del tejer juntos la naturaleza y la cultura en una unión compleja."; "RIBA Stirling Prize Winners: The Scottish Parliament (2005). Architecture.com.

Arquitectura y construcción

Arquitecto Enric Miralles.

Costo 414 millones de libras.

30,000 m² de construcción.



Figura 40. Parlamento de Escocia. Arq. Enric Miralles (2004). Vistas interiores. (Miralles, Parlamento Escocés en Edimburgo. Enric Miralles, 2012).

Provocar un edificio que refleje al pueblo y a la vez sea un ejemplo de modernidad, es una tarea difícil de realizar, mas no ha sido imposible para el conjunto de creadores que han podido llevarlo a cabo, con la convicción de que en los detalles se encuentra en éxito y es así que el recorrer las imágenes del proyecto se observan múltiples detalles del artesano que ha trabajado la madera, con aplicaciones que no son tan regulares, como el ejemplo de las ventanas con sus enrejados de trozos de madera hacia el exterior lo que da un aire despreocupado al edificio.

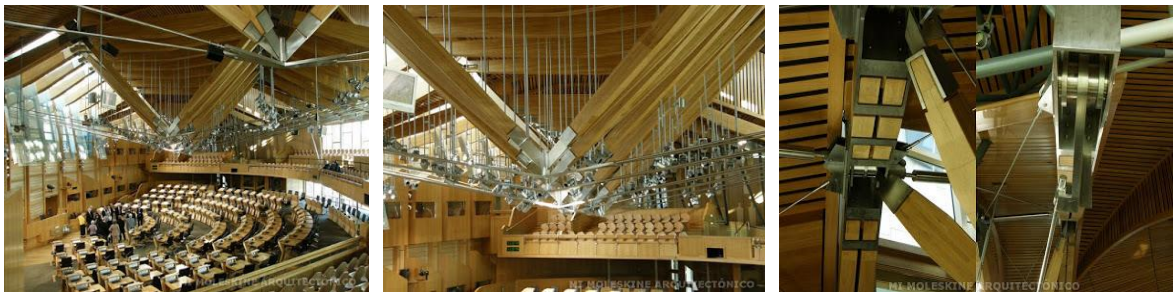


Figura 41. Parlamento de Escocia. Arq. Enric Miralles (2004). (Miralles, Parlamento Escocés en Edimburgo. Enric Miralles, 2012).

De la estructura se describe que es antojadiza, no coincidente casi aleatoria, cada espacio posee una estructura diferente, donde se utiliza la cualidad de la madera para trabajar en compresión y se combina con acero para llevar los esfuerzos de tensión, logrando así cubrir grandes luces con cerchas de madera laminada y evitar otras columnas que interrumpen la continuidad espacial. De igual manera se utiliza prefabricados de concreto reforzado, postensado y colado en sitio, para conformar algunos de los espacios de detalle y singularidad.

La madera cobra especial escenario en la edificación, es notable en acabados y en la estructura, con maderas locales de reconocidas prestaciones en la construcción. Y en otros

acabados se utilizan piedras de explotación local en sus tonos de gris y negro, tanto para revestimiento de paredes como en los pisos.



Figura 42. Parlamento de Escocia. Arq. Enric Miralles (2004). (Miralles, Parlamento Escocés en Edimburgo. Enric Miralles, 2012).

El edificio ha sido galardonado con el Premio Stirling 2005 RIBA y tiene menciones de certificación sostenible LEED, BREEAM y GREEN entre otros, con lo cual se destaca no solo el uso de los materiales y técnicas constructivas, sino la implementación de soluciones en ventilación e iluminación natural y otros sistemas para el ahorro y mejor uso de los recursos.



Figura 43. Parlamento de Escocia. Arq. Enric Miralles (2004). (Miralles, Parlamento Escocés en Edimburgo. Enric Miralles, 2012).

1.1.7 Caso 7: Radioterapia Hospital México Unidad de Proyecto Red Oncológica, CCSS

Descripción General

Este proyecto se ha seleccionado por mostrar en su propuesta de diseño la integración de elementos propios de sostenibilidad para un edificio de atención a la salud. Se utilizan soluciones de arquitectura bioclimática, ventilación cruzada, iluminación natural controlada, masa térmica, orientación con respecto al recorrido solar y del viento; así mismo, sus materiales aíslan el medio ambiente del entorno, para recrear espacios interiores con control ambiental para proporcionar confort a los pacientes, sus acompañantes y para el personal que labora en la edificación mediante apertura visual y espacial, comunicación a través del manejo del color y la distribución arquitectónica, para propiciar la mejoría de la salud.



Figura 44. Radioterapia Hospital México, CCSS-CR (2013). Vistas de fachadas. Fotografías por el autor (2013).

Ubicación

Costa Rica, San José, La Uruca. Hospital México, CCSS

Generalidades del proyecto

En la Caja Costarricense de Seguro Social, institución que brinda la mayor oferta de servicios para la atención de la salud en el país, se inicia la mejora de la infraestructura para la atención del cáncer, con la incorporación de edificios y equipamiento acordes con la mejor técnica para el tratamiento de la enfermedad. Así se realiza la contratación de un grupo de profesionales en arquitectura e ingenierías: civil, eléctrica y mecánica, así como

de equipamiento para preparar lo que debe ser el proyecto de esta nueva infraestructura, que para el caso se aloja en terrenos del Hospital México, ubicado al oeste de la capital.

Con el anteproyecto base propuesto se realiza un concurso de licitación pública en el que el oferente debe ofrecer realizar la contratación “llave en mano”, incluyendo el diseño con planos finales para construcción e inclusión del equipamiento médico, técnico e industrial necesario para la puesta en marcha del nuevo Servicio de radioterapia y quimioterapia; además, se incluye el contrato por mantenimiento de equipos médicos e industriales y la edificación por dos años, prorrogable a cuatro.

El concurso se prepara por la administración interna institucional y se selecciona a un consorcio de empresas de equipo médico especializado (acelerador lineal) con apoyo de otras empresas de construcción, arquitectura, ingeniería civil y estructural, ingeniería eléctrica y mecánica entre otros.

Se logró asegurar el alcance de la edificación, el costo y el plazo de ejecución contractual, sin atraso, sin sobre costo y todas las soluciones arquitectónicas y civiles, según se estipuló en la contratación.

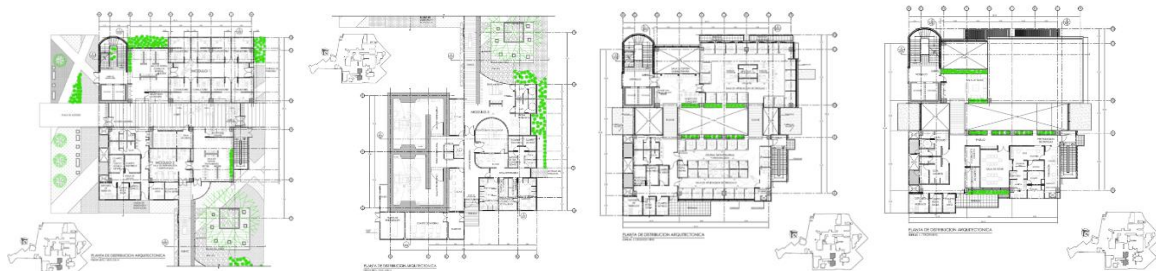


Figura 45. Radioterapia Hospital México, CCSS-CR (2013). Plantas de distribución arquitectónica. Archivo PRO-DAPEI-GIT. Archivo del autor (2013).

Promotor o propietario

Caja Costarricense de Seguro Social

Arquitectos

Dirección Administración de Proyectos Especiales, Unidad de Proyecto Red Oncológica, Gerencia de Infraestructura y Tecnologías de Información, CCSS.

Arq. Minor Martín A.

Arq. Luis A. Monge C.

Arq. Oscar Mora E.

Ing. C. Andrés Méndez

Ing. E. Greivin Alvarado

Ing. M. Julio Siles

Ing. C. Manuel Alan

Ing. E. Gregory Acuña

Empresa contratista y otros

Empresa Contratista General: Promed CR. Equipadora de los dos aceleradores lineales incorporados a las instalaciones.

Empresa Constructora Estructuras S.A. Diseño arquitectura, civil y construcción

Empresa Electromecánica DYCEL S.A. Diseño electromecánico

Costo y plazo de ejecución

Extensión del proyecto, 3,500m² de construcción, hasta 3 niveles o plantas, altura del edificio 11 m. Costo \$16 millones USD. (2013)

Emplazamiento

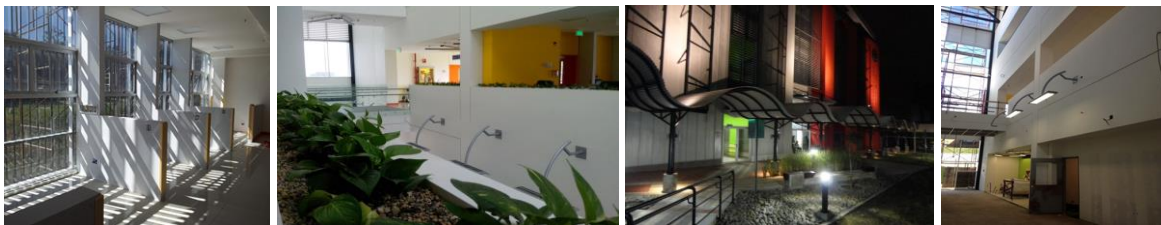
Urbano, distrito de La Uruca, en la ciudad de San José.

Entorno: el entorno geográfico de la ciudad de San José es un valle entre montañas, de clima subtropical de altura, con temperatura media de 21°C; a 1,100 msnm en promedio.



Figura 46. Radioterapia, Hospital México. CCSS. vistas exteriores.

Fuente: CCSS, Dirección Administración de Proyectos Especiales, PRO/GIT. (2013).



1.1.8 Caso 8: Mall San Carlos **Arq. Marco Ant. Cordero R.**

Descripción General

Edificio comercial y de servicios, a emplazar al costado del Hospital San Carlos. A contará con dos plantas de sótano y tres plantas superiores. No construido.

Ubicación

Costa Rica, San Carlos, Ciudad Quesada.

Promotor o propietario: HSQ S.A.



Figura 47. Mall San Carlos, Arq. MACordero + OPB (2011) Archivo del autor (2011).

Generalidades del proyecto

Proyecto de inversión de una familia local, para aprovechar la propiedad que les pertenece y se encuentra vecina al Hospital San Carlos. Se realiza el anteproyecto arquitectónico que da forma a la idea de negocio; un equipo consultor realiza el estudio de mercado y financiamiento para el proyecto, con recomendación para que se realice un concurso por invitación a efecto de cotizar la ejecución de los planos constructivos. Resultado del concurso privado se selecciona a la firma OPB arquitectos que, en asocio con Ingeniería Estructural y Electromecánica, desarrolla los planos finales. El proyecto no se llevó a cabo por cuanto no se logró concretar la asociación con las tiendas claves en las condiciones propuestas por los propietarios inversionistas.

Arquitectura y construcción

El edificio se plantea compuesto por tres cuerpos independientes e integrados, a construir con marcos de concreto reforzado, modulados a cada 11 metros y altura de 3 m entre niveles de piso. Las fachadas y envolventes en concreto con parasoles frente a las ventanas, para evitar el asoleamiento directo y el perjuicio de la lluvia constante sobre los acabados de fachada. En dos cuerpos vinculados por un elemento central y otra ala adosada para realizar un espacio de megatienda, se realiza la propuesta que alberga salas de cine, tiendas grandes y medianas, food court, tiendas de pequeño formato y las instalaciones de apoyo.



Figura 48. Mall San Carlos, Arq. MACordero + OPB (2011) Archivo del autor (2011).

Arquitectos

Propuesta de diseño: Arq. MACordero

Costo proyectado en 1998 \$1,600,000 USD.

Extensión proyectada 36,000 m².



Figura 49. Mall San Carlos, anteproyecto. Preparado por el autor (2011). Archivo del autor.

1.1.9 Caso 9: Auditorio Nueva Generación Arq. Marco Ant. Cordero R.

Descripción general

Proyecto de desarrollo privado, en el cual se establece realizar la ampliación de la oferta de formación deportiva y cultural, al construir sobre huella existente, con la inclusión de un Auditorio y salones taller de artes, danza y deporte.

Ubicación

El contexto es semi urbano, inmerso en un espacio residencial urbanizado, se desarrolla esta institución educativa, de escuela y colegio, con aproximadamente 500 alumnos. Sobre el gimnasio existente, se edifica el Auditorio y talleres, conformando un edificio que integra la piscina y cancha de fútbol.

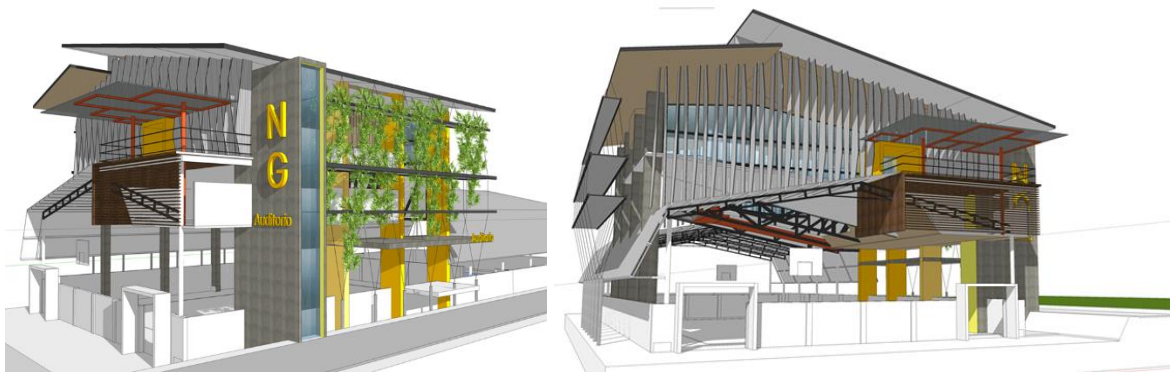


Figura 50. Auditorio NG. (2018) Perspectivas de anteproyecto, propuesta elaborada en colaboración con el autor y el Arq. Ledezma F. Archivo del autor.

Generalidades del proyecto

La institución educativa Nueva Generación, con más de 20 años de existencia, ha crecido en su oferta, no solo educativa y formadora, sino inclusive en la planta física para albergar disciplinas deportivas y culturales, por lo anterior, el gimnasio existente no cuenta con las condiciones necesarias para el desarrollo de otras actividades y con mejor confort para quienes participan de los diferentes eventos y lecciones. Por esto, por lo que los propietarios deciden realizar una mejora a las instalaciones generales de la institución con la adición de un Auditorio.

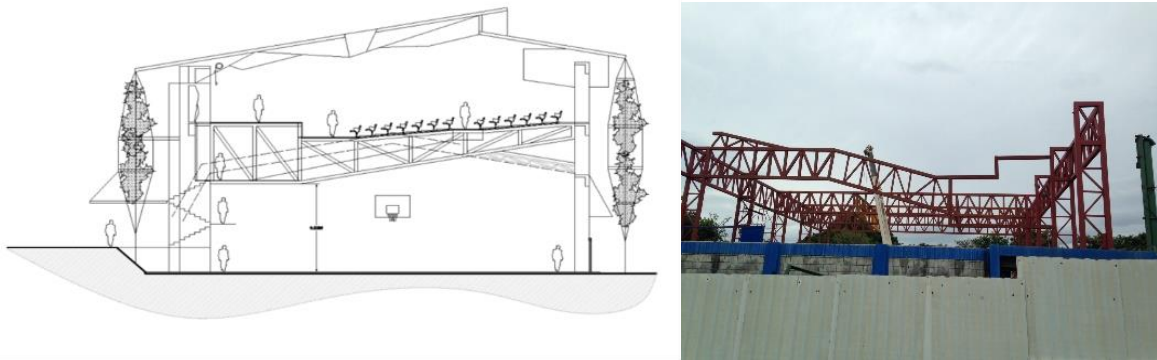


Figura 51. Auditorio NG. (2018) Sección propuesta y estructura en construcción. Fotografía por el autor.

Se realiza la investigación de la normativa local, y se encuentra que el porcentaje de área verde no es el suficiente para las instalaciones, dado que se ha sobrepasado el porcentaje de reserva, por lo tanto luego de varias propuestas, se aprueba la de construir sobre el gimnasio existente, sin afectar la huella ya aprobada y esto es admitido, incluso, por las instituciones estatales y locales.

Sobre el gimnasio existente se propone realizar una nueva estructura elevada que soporte la condición de un Auditorio para capacidad superior a 200 personas. Una vez desarrollada la propuesta arquitectónica, se ve la oportunidad de agregar además espacio para talleres de práctica de disciplinas de teatro, canto, baile y artes marciales, por lo que se amplía el alcance del proyecto. Ya existe una piscina bajo techo, la cual no se integra a este proyecto.

A los propietarios se les presenta el anteproyecto y un catálogo de tres empresas constructoras que se pueden hacer cargo de la ejecución del proyecto, de estas seleccionan una y es la que lleva a cabo la construcción y el equipamiento.

Arquitectura y construcción

La propuesta se enfoca en un desarrollo arquitectónico con clara dirección hacia un modelo de arquitectura verde, sostenible y propicia para el modelo de institución ecológica.

Se implementan pantallas verdes en las fachadas para minimizar el impacto del sol, reduciendo el acceso directo de este a los espacios interiores, se tamiza la luz del sol y se proporciona sombra sobre las fachadas, propiciando el enfriamiento del aire exterior y

mimetizando el edificio en el contexto. Es una nueva figura, renovada de las edificaciones educativas y culturales, que forman parte del conjunto y que servirá como punta de lanza para el mejoramiento de la planta edilicia del centro educativo.



Figura 52. Auditorio NG. (2018) Vista aérea de conjunto y levantamiento topográfico. (Google, 2019).

Promotor o propietario

Centro Educativo Nueva Generación, Propilima S.A.

Arquitectos

Arq. Felipe Rivera (Rivera + Ledezma arquitectos)

Arq. Marco Cordero. GUIA + CinBioSis

Imágenes del proyecto Auditorio Nueva Generación

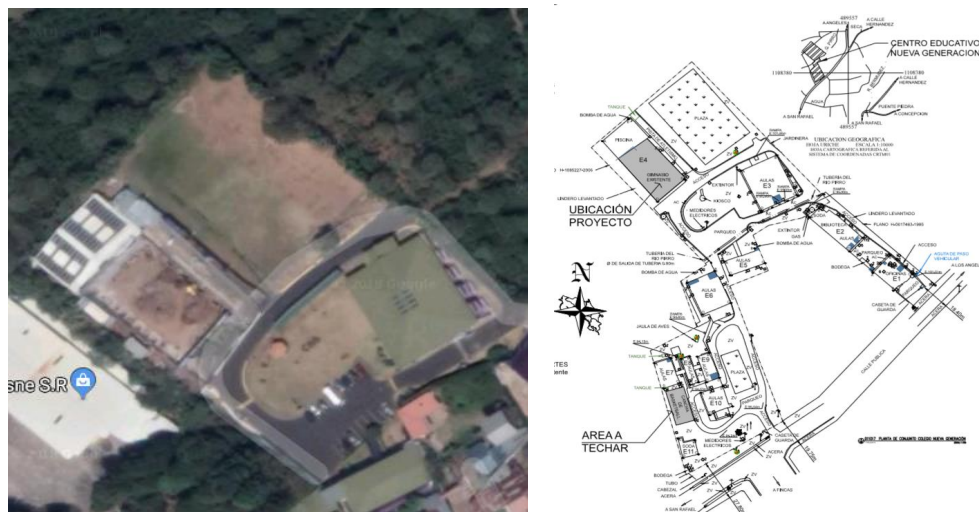
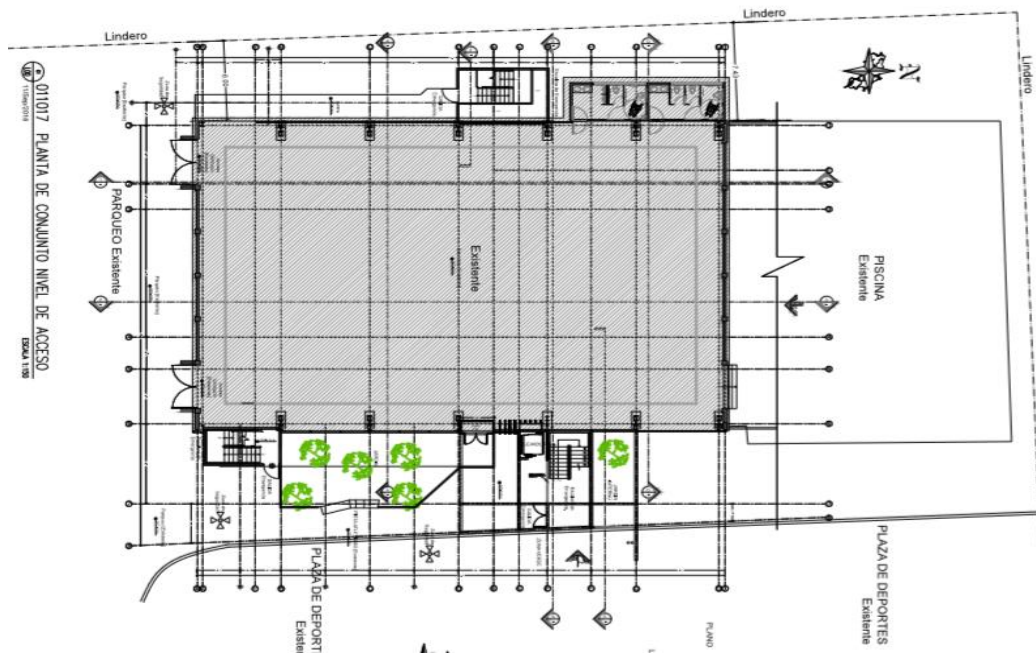
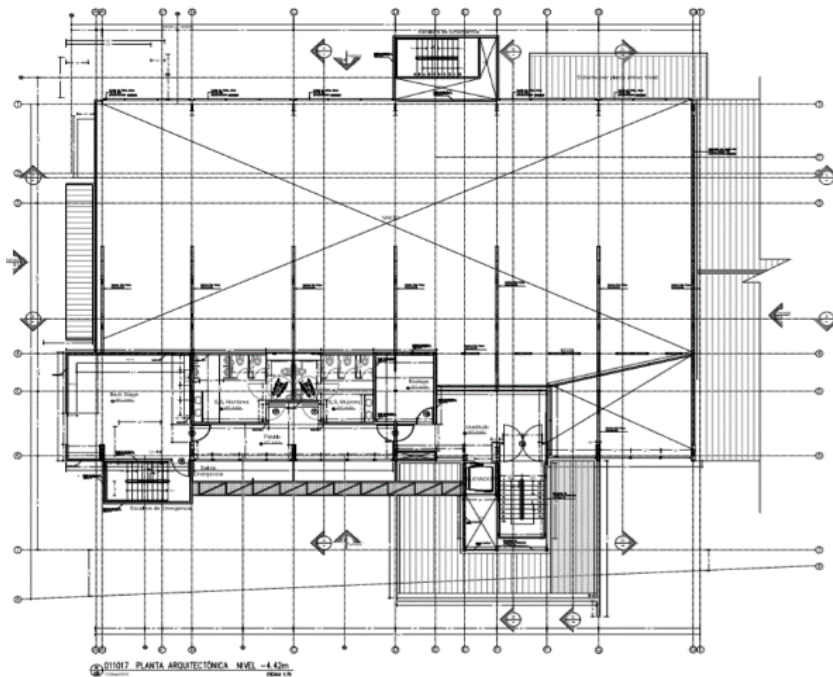


Figura 53. Auditorio NG. (2018) ubicación y localización. Archivo del autor. (Google, 2019).



Planta Distribución primer nivel: gimnasio



Planta segundo nivel Servicios

Figura 54. Auditorio NG. (2018): Planta distribución arquitectónica. Elaborado por el autor., anteproyecto 2018.

1. Objetivo principal

Desde el paradigma de la sostenibilidad, el objetivo principal de la investigación es formular una propuesta de mejora a partir del análisis de edificaciones sostenibles y soluciones constructivas con técnicas avanzadas, para integrarlos como ingeniería de valor por considerar en el proyecto del Auditorio para el Centro Educativo Nueva Generación.

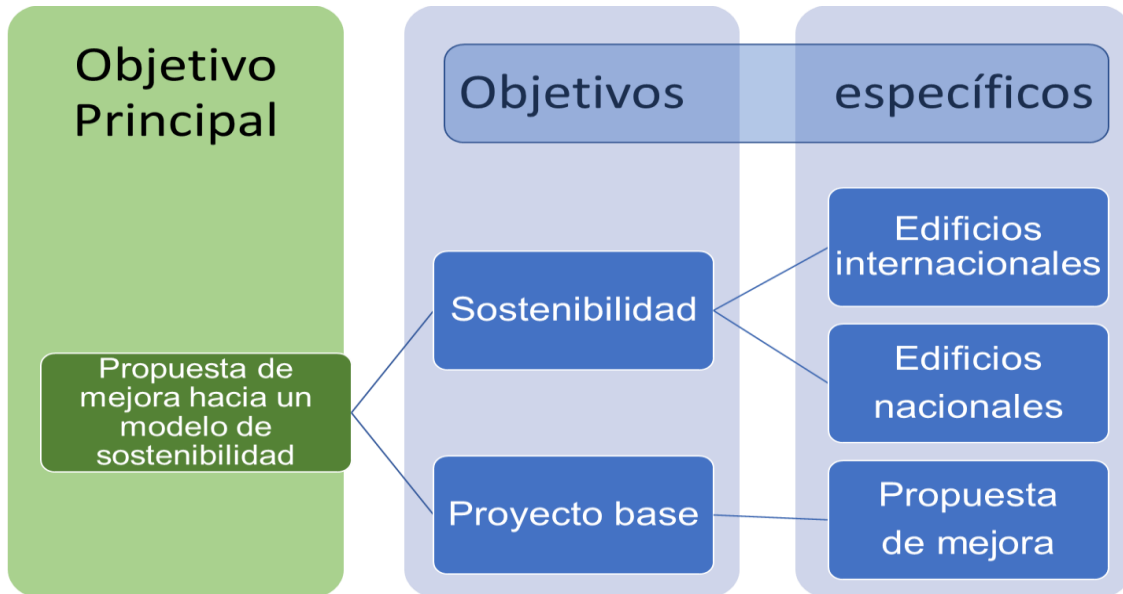


Figura 55. Diagrama estructura objetivos. Elaborado por el autor (2021).

2. Objetivos específicos

1. Identificar el criterio del paradigma de la sostenibilidad en la arquitectura.
2. Preparar una base de selección y evaluación de edificaciones sostenibles en el contexto internacional.
3. Aplicar la herramienta multicriterio de sostenibilidad en arquitectura.
4. Reformular el proyecto base bajo la premisa de integrar los conceptos de sostenibilidad.

Actividades por realizar para lograr el objetivo principal y específicos:

El tema por desarrollar es la formulación de una propuesta de mejora para un proyecto nacional bajo la premisa de integrar materiales y sistemas constructivos con fuerte arraigo actual en el paradigma de la sostenibilidad.

1. **Selección de proyectos internacionales:** preparar una selección de obras arquitectónicas que resaltan en el escenario internacional por su desarrollo en aplicación de técnicas sostenibles.
2. **Identificar criterios,** conceptos y mecanismos constructivos en edificios en los que se desarrolla la implementación de sostenibilidad, así como tecnologías inteligentes en materiales y construcción.
3. **Conocer** los usos de sistemas y mecanismos constructivos aplicados a los procesos de constructividad utilizados en otros contextos, y su adaptabilidad al ambiente climático, económico y desarrollo de la industria de la construcción local.
4. **Construir una rúbrica de criterios** para la calificación de los proyectos identificados de modo que resulte una evaluación con base en criterios de sostenibilidad para seleccionar un proyecto internacional a fin de compararlo con un proyecto nacional a intervenir.
5. **Aplicar la metodología multicriterio** para comparar el edificio internacional seleccionado y contrastar con el edificio nacional, de manera que, con base en el resultado, identificar los criterios de mejora para elevar la ponderación de sostenibilidad en el proyecto a intervenir.
6. **Mejoras al proyecto base:** Desarrollar la propuesta de mejora para el proyecto nacional.

7. **Validación de resultados:** Aplicar la rúbrica multicriterio de sostenibilidad a la propuesta de mejora y valorar las consideraciones del resultado.
8. **Identificar** sobre las propuestas actuales de investigación y desarrollo en sistemas constructivos, materiales y productos del mercado internacional y los disponibles en Centro América y en nuestro medio local.

La investigación tiene por objeto del análisis una selección de edificios desarrollados en otras latitudes del mundo, con el fin de realizar la evaluación desde la perspectiva de la propuesta del diseño conceptual, el modelo estructural, las técnicas constructivas y los materiales que se utilizan en este tipo de edificaciones.

De esta manera, observar los posibles espacios de mejora en las etapas tempranas de conceptualización y diseño, para más tarde integrarlos en la etapa de constructividad y administración de la obra, como elementos de la ingeniería de valor por considerar, desde el paradigma de la sostenibilidad, con la posibilidad de incorporar las más altas perspectivas de integración a los modelos industriales de los materiales y técnicas de construcción, a efectos de mejorar el desempeño y modernización de las edificaciones locales en un ámbito de desarrollo para el ejercicio profesional en la región centroamericana y del caribe.

Se aborda la investigación y análisis en un proceso de diseño integral creativo cognoscitivo para introducir materiales y sistemas constructivos que se utilizan en la actualidad, aplicados en entornos socio culturales y climáticos diferentes al local, con fuerte arraigo en el paradigma de la sostenibilidad.



Figura 56. Las tres dimensiones de la ingeniería sostenible *basado en RAE (2020); (Rodríguez F. , 2010).*

Para analizar conceptos, herramientas y principios generales que colaboran en la comprensión del impacto que se genera en las etapas tempranas de diseño y construcción, se trabaja con la metodología de evaluación de edificios que muestran aplicación del concepto de soluciones constructivas con técnicas avanzadas, orientada a conseguir edificaciones más sostenibles en el trópico.

De esta manera se realiza la valoración objetiva de un grupo de edificios seleccionados, al que se le aplica la metodología de evaluación multicriterio, con el enfoque de formular una propuesta de mejora a partir del análisis de edificaciones sostenibles y soluciones constructivas con técnicas avanzadas.



Figura 57. Criterios para lograr Objetivos Específicos. *Elaborado por el autor. (2021).*

En el análisis preliminar de un conjunto de edificios seleccionados para aplicar la evaluación multicriterio se han considerado aspectos tales como:

Partí arquitectónico

- Ubicación y emplazamiento
- Programa arquitectónico

Procesos constructivos

- Principales características constructivas
- Sistema estructural
- Cerramientos
- Envolvertes

Consideraciones climáticas

- Revisión del planteamiento del edificio
- Emplazamiento urbano o rural
- Climatología

Aspectos económicos

- Planteamiento económico constructivo

Ingeniería de valor

- Análisis de los materiales
- Procesos y sistemas constructivos
- Replanteamiento comparativo en la materialidad del modelo seleccionado

El análisis se realiza para establecer un modelo de proceso adecuado para la toma de decisiones sobre la selección de los materiales en la etapa de formulación y diseño, procesos de construcción y programación de obra, de modo que se logre mejorar las edificaciones terminadas y obtener una base de recomendación para la sostenibilidad en el ciclo de vida de la edificación, desde el inicio del pensamiento que origina la idea, hasta la operación, mantenimiento y disposición final de la edificación, sus materiales, instalaciones y equipos, entre otros.

3. Metodología

3.1 Justificación

La arquitectura como diseño tiene por fin primordial la construcción de espacios habitables para el confort del ser humano, por esto la integralidad conceptual es un enfoque que se persigue para obtener resultados que van de la mano con las necesidades de trabajo, ocio y esparcimiento de las personas. Así, la integralidad que se propone debe incluir el contexto, los requerimientos y al ser humano, para obtener un producto final que alberga funciones y personas en ambientes sostenibles.

El enfoque de ciclo de vida, que se aborda en la presente investigación, se dirige hacia la utilización de herramientas de evaluación y comparación entre pares, para cuantificar el efecto de la selección de técnicas, tecnologías y materiales sobre el medio ambiente y las actividades que desarrollan las personas.

Así, el análisis del ciclo de vida identifica flujos de materiales, energía y residuos que se generan en la edificación durante el periodo operativo de su vida útil. Se consideran alternativas en la selección de materiales y sistemas constructivos desde etapas iniciales de la conceptualización de las alternativas a la luz del impacto medioambiental.

En los resultados se espera:

- Identificación de procesos, materiales y sistemas que constituyen un impacto ambiental.
- Comparación de opciones con el fin de reducir impactos ambientales
- Evaluación de los efectos sobre los recursos naturales asociados a los productos seleccionados.
- Provocar en los diseñadores la utilización de materiales armoniosos con el ambiente. (Arquitectura sostenible, 2018).

3.2 Marco teórico

El concepto de sostenibilidad se entiende como sinónimo de la sustentabilidad, donde la arquitectura y su expresión formal en la edificación es el resultado de la integración funcional de los aspectos ambientales, económicos y sociales, con el objetivo de atender las necesidades actuales sin comprometer la atención de las necesidades futuras. (Jewel, 2002).

Por sentido común, se busca la comodidad y confort, para esto se parte del conocimiento de las condiciones del lugar, el clima, el tiempo, los materiales y las técnicas constructivas, entre otras, así no solo se analiza la obra física, sino que se estudia a las personas y sus reacciones físicas ante el ambiente logrado tanto fuera como dentro de la edificación.

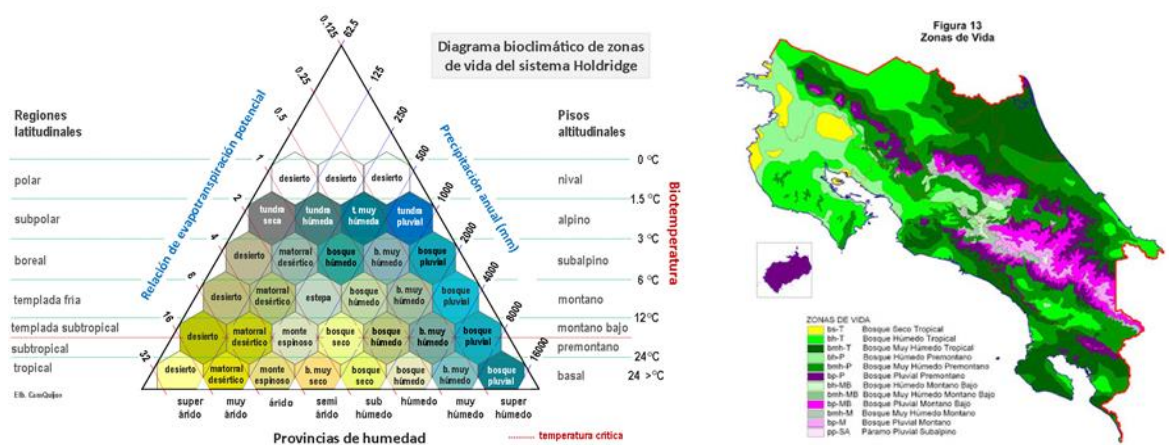


Figura 58. Diagrama bioclimático de zonas de vida del sistema Holdridge. (Villareal, 2018).

El caso de Costa Rica cuenta con variables climáticas, con zonas más o menos cálidas, húmedas, de costa, valle y montaña, que hacen del paisaje uno de los elementos importantes por considerar. La arquitectura y construcción sostenible provoca que las personas por su desarrollo inteligente puedan establecer su actividad según las condiciones ambientales para que le beneficien y le sean favorables, sin afectar al medio ambiente, por lo que es necesario volver hacia una arquitectura adaptada a las condiciones de hoy (Salazar, 2011).



Figura 59. Paisaje rural y urbano de Costa Rica. Google (2020).



Figura 60. Sostenibilidad, diagrama elaborado por el autor. (2020).

Los temas de sostenibilidad y bioclimática se desarrollan con mayor amplitud en el Capítulo de Formulación a seguir. En anexos se desarrolla el análisis bioclimático del sitio de obra nacional seleccionada, página 270.

3.3 Metodología

La metodología utilizada para la construcción del documento se basa en técnicas de recolección de información de fuentes bibliográficas, como libros especializados, artículos, proyectos de investigación y otros, además de la selección de datos provenientes de la experiencia propia en el ejercicio profesional del diseño y construcción de obras diversas y no menos importante la experiencia obtenida durante los talleres y cursos de la Maestría Académica en Arquitectura y Construcción de la Universidad de Costa Rica.

Para la investigación se desarrolla la temática desde el punto de vista de la observación crítica del autor con base en visita al sitio, reconocimiento de la edificación, lectura de planos, fotografías del proceso de ejecución de la obra e información brindada por los profesionales involucrados en la construcción del Auditorio.

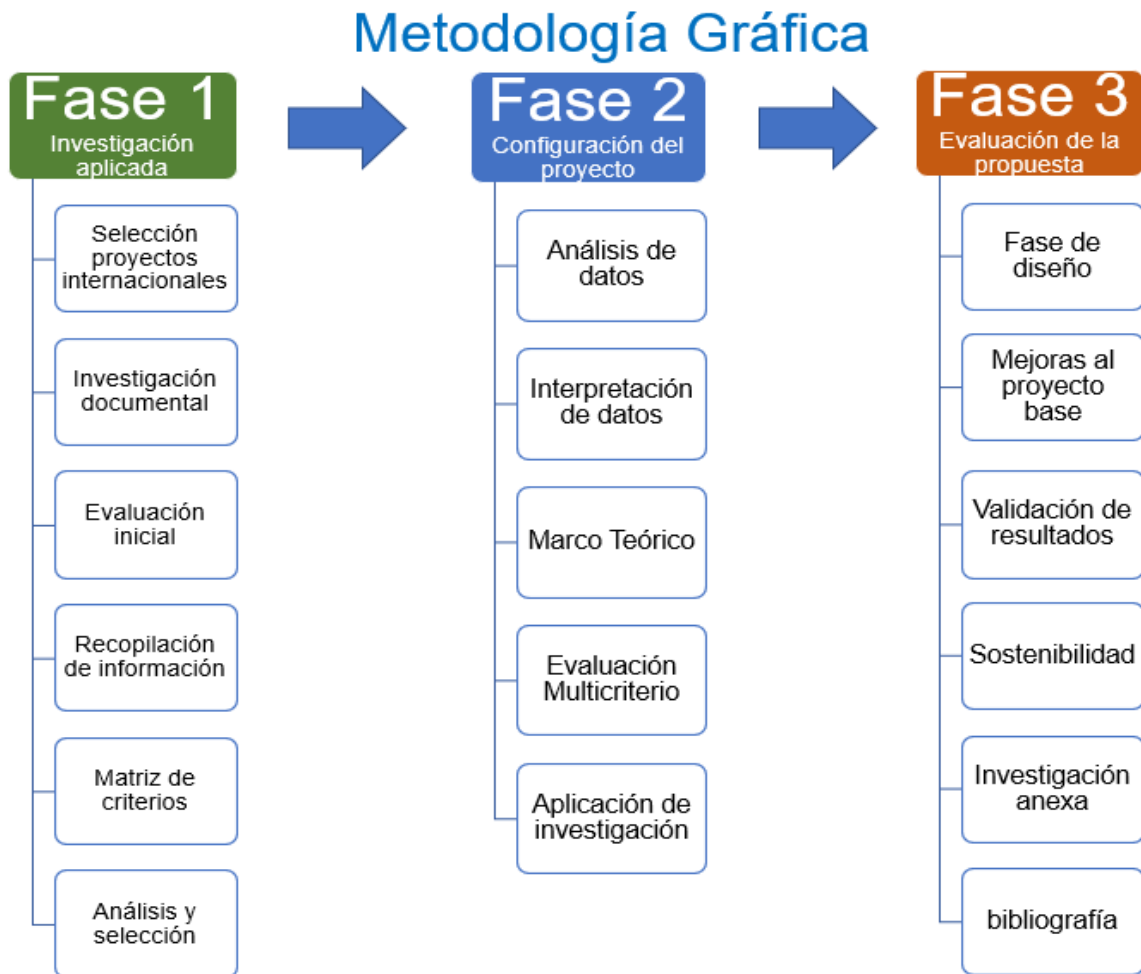


Figura 61. Diagrama de investigación, elaborado por el autor. (2021).

3.4 Herramienta

En la primera sección de desarrollo para el abordaje del proyecto, se realiza la evaluación de la edificación por considerar, a partir de la información aportada por el consultor, según planos constructivos para permisos de construcción. Con base en esta información se

aplica la herramienta de evaluación multicriterio, bajo criterios ambientales, sociales y económicos, con resultado de la puntuación, según se ha establecido.

Proyecto 9 Auditorio NG	Técnica	Alcance Promedio del Proyecto	Estructural Primario	Elementos de fachada	Sistema de cubierta	Eficiencia Energética	Tecnología
	El diseño de implementación del sistema a nivel constructivo requiere de profesionales altamente especializados.	88,00%	10	8	6	10	10
	El diseño del sistema requiere de procesos de fabricación de alta tecnología o experimentales.	68,00%	6	6	6	10	6
	El diseño de implementación del sistema constructivo está compuesto de materiales poco convencionales que sean de difícil acceso ya sea por su especificidad o alta demanda.	64,00%	6	6	4	8	8
	Es necesaria la asistencia de sistemas informáticos especializados para su diseño, tanto a nivel arquitectónico como estructural.	64,00%	8	6	4	8	6
	Existe información accesible respecto a los procesos de control de calidad para la escogencia y especificación de materiales así como aspectos críticos en su diseño.	72,00%	10	4	6	8	8
	Seguridad contra el fuego	88,00%	10	8	10	8	8
	Al ser aplicado este sistema, existe alguna variable técnico legal que no este contemplada en el marco normativo costarricense.	60,00%	8	2	6	6	8
	Se requieren de altos niveles de especificación para poder implementar el diseño.	60,00%	8	6	4	6	6
	Es necesario el análisis amplio de detalles constructivos tanto arquitectónicos como estructurales.	76,00%	8	8	6	8	8
			82,22%	60,00%	57,78%	80,00%	75,56%
		71,11%	Alcance por variable				

Figura 62. Modelo para la evaluación de proyectos seleccionados. Elaborado por el autor. Revisado en Setiembre (2020).

El modelo multicriterio es el utilizado en la Escuela de Arquitectura, elaborado por el MSc. Arq. Jorge Evelio Ramírez, aplicado en talleres anteriores del Posgrado en Arquitectura y Construcción, consiguiendo una evaluación **ex ante** y **ex post** sobre el proyecto, bajo la premisa de nivelación entre los tres parámetros: ambiente, social y económico, para no dar mayor valor o peso a uno sobre otro en los criterios principales (Ramírez E. , 2012).

Con la aplicación de la herramienta se ha podido obtener una puntuación de evaluación preliminar, bajo criterios más objetivos y de acuerdo con la experiencia y preferencias del evaluador; con lo cual, además, se toma la decisión de concentrar la intervención de estructura principal y acabados, para este ejercicio, en materiales para cerramiento de cubierta y fachadas.

Entre los hallazgos que considerar en el desarrollo de la propuesta están la ubicación privilegiada y reconocida del edificio existente, crecer en la oferta de espacio de formación cultural y deportiva, además de incorporar instalaciones electromecánicas de alto desempeño con estándares de sostenibilidad, ahorro energético y de recursos, así como mejorar la figura estilística de su arquitectura para realce del conjunto arquitectónico en el centro educativo.

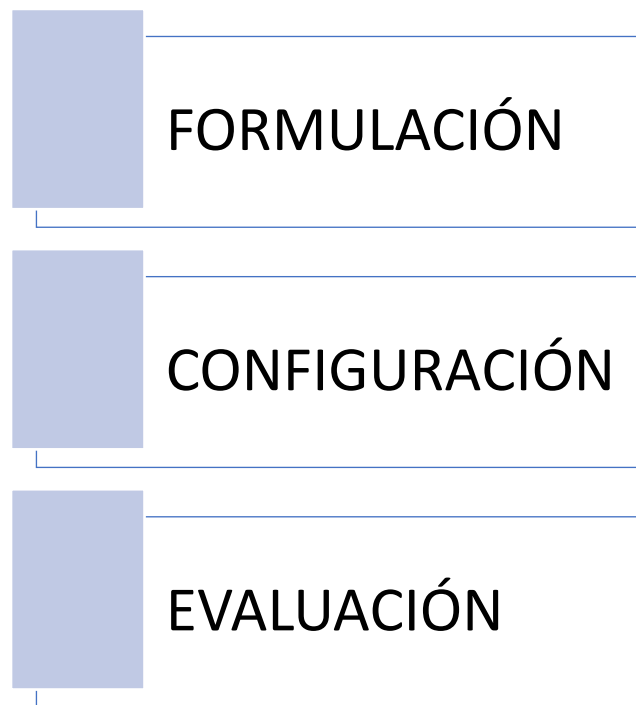


Figura 63. Tres etapas, elaborado por el autor (2020).

El planteamiento metodológico consiste en tres etapas secuenciales que facilitan la lectura del procedimiento y el análisis del tema.

FORMULACIÓN – CONFIGURACIÓN y EVALUACIÓN, que se desarrollan a continuación.

4. Formulación

Esta investigación se orienta hacia la evaluación y el estudio comparativo entre proyectos, uno internacional seleccionado y uno nacional propio, para desarrollar un proceso crítico que oriente hacia la aplicación de soluciones de diseño y construcción bajo la premisa de la sostenibilidad, con el fin de mejorar el propio ejercicio profesional al utilizar herramientas de análisis, evaluación, investigación y comparación crítica, que obliguen a dar más en la propuesta de diseño, para implementar los resultados de la investigación.

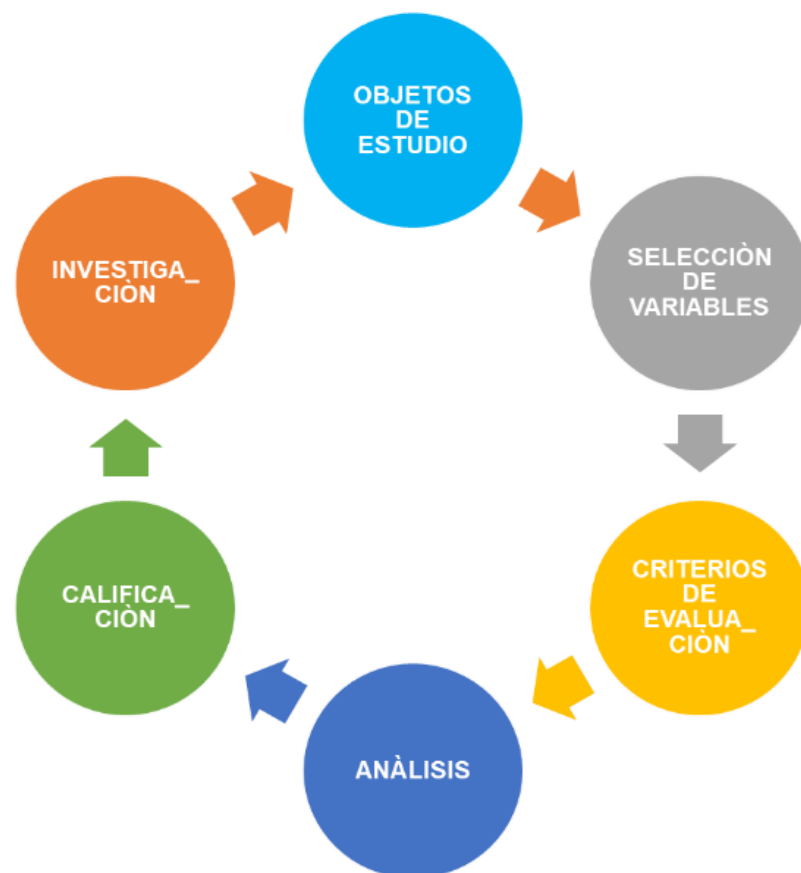


Figura 64. Diagrama del Modelo de investigación, elaborado por el autor. (2019).

La selección de los proyectos escogidos para realizar el ejercicio de mejora, parte del análisis de una serie de edificios internacionales que sobresalen por sus características de sostenibilidad y aplicación novedosa de técnicas constructivas y materiales tradicionales, los cuales integran características deseables en la valoración del modelo arquitectónico de reducida huella ambiental que se detallan más adelante.



Figura 65. Principales temas por considerar. Auditorio NG, archivo del autor, Catedral del Cristo de la Luz. (Rubio, 2011).

En esta sección se presenta la comparación de datos de los dos proyectos seleccionados, desde el análisis del contexto y la zonificación general de la implantación del edificio, orientado a desarrollar una propuesta de intervención hacia la mejora desde el enfoque de incorporar conceptos y criterios evaluados en los proyectos internacionales y de acuerdo con las intenciones expresadas en el análisis multicriterio, que se fundamenta en el desarrollo de criterios de sostenibilidad.

+ Instituto de Innovación Cradle to Cradle Products

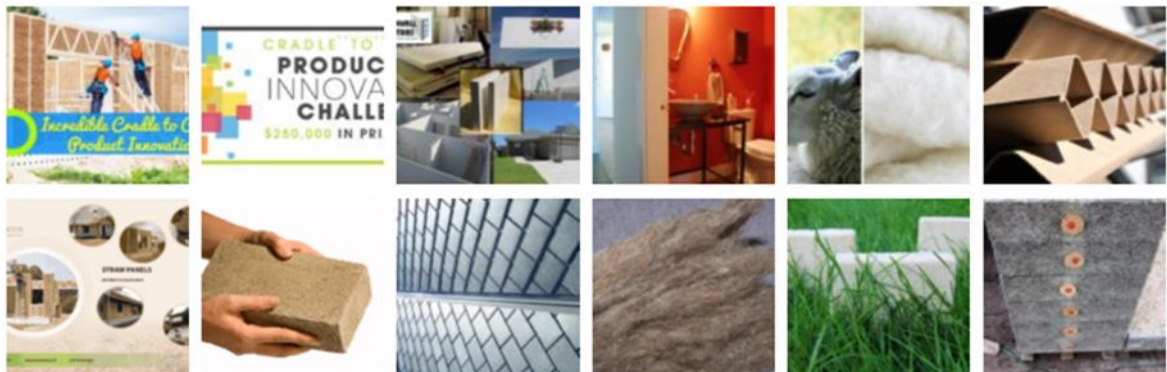


Figura 66. Desafío de Innovación de Productos Cradle to Cradle en asociación con Make it Right. <https://inhabitat.com/meet-the-ten-finalists-in> (Cradle to Cradle, 2013) -

Como objetivo, se investiga sobre la aplicación de materiales tradicionales de la construcción en acero, madera, concreto y vidrio, según el uso en sistemas constructivos de aplicación en entornos complejos, y la posibilidad concreta en el entorno local, así como establecer criterios de adaptabilidad, comportamiento y sostenibilidad.

El alcance se delimita en el análisis de la estructura principal y su materialidad, así como la envolvente en cubierta y fachadas; como partes que se suman para dar la apariencia y resistencia de la edificación, lograr el desarrollo espacial compuesto y aprovechar la incidencia solar, ventilación e iluminación natural y los sistemas de la arquitectura pasiva.

PARADÍGMA DE LA SOSTENIBILIDAD

FORMULAR UNA PROPUESTA DE MEJORA A PARTIR DEL ANÁLISIS DE EDIFICACIONES SOSTENIBLES Y SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS CON TÉCNICAS AVANZADAS, PARA INTEGRARLOS COMO INGENIERÍA DE VALOR A CONSIDERAR PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO Y MODERNIZACIÓN DE LAS EDIFICACIONES LOCALES EN UN ÁMBITO DE DESARROLLO PARA EL EJERCICIO PROFESIONAL EN LA REGIÓN CENTROAMERICANA Y DEL CARIBE.



Figura 67. Paradigma de la sostenibilidad. Diagramación preparada con base en información consultada, SOM (2008).

Sostenibilidad: para efectos del documento, entiéndase como un sinónimo de sustentabilidad. Se refiere a la integración funcional de los aspectos ambientales, económicos y sociales, con el objetivo de atender las necesidades actuales sin comprometer la atención de las necesidades futuras. www.un.org. Cumbre de Johannesburgo, (Jewel, 2002).

Entre los elementos considerados en la investigación con aplicación en la integración hacia la sostenibilidad arquitectura y construcción, con materiales y técnicas pasivas, se encuentran enumerados en la siguiente figura.

Sostenibilidad

“María Jesús González Díaz, (González, 2019), Presidenta de la Asociación Sostenibilidad y Arquitectura (ASA), Madrid, España, explica que “desde un enfoque humanístico y global, la arquitectura sostenible sería la que es sensible al conocimiento y la representación que tenemos ahora del mundo, en que interesan en un mismo plano los problemas humanísticos y los ambientales, sin desocuparse de los socioeconómicos...”. (González, 2019).

Betancourt, García & Quintero (2012) al respecto manifiestan “Las características climáticas del trópico implican consideraciones especiales en el diseño de las aperturas (puertas, ventanas, vacíos), es importante establecer estándares que en lugar de promover el uso generalizado de energía convencional para ventilar espacios, promuevan la aplicación de técnicas pasivas de enfriamiento y criterios bioclimáticos apropiados para el uso eficiente de la energía”. (Betancourt, 2012).

Según información obtenida de diferentes fuentes en publicaciones digitales consultadas sobre el tema de la arquitectura y la sostenibilidad, se puede establecer que el proyecto sostenible se compromete a reducir el calentamiento global, para lo cual se determina incluir técnicas de ahorro de energía y recursos, sin dejar de lado el equilibrio del capital entre el costo inicial y el costo operativo, en el mediano y largo plazo. (Betancourt, 2012).

Por lo tanto, la creación de espacios saludables y confortables compromete al arquitecto a lograr un equilibrio viable y en acuerdo con las necesidades de los usuarios, respetando el medio ambiente natural como eje de la sostenibilidad.

Reconocidos arquitectos del ámbito internacional, como Norman Foster (edificio Swiss Re, Londres) y Santiago Calatrava (Aeropuerto de Bilbao) utilizan elementos de la naturaleza como base para el desarrollo de sus proyectos. Paralelamente, Richard Rogers la emplea como herramienta de diseño; muestra de ello es el aeropuerto de Barajas (Madrid), cuya

cubierta conformada por líneas sinuosas y una selección de colores del arcoíris evocan paisajes naturales al mismo tiempo que se integran con él.



Figura 68. Naturaleza como herramienta de diseño. (Becerra, 2018).

Otros arquitectos han reinterpretado conceptos de la naturaleza, desde los muros transpirables hasta la adaptación de manuales de ventilación natural. Así, en lugar de oponerse a ella, mediante la implementación de sistemas de calefacción o refrigeración, han optado por buscar la manera de aprovechar la energía del sol, el viento y la tierra, creando sistemas energéticos autosuficientes. De igual modo, ciertas prácticas, como el empleo de materiales ecológicos o reciclados, o simplemente el uso eficiente de los recursos tradicionales, se establecen como un ideal.



Figura 69. Círculo sostenibilidad. (Arquidia, 2010).

Existe actualmente una amplia gama de productos y materiales para la construcción, pensados para el beneficio de las personas y del medioambiente. Multinacionales como Hunter Douglas tienen la sostenibilidad como bandera y por eso presentan productos para los cielorrasos Techstyle, Heartfelt y de fibra mineral de la marca OWA, los cuales cumplen con requerimientos acústicos para crear espacios confortables. Sobresale que son fabricados con materiales que no generan emisiones tóxicas, garantizando la salud de los ocupantes. También tienen ecoetiquetas como Greenguard Gold, Blue Angel y Cradle to Cradle, entre otras, consideradas para puntuar en sistemas de certificación de sostenibilidad de las edificaciones, lo que es deseable.



Figura 70. Sistema de cubierta aislante doble capa y relleno. (CR, 2020).

Se ha generalizado la aplicación en fachada del producto Superwall 50, y para la cubierta, Techmet 50 paneles prefabricados con dos caras de acero prepintado y con un aislamiento interno en espuma de poliisocianurato (PIR). La selección de estos productos se basa en tres características: la baja transmisión térmica que permite optimizar el diseño de ventilación natural y mecánica; el uso de colores tanto en las fachadas como en cubiertas con colores que por su valor de SRI (índice de reflectancia solar) brindan aislamiento por reflectividad.

Así este tipo de materiales aportan a la reducción de la isla de calor y tienen una baja transmisión térmica permiten disminuir el uso de equipos de ventilación mecánica, lo cual se traduce en una reducción considerable en el consumo de energía eléctrica. El uso de este tipo de materiales contribuye a obtener créditos en programas de certificación de edificios sostenibles, como LEED, BREEAM y otros.

En la línea de maderas la principal materia prima por seleccionar es la que proviene de bosques cultivados donde garanticen el manejo responsable y la cadena de custodia de esta. A su vez, para la grifería y losa sanitaria se emplean válvulas, mezcladores,

aireadores y otras piezas que otorgan un sistema integral que optimiza el uso eficiente del agua hacia su mejor aprovechamiento, conservación y disposición adecuada para el reuso.



Figura 71. Oficina Nacional Forestal, Costa Rica (2020). (Oficina Nacional Forestal , 2020).

El uso de vidrio de alto desempeño, que incorpora capas invisibles de materiales metálicos especiales que producen un doble efecto, permiten que la luz atraviese el vidrio, pero a la vez evitan el calor del sol. Todo esto se traduce en menos uso de aires acondicionados y en un importante ahorro energético. Otros de los beneficios de los vidrios de control solar son rechazar el calor del exterior –en ocasiones hasta en un 70%–, reducir la pérdida de temperatura entre interior y exterior, disminuir los rayos UV en un 99 %, maximizar la luz natural y bajar el deslumbramiento, para aumentar el confort en espacios internos, entre otros.

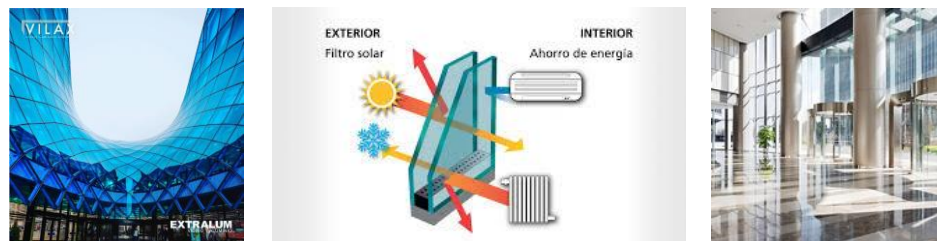


Figura 72. Vidrio de bajas emisiones, para aislar el acceso de los rayos de sol que calientan el interior del edificio. Vidrios especiales (Extralum, 2020), y en (Elegir ventanas, 2020).

¿Qué aporta la arquitectura a la Sostenibilidad?

Es necesaria una respuesta positiva a favor de la sostenibilidad por parte de la arquitectura y la construcción, a través de un cambio de paradigma orientado hacia la mejora del entorno construido, donde las personas obtengan un ambiente apropiado para la vida.

Desde la arquitectura se debe actuar con la incorporación de estrategias de diseño pasivo, activo, bioclimático, para desarrollar estrategias con la integración del clima y los mecanismos automatizados que colaboran o participan en dichas estrategias.



Figura 73. Arquitectura de consumo energético cero. Costa Rica Cero Construcción de energía (2020). casa prefabricada en Costa Rica , que el estudio de arquitectura A-01 creó como prototipo para una serie de futuras viviendas cero emisiones de carbono. (Gibson, 2020).

Un primer objetivo se orienta hacia incrementar la eficiencia energética en los edificios tanto los nuevos como los construidos, donde la tendencia a diseñar y construir edificios de consumo energético cero, casi nulo o reducido son los llamados Zero Energy Building (nZEB), este es un mandato que se incorpora en la industria tanto en el desarrollo privado como público como compromiso de eficiencia en el uso de los recursos, y el cual ha sido el abordaje por (Bermejo, 2015), en su artículo Sostenibilidad en la arquitectura.

Se promueve una visión global en la Arquitectura, con integración de diseño energético eficiente - donde los consumos sean nulos o al menos tiendan a serlo- con eficiencia en el consumo del agua potable, uso de materiales naturales, reciclados, reciclables y de producción local, además de una gestión eficiente de los residuos de la construcción, incremento de la calidad, confort y biohabitabilidad de los espacios interiores, haciendo que estos sean más saludables y libres de tóxicos para sus ocupantes.

El segundo objetivo es la adopción de un modelo de desarrollo constructivo de ciclo de vida cerrado, “de la cuna a la cuna” (Cradle to Cradle) en el cual se prevé un modelo de mayor aprovechamiento de los recursos, y progresar en reuso, reutilización, reducción de residuos, superando modelos antes usados de use y bote. (Bermejo, 2015).

En la actualidad se ha evolucionado hacia un concepto de “arquitectura circular” el cual parte del concepto de la “economía circular” que sobrepasa el concepto anterior de sostenibilidad y eficiencia, desde el comportamiento cíclico de los elementos y materiales que se reutilizan, reciclan o transforman en cada nuevo uso, de modo que la materia se optimiza y desaparece el concepto de generación de residuos como parte de la cadena de valor en la reformulación de materiales para la construcción entre otros.

Apostar por este camino puede aportar beneficios como la disminución de costos operativos y de gestión de los edificios (Energía y agua) al crear edificios de bajo consumo energético y con sistemas eficientes. (Morant, 2021). A nivel de mercado es posible también lograr un incremento del valor objetivo de los edificios tanto para venta o alquiler, y lograr una mayor tasa de retorno de la inversión. En los casos de edificios de oficinas, habría mayor bienestar de los usuarios lo cual se traduce en salud, productividad y disminución de ausentismo. Los beneficios ambientales serán evidentes, al lograr una relación más equilibrada y respetuosa con el entorno, integrando el ciclo de vida de las personas al ambiente natural.

Hacia la descarbonización total

Basándose en este principio de sostenibilidad se impulsan las energías renovables, fomenta la reducción del consumo de agua, emplea materiales menos contaminantes, coloca puntos limpios y de reciclaje en sus promociones, potencia la biohabitabilidad, promueve la relación social de los usuarios, favorece la biodiversidad, alienta la digitalización y analiza el costo del ciclo de vida de los edificios para conocer sus emisiones de CO2 para reducirlas. Es notable que aún con las iniciativas apuntadas, no se logra aún llegar a acciones concretas y nos quedamos cortos por cuanto el desafío es la descarbonización total.



Figura 74. ODS, Objetivos de Desarrollo Sostenible. (WGBC, 2021).

El papel protagonista de la construcción en los ODS

Es importante el papel relevante de la construcción en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) mundiales para proteger el planeta. Según el World Green Building Council (2020), la construcción debe actuar de forma genérica en 9 de los 17 ODS:

- 3.- Salud y bienestar. “Las edificaciones sostenibles pueden mejorar la salud y el bienestar de las personas”.
- 7.- Energía asequible y no contaminante. “Las edificaciones sostenibles pueden usar energía renovable, cada vez más económica de implementar”.
- 8.- Trabajo decente y crecimiento económico. “La infraestructura de las edificaciones sostenibles genera empleo e impulsa la economía”.
- 9.- Industria, innovación e infraestructura. “El diseño de las edificaciones sostenibles fomenta la innovación y contribuye a la infraestructura resiliente al cambio climático”.
- 11.- Ciudades y comunidades sostenibles. “Las edificaciones sostenibles son el motor de ciudades y comunidades eficientes”.
- 12.- Producción y consumo responsables. “Las edificaciones sostenibles usan principios ‘circulares’, donde los recursos son aprovechados”.
- 13.- Acción por el clima. “Las edificaciones sostenibles producen menores cantidades de emisiones, ayudando a combatir el cambio climático”.
- 15.- Vida de ecosistemas terrestres. “Las edificaciones sostenibles pueden mejorar la biodiversidad, ahorran agua y ayudan a proteger los bosques”.
- 17.- Alianza para lograr los objetivos. “A través de la construcción sostenible creamos alianzas globales más fuertes”.

La construcción industrializada actúa en dos objetivos más:

- 6.- Agua. “Por una mayor eficiencia en el consumo en producción, en la vida y uso de la vivienda y en el saneamiento”.
- 10.- Reducción de desigualdades. “Por una mayor presencia de las mujeres en procesos industriales frente a su actual representación en la construcción, mayores facilidades de conciliación de la vida familiar y laboral y por la mayor facilidad, igualmente, para la incorporación de personas con discapacidades a la industria”.

Por otro lado, para poder realizar o construir arquitectura medioambiental y sostenible, es necesario que cualquier modelo conceptual propuesto parta de una sensibilidad ecológica que implique respeto al medio natural que nos rodea, bajo la premisa no solo de no destruir, sino inclusive de rescatar áreas impactadas y mejorar las condiciones ambientales naturales y propicias para mejorar el paisaje para las personas, las plantas y los animales.



Fuente: Naciones Unidas en Costa Rica (2020), con base en *La Gobernanza de los Objetivos de Desarrollo Sostenible*, MIDEPLAN (2017).

Figura 75. Gobernanza de los ODS, compromiso Costa Rica. (ODS , 2020).

María López (López, 2020), señala lo siguiente: Es interesante destacar la importancia del clima frente a los demás factores, no porque los excluya sino porque de alguna manera los engloba. Históricamente el clima ha definido tipos arquitectónicos, materiales, sistemas

constructivos, costumbres culturales, históricas, y en definitiva, formas de vida. Por lo que las condiciones de humedad, temperatura, asoleamiento, pluviosidad, régimen de vientos, entre otros, son fundamentales para entender la propia idiosincrasia de las distintas sociedades, tal y como comenta ya Vitrubio en su libro VI, capítulo I.3 Estos cuatro puntos definen la base sobre la que se habrá de desarrollar el proyecto arquitectónico para que responda a criterios de habitabilidad y confort tanto físico como psicológico.

En conclusión, la sostenibilidad en arquitectura va de la mano con la descarbonización, el mejor aprovechamiento de los recursos y el impacto positivo sobre el entorno, para propiciar mayor bienestar a las personas en un ambiente natural de vida en comunidad.

A Continuación se presenta la descripción de los edificios tomados a consideración para esta investigación y aplicación, iniciando con el proyecto local, Auditorio para el Centro Educativo Nueva Generación.

La selección de los edificios considerados para este ejercicio se ha realizado con base en la aplicación de herramientas preparadas para este fin, primero con la construcción de cuadros de criterios para la evaluación y selección, obteniendo una rúbrica que permite obtener una nota que facilita reducir el ámbito de selección y desde luego la aplicabilidad de los valores para trascender hacia la mejora de un proyecto local.



Figura 76. Proyecto nacional Auditorio NG. Archivo del autor. (2018).

El proyecto nacional seleccionado sobresale en la calificación ante la verificación de oportunidad de mejora, desde la perspectiva de la sostenibilidad, al ser un concepto de protección ambiental incorporado en los valores de la institución donde se desarrolla y la oportunidad de considerar una nueva materialidad para la figura de la misma institución como proyección a los años venideros.

El proyecto internacional seleccionado ha conseguido sobresalir por sobre otros en la medida que incorpora materiales conocidos, los cuales logran obtener en nuestra latitud, pero con mayor exigencia técnica se pueden observar en proyectos recientes del ámbito internacional y en este proyecto, sobresale la técnica de fabricación, de construcción y la mano del diseño para conseguir características propias del modelo arquitectónico que le hace sobresalir en su entorno, por lo que ha recibido reconocimiento.



Figura 77. Proyecto Internacional Catedral Cristo de la Luz. (Rubio, 2011).

En la aplicación del modelo internacional, no se ha considerado solo uno en específico, sino que, dada la información sobre materiales aplicados en varios de estos, se considera de especial interés para el desarrollo de la arquitectura y construcción local, en el marco de la sostenibilidad y reducción de la huella de carbono, además del cambio climático, el desarrollo técnico del uso y aplicación de la madera como elemento de estructura, con lo que se llama madera técnica, laminada estructural y otros nombres sobre el mismo tipo de especial aplicación de la madera en este tiempo, tema que se desarrolla con mayor amplitud en los documentos anexos a partir de la página 184.

Proyecto local: Auditorio Nueva Generación



4.1 Proyecto Auditorio NG: Análisis urbano

La provincia de Heredia posee su ciudad central integrada a la zona de conurbación del Gran Área Metropolitana de Costa Rica, en el denominado Valle Central, donde la ciudad de Heredia y el cantón de San Rafael se desarrollan en las faldas de la Cordillera Volcánica Central; a una altura de 1260 msnm se encuentra la instalación de esta comunidad educativa, por lo que el clima es regularmente fresco y con vientos predominantes en dirección noreste hacia el suroeste.

4.1.1 Ubicación y localización

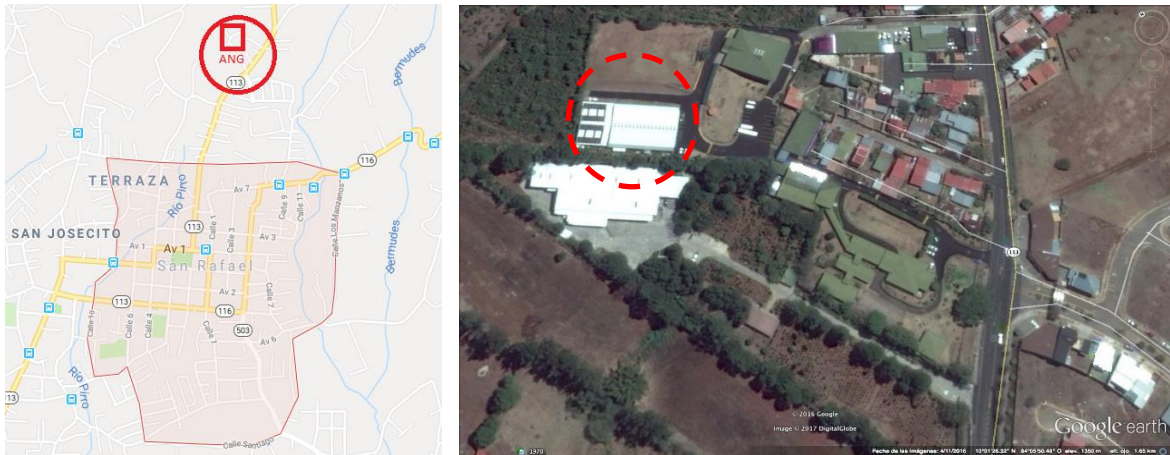


Figura 78. Centro de San Rafael de Heredia, y ubicación de la propiedad. (Google, 2019).

Las coordenadas geográficas medias del cantón de San Rafael están dadas por 10°03'45" latitud norte y 84°05'00" longitud oeste. Distrito quinto; población aproximada 42,651 personas. Elevación 1,264 msnm; temperatura promedio 19.8°C; lluvia promedio anual 2,500 mm. *IMN, Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica, 2020. (IMN, 2020).*

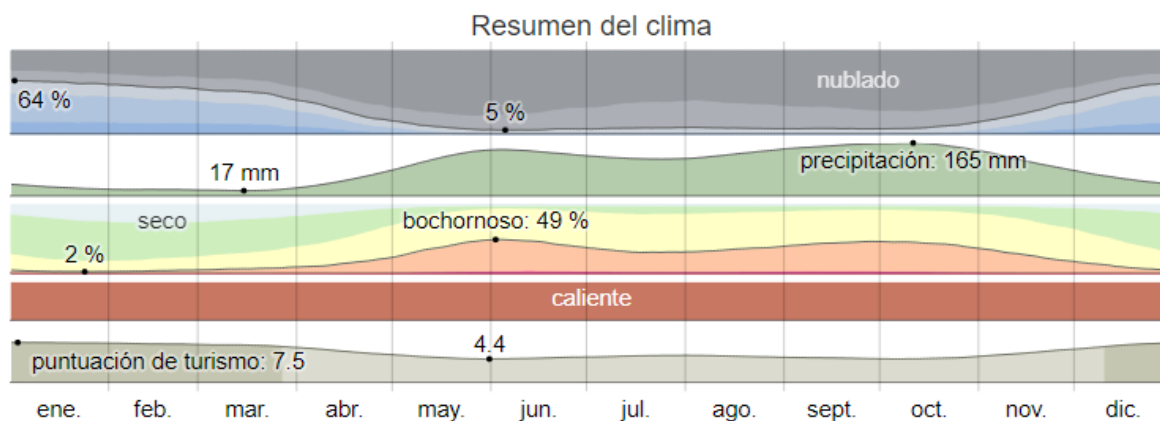


Figura 79. Resumen del clima promedio durante el año para San Rafael de Heredia, CR. (Weather, 2020).

4.2 Temperatura

La temporada templada dura 1,6 meses, del 13 de marzo al 2 de mayo, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 26 °C. El día más caluroso del año es el 9 de abril, con una temperatura máxima promedio de 27 °C y una temperatura mínima promedio de 17°C.

La temporada fresca dura 3,3 meses, del 19 de septiembre al 29 de diciembre, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 25 °C. El día más frío del año es el 21 de septiembre, con temperatura mínima promedio de 17 °C y máxima promedio de 25°C.

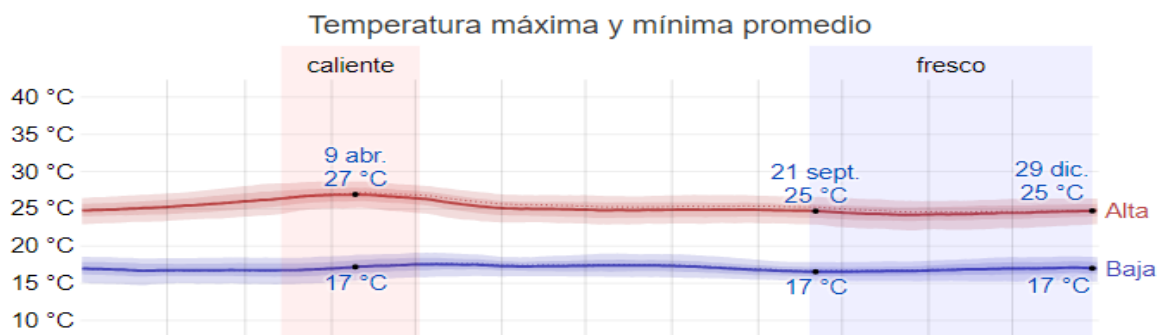


Figura 80. Diagrama de temperatura máxima y mínima promedio. (Weather, 2020).

Se ubica en un terreno semi urbano, a 1.5 Km del centro de San Rafael de Heredia, Costa Rica; su topografía es ondulada, con pendiente general en declive hacia la orientación sur, sur oeste, en el pie de monte de la cordillera Volcánica Central, en las faldas del volcán Barva. El cantón de San Rafael forma parte de la unidad geomórfica de origen volcánico, la cual se divide en dos subunidades denominadas Volcán Barva y Relleno Volcánico del Valle Central.

4.3 Topografía

Para fines de este documento, las coordenadas geográficas de San Rafael son: latitud 10,013°, longitud -84,100°, y elevación 1.235 m.

La topografía en un radio de 3 kilómetros de San Rafael tiene variaciones muy grandes de altitud, con un cambio máximo de altitud de 413 metros y una altitud promedio sobre el nivel del mar de 1.270 metros. En un radio de 16 kilómetros contiene variaciones muy grandes de altitud (2.177 metros). En un radio de 80 kilómetros también contiene variaciones extremas de altitud (3.489 metros).

El área en un radio de 3 kilómetros de San Rafael está cubierta de pradera (49 %), árboles (33 %) y tierra de cultivo (13 %), en un radio de 16 kilómetros de árboles (44 %) y pradera (42 %) y en un radio de 80 kilómetros de árboles (57 %) y pradera (17 %).



Figura 81. Vistas de la topografía típica de la zona geográfica (Go Visit, 2020).

La institución educativa está inserta entre una zona residencial de baja densidad, con frente a calle de orientación rural. La edificación se localiza al interior de la propiedad, en el área reservada para actividades deportivas y recreativas, de esparcimiento para escolares y colegiales.

4.4 Análisis del sitio

En una reunión de fincas que rodean un pequeño desarrollo de lotes enclavados, se han establecido y desarrollado las instalaciones de escuela y colegio, con lo cual el desarrollo de estas es hacia el interior, con dos frentes a calle, pequeños, que ordenan el ingreso, circulación interior y salida de la propiedad.

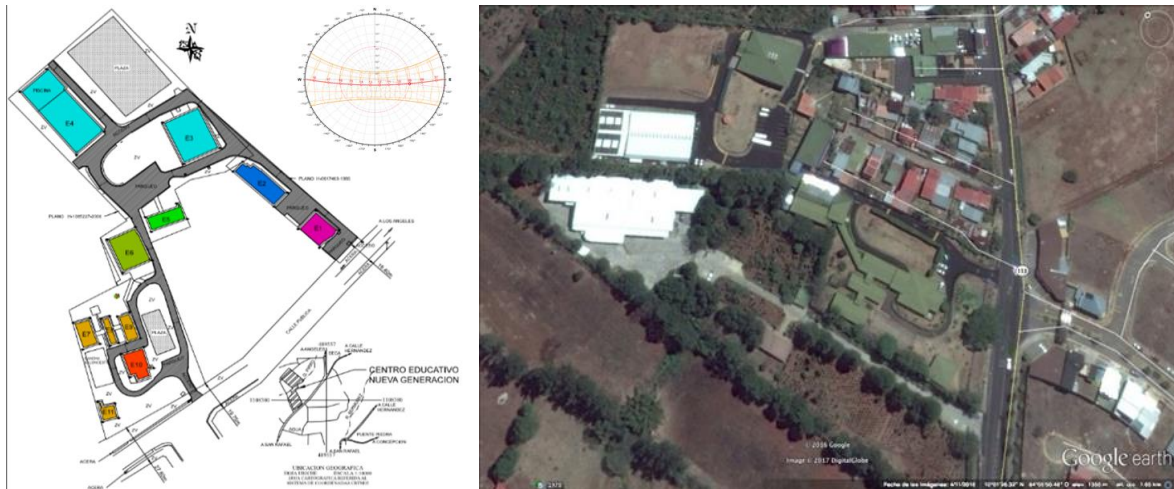


Figura 82. Plano de sitio y vista satelital del conjunto. (Google, 2019).

4.5 Innovación y sostenibilidad

Costa Rica fue el primer país del mundo en asumir un compromiso formal con los ODS, alineamiento de la política ambiental institucional con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas, y la Agenda 2030 en setiembre 2016, trazando así un gran compromiso-país con su cumplimiento, así como con los nuevos retos planteados a nivel nacional en el marco de un abordaje integral al tema ambiental, que responda a las tendencias, retos y oportunidades globales y locales. ODS en Costa Rica. (ODS , 2020).



Figura 83. Proceso para alcanzar la Carbono Neutralidad. (ODS , 2020).

En la institución educativa Nueva Generación se promulga la incorporación de hábitos de sostenibilidad doméstica, así como en el uso y reúso de los recursos, ahorro energético y de agua, reducción de desechos y aprovechamiento de los recursos locales de las áreas verdes.



Figura 84. Instalaciones del Centro Educativo Nueva Generación (2020).

Por esta orientación formadora y educativa se cuenta con un ambiente propicio para la inserción dentro del currículo para implementar un edificio ambientalmente amigable, con recursos de sostenibilidad y de arquitectura verde, con una propuesta de edificio inteligente, que incorpore estrategias sostenibles para la etapa de ocupación y operación. Por esto se establece como primicia la integración de soluciones de ahorro de agua potable, así como el reuso de aguas grises, el manejo de agua pluviales para incorporarlas al uso doméstico y la dosificación del desfogue en la quebrada cercana.

La edificación busca promover una visión integral y motivadora, de forma que pueda repercutir en la vinculación con los grupos de interés, para motivar a usuarios, proveedores y sociedad civil a contemplar y priorizar los factores ambientales dentro de la prestación, uso y quehacer de los servicios de formación, educación y proyección social, orientando la gestión ambiental en el manejo eficiente de los recursos, el cumplimiento de la normativa ambiental y la prevención, minimización y control de la contaminación ambiental.

4.6 Emplazamiento del Auditorio

En una finca de topografía irregular, con una cuenca al medio, se forma la colina al fondo del terreno donde se encuentran las instalaciones deportivas; para la ampliación de la oferta académica se considera la construcción de un Auditorio y se concreta con la fórmula de edificar sobre un gimnasio existente, para albergar en segundo nivel el Auditorio y talleres culturales, conservando las instalaciones deportivas anteriores. La ubicación privilegiada es de gran oportunidad para promover la implementación del diseño bioclimático con técnicas pasivas para el control de ventilación, asoleamiento y luz natural, principalmente.

4.7 Relaciones y servicios urbanos

Por estar ubicado en zona residencial, se cuenta con disponibilidad de servicios urbanos de electricidad, agua potable, telefonía, internet, televisión, transporte público local, con integración en la ciudad de Heredia, hacia el transporte público urbano entre ciudades de San José y Alajuela, principalmente.



4.8 Conclusiones

La revisión y análisis de las edificaciones ofrecen la oportunidad de valorar tecnologías constructivas y uso de materiales, que considera el programa del edificio para orientarle hacia propuestas de sostenibilidad en la puesta en marcha para su sostenibilidad, de especial importancia se ha considerado la integración de soluciones pasivas para la ventilación e iluminación natural, así como incorporar la madera en los elementos estructurales, en la aplicación del modelo de mejora producto de la esta investigación.

En el proceso de integración de los conceptos de sostenibilidad ambiental y constructiva, en armonía con el medio ambiente a fin de preservar los recursos naturales y evitar la incidencia sobre el deterioro del medio ambiente, en Costa Rica se ha promulgado la Guía Ambiental para la Construcción, de la Secretaría Técnica Nacional Ambiental SETENA, instrumento de aplicación en el proceso de Evaluación de Impacto Ambiental de las obras constructivas en el país, con lo cual se proporciona una herramienta de buenas prácticas con el fin de reducir el impacto negativo al medio ambiente durante los procesos de construcción y operación.

Por otra parte, los profesionales de arquitectura e ingenierías se han comprometido con la aplicación de sistemas internacionales para la evaluación del ciclo de vida de las edificaciones hacia la sostenibilidad, ejemplo de esto es el uso de Leed, Passivhaus, Bream, EDGE y el desarrollo país de la herramienta RESET para adaptarse a la realidad

bioclimática, tecnológica y economía local. Norma INTE-06-12-01-2014 RESET – Requisitos para Edificaciones Sostenibles en el Trópico. (INTECO, 2020). (INTECO, 2020)

4.9 Certificado de Sostenibilidad

Certificar el diseño y certificar el edificio.

El diseño y construcción sostenible se enfoca en reducir el impacto negativo en el medio ambiente, en cinco áreas principales:

- a. Planificación sostenible del terreno, suelo y paisaje
- b. Optimización y uso eficiente del agua
- c. Optimización del uso de la energía eléctrica
- d. Aprovechar los materiales y otros recursos
- e. Propiciar la calidad y bienestar espacial.

Para una debida certificación es necesario establecer parámetros de medición para poder identificar la actuación en el diseño y el resultado de las edificaciones en arquitectura, es un reto que ha evolucionado de manera que en diferentes puntos del planeta, se han preparado modelos de certificación para las edificaciones, con la base de poder identificar mejores prácticas de diseño, construcción y uso de los edificios, con el objetivo de reducir el impacto al ambiente y las personas durante todo el ciclo de vida de la edificación.

No vale por si sola la certificación, corresponde a un modelo de responsabilidad donde participamos todos, desde una base de sostenibilidad de la vida en el planeta, donde la construcción tiene gran impacto en la naturaleza, principalmente en la extracción de materiales naturales, fabricación de nuevas aplicaciones de materiales para construcción y acabados, sin dejar de lado residuos de producción, desechos durante el ciclo de vida del proyecto y por supuesto al final cuando son remodelados, reconvertidos, demolidos y destruidos. (Construmática, 2020).

El edificio sostenible de huella ambiental reducida es eficiente en los recursos utilizados, dado que proporciona espacios saludables para la ocupación por las personas, a la vez que maximiza el retorno de la inversión en el ciclo de vida a través de la eficiencia operativa.

La certificación de edificios sostenibles busca obtener equilibrio entre el medio ambiente y optimizar espacios para el confort, a partir de la aplicación de conceptos fundamentales de

manejo y diseño ambiental, desarrollo sostenible, análisis bioclimático, uso eficiente de recursos, agua, energía y producción alternativa, entre otros. Certificados de arquitectura sostenible. (LEED, 2020).

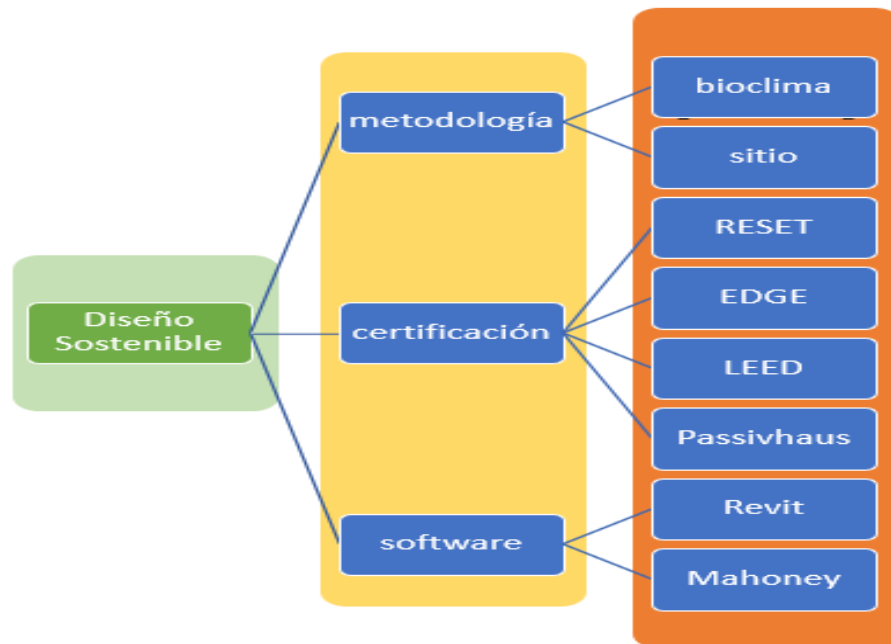


Figura 85. Organización para el análisis y valoración de criterios. Preparado por el autor (2021).

Mediante las certificaciones para edificios sostenibles se puede medir el resultado de la regulación en diversas áreas del ciclo de vida de las edificaciones para lograr resultados más sostenibles. La certificación es un sistema voluntario de edificios sostenibles y cuenta con reconocimiento global.



Figura 86. Expectativa de reducción y ahorro en cuatro parámetros de sostenibilidad, (Zigurat, 2020).

Existen diferentes certificaciones para edificios sostenibles, entre las conocidas y aplicadas en Costa Rica se encuentra LEED (Leadership in Energy and Environmental Design; Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental), desarrollada por el Consejo de Construcción Verde de USA y que se ha utilizado desde 1993. En Costa Rica se utiliza y es promovida por el capítulo Leed CR (LEED, 2020).



Figura 87. Logotipo de algunos de los modelos de certificación de edificios sostenibles. (LEED, 2020).

En Costa Rica se ha desarrollado la certificación RESET (Requisitos para Edificaciones Sostenibles en el Trópico), propuesta adaptada a la realidad socio económica y al clima de la región tropical. La base de esta norma ha sido preparada desde el Instituto de Arquitectura Tropical y es norma INTECO, Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica, INTE C170:2014; cuenta con el apoyo del Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica y el Colegio de Arquitectos de Costa Rica, con promoción, desarrollo, preparación de evaluadores y certificadores. (RESET, 2020).

El Consejo de Construcción Sostenible de Costa Rica, promueve el uso y aplicación de la certificación EDGE: “La certificación EDGE brinda una solución: capitalizar el valor de los edificios ecológicos mediante la promoción de los beneficios para los clientes, al mismo tiempo que se protege el medio ambiente. Con EDGE, es posible mantenerse a la vanguardia de la tendencia de la construcción ecológica.” (EDGE, 2020).

La certificación de edificio sostenible en Costa Rica funciona con un sistema de puntuación por categoría y práctica sustentable; pasa por el filtro de comprobación, registro, y se obtiene certificación de reconocimiento del proyecto responsable con el ambiente. Sea cual sea la certificación se apunta a ser más económico a largo plazo con un uso eficiente del espacio, el terreno, el clima, eficiencia en uso de la electricidad, el agua, el mantenimiento,

mejor desempeño ambiental, y reducción de emisiones de CO₂ y mejora del ambiente interior al reducir el uso de materiales con emisiones COV. (Rudin, 2017).

Passivhaus es desarrollado en Alemania en los años 80 orientado a administrar el bajo consumo energético bajo la premisa de calidad térmica de los materiales de cerramiento, al reducir las pérdidas de ventilación con un sistema controlado de recuperación del calor, así la edificación no depende de un sistema de calefacción activa convencional, pues para evitar el calor de verano es necesario controlar el asoleamiento directo y proveer ventilación.

Principalmente busca reducir la demanda de energía de los edificios para lograr confort térmico interior, dado que el mejor aprovechamiento del recurso energético proveniente del sol permite obtener gran calidad de vida y reducción del impacto al medio ambiente.

En diversas publicaciones se apunta que entre las principales razones de la certificación es la evidencia en la reducción en el consumo de energía eléctrica, la protección al ambiente y la concientización en el consumo y uso más eficiente del agua potable.

Entre los criterios para tener en cuenta al desarrollar proyectos de arquitectura sostenible Luis Fernando Castillo, (Castillo, 2016), indica que se consideran:

- Optimización de los recursos y materiales, preferentemente de origen natural local

- Ubicación

- Entorno del sitio

- Forma de vida del entorno

- Orientación del edificio y localización del proyecto en el terreno

- Aprovechamiento climático del suelo y ahorro de agua de lluvia

- Consumo energético eficiente y fomento de producción con base en energías renovables

- Eficiente consumo energético

- Sistemas pasivos de iluminación natural integrados al proyecto

- Sistemas de aislamiento y ventilación pasiva operable por los ocupantes

- Aumentar el confort y calidad de vida de los ocupantes del edificio

- Climatización y ventilación natural por medios pasivos

Reducción de residuos y emisiones

Aplicación de materiales ecológicos de alto rendimiento climático

Reducir efecto de contaminación ambiental

Análisis los recursos locales a utilizar y los desechos, para un uso y disposición adecuados que no perjudiquen al medio ambiente.

Minimizar la huella ecológica

Mínimo costo de mantenimiento, explotación y uso de los edificios

En conclusión, existe variedad de modelos para la evaluación del edificio con enfoque a la sostenibilidad que son de aplicación voluntaria, según el deseo de los promotores del proyecto, en cuanto a obtener una certificación o registrar la integración al proyecto de las medidas para la sostenibilidad, como parte de su compromiso con las políticas ambientales.

4.10 Análisis general de proyecto: descripción

4.10.1 Zonificación

Primer nivel o planta baja; a nivel de terreno se ubica el acceso principal, graderías, gimnasio cubierto y piscina temperada cubierta, más instalaciones de apoyo, como vestidores, servicios sanitarios y salidas de emergencia.

El segundo nivel, por sobre la medida de 7 metros arriba, altura libre reglamentaria para el gimnasio y la práctica deportiva, se ubican las instalaciones de tras bastidores o back stage, más almacenamiento, aseo, servicios sanitarios accesibles, e instalaciones electromecánicas.

El tercer nivel, con acceso por escaleras principales y ascensor, se ubican los usos de Auditorio, escenario, distribución de butacas, salas de taller para práctica de danza y artes marciales, música y artes escénicas. Cuenta además con salidas de emergencia a través de escaleras presurizadas.

Sobre el tercer nivel se desarrolla la cabina de luz y sonido, con acceso exclusivo y restringido, desde el Auditorio con salida hacia escaleras de emergencia y al pasillo vestíbulo de acceso al Auditorio y talleres.

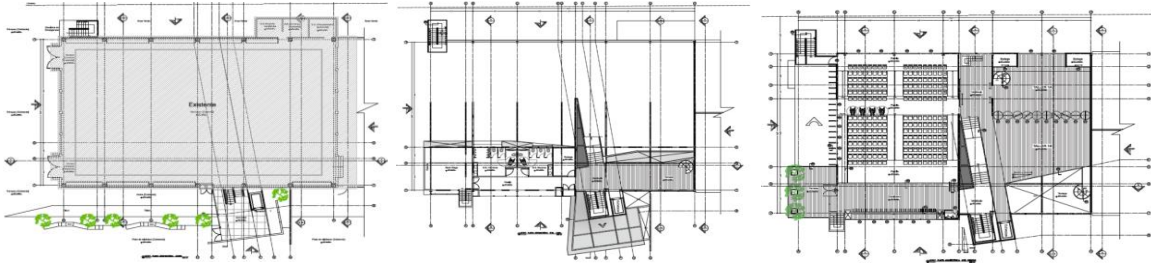


Figura 88. Planta de distribución, niveles 1, 2 y 3. *Elaborado por el autor. 2018. En este documento se puede observar las plantas en mayor escala. Ver páginas: 122 y 123.*



Figura 89. Planta de conjunto. *Instalaciones deportivas existentes. Autor. Ubicación con base en (Google, 2019).*

1- AULAS

2- Z. VERDE

3- FUTBOL

4- PISCINA

5- GIMNASIO

El partí arquitectónico se compone así sobre un eje longitudinal norte sur inclinado hacia el oeste, por lo que incide el asoleamiento en las fachadas, para permitir contar con iluminación natural controlada a efecto de propiciar penumbra cuando sea necesario y luz natural cuando sea solicitada. La ubicación con respecto al terreno forma conjunto con la plaza abierta de la cancha de fútbol y las arboledas cercanas, por lo que las aperturas en ventanas procuran tanto la captura de la brisa principal del viento, como las vistas cercanas y lejanas hacia el paisaje natural y verde que le rodea en un ambiente y clima de campiña, característico de la zona.

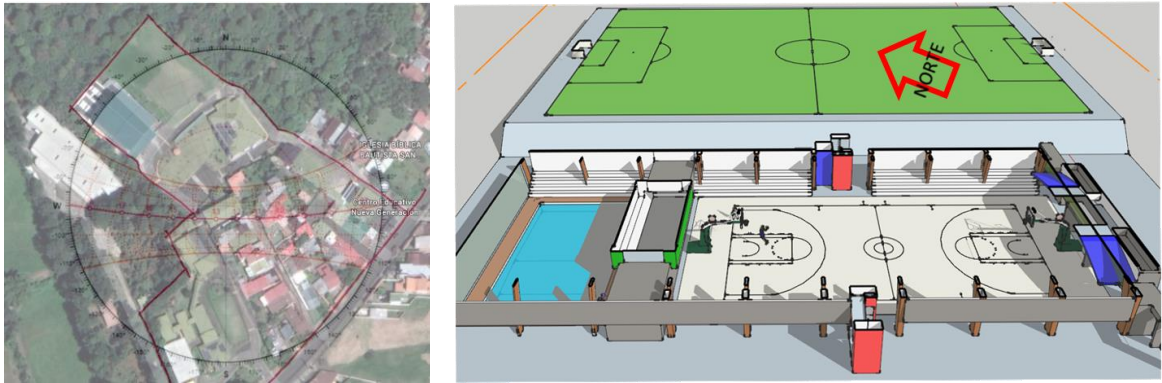


Figura 90. Vista de Conjunto, superpuesta carta solar. (Google, 2019). Primer nivel, gimnasio. Elaborado por el autor. (2019).



Figura 91. Vista de Conjunto. (Google, 2019). Fotografía por autor. (2019).

El acceso principal a la planta baja, donde se ubica el gimnasio, se encuentra en la fachada principal hacia la calle o circulación vehicular y peatonal principal; el acceso al Auditorio y talleres es independiente, desarrollándose sobre la fachada lateral longitudinal, en conexión con la plaza verde, la cancha de fútbol.



- 1- Fachada principal y acceso al gimnasio en planta baja
- 2- Fachada lateral y acceso al Auditorio y taller
- 3- Ingreso independiente a la piscina techada.

Figura 92. Distribución de accesos y elementos en modelo 3D. Elaborado por el autor. (2019).

4.11 Aplicaciones de la arquitectura bioclimática

En el desarrollo de la arquitectura actual se busca mejorar las condiciones de las edificaciones, de la mano con el conocimiento del lugar y el clima, las necesidades por solventar y la adecuación a estas condiciones, en busca de obtener mejor provecho económico y estético, social y ambiental, donde no solo es sostenible, sino además atractivo y motivador hacia la superación. Se aprovechan los recursos naturales de que se dispone: sol, lluvia, viento, vegetación, topografía, para ahorrar el consumo de energía, reducir el impacto medioambiental y vivir de forma más sostenible.

Es necesario incorporar conceptos de diseño y estética de la mano de la funcionalidad de la edificación y su relación con el entorno, así como tomar provecho de los materiales locales para obtener resultados en ahorro de agua, electricidad, así como reducir la incorporación de equipos y sistemas electromecánicos, de alto costo de adquisición y mantenimiento, para disminuir el impacto ambiental generado por la ocupación del edificio y el consumo de energía.

Edificios cero emisiones son los que en su construcción y operación son autosuficientes en cuanto al consumo de energía, los cuales, por sistemas de energía renovables no generan emisiones de CO₂ y ahorran en consumo de energía. Los edificios energía plus son aquellos que no solo son cero emisiones, sino que además generan energía para inyectar a la red de distribución.

No se trata de un sistema constructivo, sino de la integración de diversas técnicas con las cuales aprovechar los recursos naturales del sitio y obtener una edificación acorde al medio circundante para reducir el impacto de construcción y de operación.

Entre las medidas a incorporar se deben contemplar:

materiales

vegetación

aislamiento

ventilación cruzada

orientación

envolventes

reciclaje

colores

- a) **Materiales** para la construcción, que sean de origen natural, cuya producción para utilizarlos en construcción sea de muy baja huella ecológica, como es el caso de incorporar el mayor uso de maderas certificadas, bambú, piedra, tierra y otros.
- b) Otra medida apta es la incorporación del manejo de la **vegetación** cercana, como pantallas contra el ruido, controlar la erosión de suelo, proteger del frío y el viento excesivo.
- c) Construcción de muros gruesos, para conseguir **aislamiento** térmico sea para retener el calor o fachada ventilada para impedir su entrada a los espacios interiores.
- d) **Ventilación cruzada** por la mayor cantidad de espacios interiores, por todo el edificio. Reduciendo el uso de soluciones mecánicas con alto consumo energético.
- e) **Apertura** de puertas, ventanas y vacíos que permitan el paso de la brisa, para propiciar el cambio del volumen de aire, se utilizan vanos en paredes, pisos, cielos y cubiertas para provocar el paso del aire a través de los espacios y así refrescarlos y renovar el aire.
- f) **Orientación** de la edificación de acuerdo con la posición del sol para aprovechar la luz solar, e inyectar al interior del edificio iluminación natural de forma pasiva, con control del ingreso de los rayos de sol que podrían calentar los espacios internos, lo cual podría no ser deseable.
- g) Al diseñar las fachadas, incorporar elementos para manejar el **paso del viento**, reducir el asoleamiento directo, cubrir los materiales de la lluvia, y otros. El uso de elementos exteriores como aleros extendidos, pérgolas, toldos y persianas.
- h) Incorporación de vidrios con protección solar para **reducir la radiación**, puede ser por material aislante, reflectivo o construir elementos de sombra.
- i) **Gestionar los residuos** durante la ejecución de obra, reducir, recoger, separar, reciclar. Y durante la operación, se debe proveer de los espacios y dispositivos necesarios para continuar con la promoción de la cultura para reutilizar la basura orgánica y producir compost, reutilizar las aguas grises, entre otros.

- j) **El color** de las paredes y cubierta de techo influye por reflejo o absorción del calor, en fin, el objetivo de la arquitectura de concepto climático es diseñar edificios capaces de propiciar el comportamiento ambiental frente a las condiciones climáticas locales, sin recurrir a mecanismos generadores de mayor consumo energético o de otros recursos.

4.11.1 Calefacción

Existe la tendencia en el modelo de la sostenibilidad para incluir el uso de la energía geotérmica, se puede ahorrar energía y dinero al utilizar la temperatura media que se acumula en el terreno, a tan solo dos metros o más por debajo de la superficie; para el proyecto que se trata en esta ocasión, se utiliza una serie de tuberías por debajo del fondo de la piscina, por la cual se hace circular el agua antes de llevarla hacia los calentadores solares o hacia el sistema de apoyo de calentar agua con base en la combustión de gas LPG. Con esto se obtiene reducir el costo de mantener caliente el agua de la piscina, aun durante la noche y los días fríos o de menor exposición solar.



Figura 93. Diagramas para principios de Geotermia. *Arquitectura Sostenible*. (Rivas, 2020).

Se plantean los diversos escenarios técnicos, partiendo de un modelo integrado compuesto por una instalación geotérmica, solar térmica y para cubrir picos de demanda energética, la utilización de una caldera de gas natural, donde se estima la relación de uso en 40-40-20% respectivamente. Con lo cual se logra reducir el uso intensivo de energía, manteniendo las condiciones de confort y reservando el uso de una caldera para picos de demanda alterna.

Para este proyecto, se utiliza la geotermia de baja temperatura, donde se aprovechando la característica del suelo y su capacidad de mantener una temperatura constante a lo largo de todo el año a una profundidad de 10 metros por debajo del nivel de terreno. Para el caso del trópico, se estima una diferencia entre exterior e interior de 10°C.

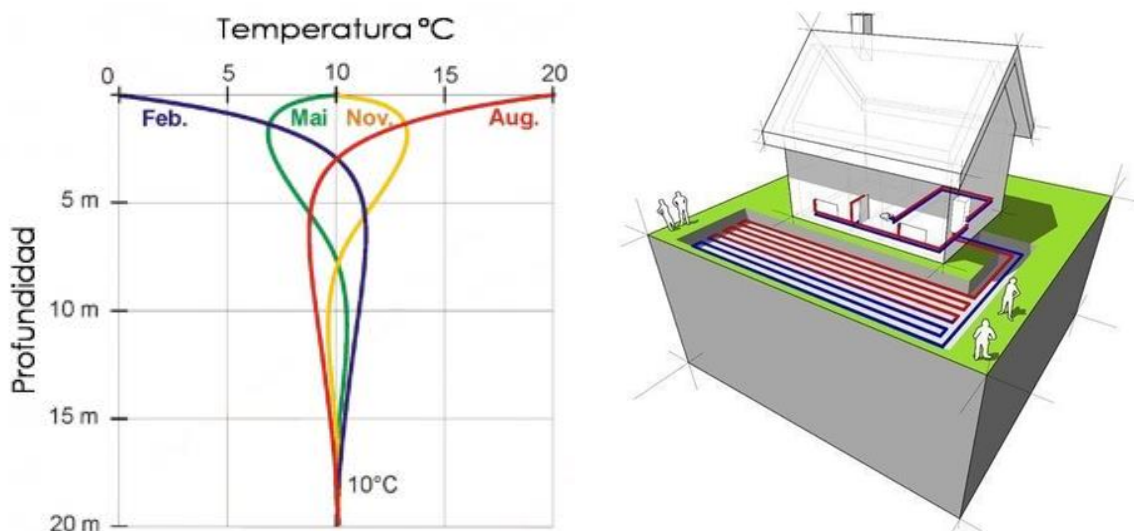


Figura 94. Diagramas de Geotermia. Sistema para precalentar el agua de la piscina. (Rivas, 2020).

De acuerdo con el gráfico, para diferentes épocas del año, la temperatura del terreno tiende a ser constante (10°C) a 10 metros de profundidad.

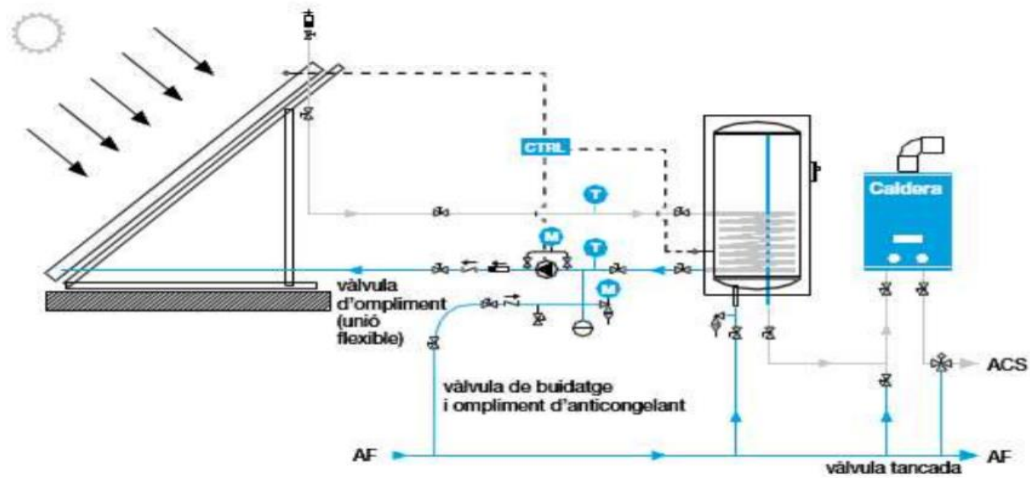
El color Azul corresponde a la época de lluvia (18°C exteriores), y a medida que profundizamos la temperatura va aumentando, hasta alcanzar un valor de 23°C.

El color Rojo corresponde a la época de verano (28°C exteriores), donde ocurre lo contrario. A medida que profundizamos, la temperatura desciende hasta alcanzar un valor de 20°C.

El sistema consiste en captar la temperatura del subsuelo mediante la circulación de un fluido portador para intercambiar calor.

Para el caso de la piscina, no es necesario producir una temperatura elevada, basta con temperar el agua a una media de 24°C +/- 2°C; los colectores solares se sitúan sobre la cubierta de techo y se calcula que cubre la demanda de base de instalación. El modelo propuesto es a base de colectores de polipropileno en los que se recircula el agua de la piscina, denominado sistema directo donde el agua a calentar es a la vez el fluido de trabajo. (Ver diagrama).

Se complementa con un sistema de tratamiento del agua que no permite la proliferación de algas y otros agentes que podrían dañar el estado saludable del agua en la piscina.



climatización mediante paneles solares con apoyo de caldera de gas natural.

Figura 95. Climatización de piscina por paneles solares. (Noguera, 2011).

La eficiencia del sistema geotérmico en el proceso de calefacción puede representar un ahorro aproximado de más del 75%, mientras que en el proceso de refrigeración representa un ahorro de entorno al 80%. Esta eficiencia puede llegar a ser un 50% mayor que en los sistemas tradicionales de refrigeración con bombas de calor no geotérmicas.

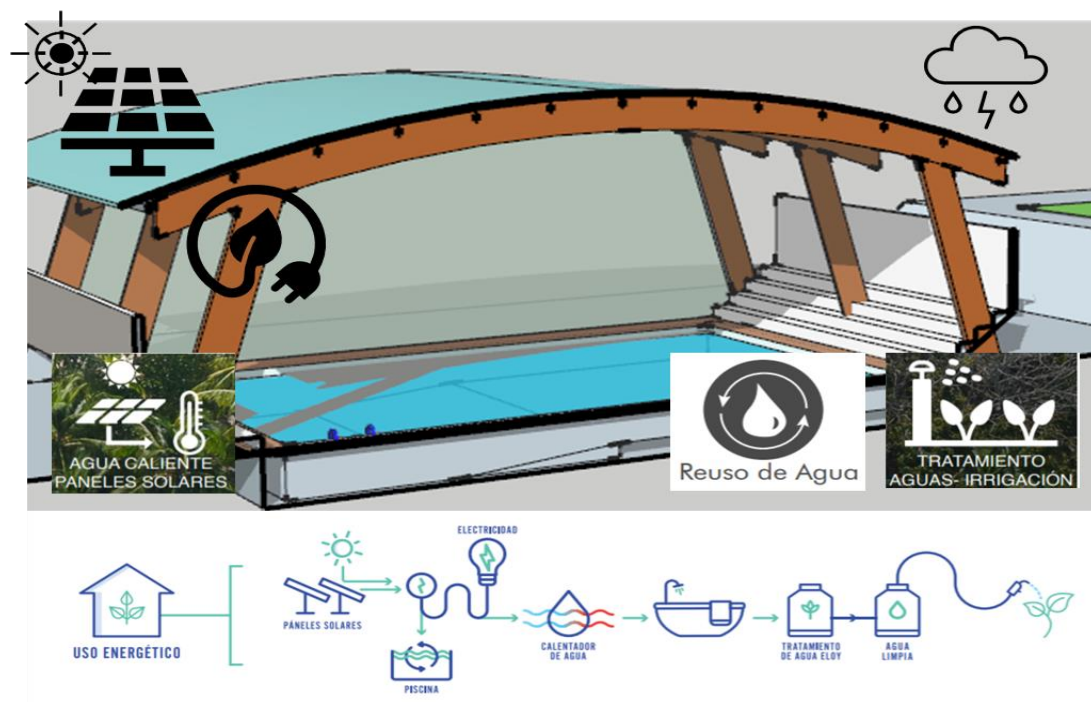


Figura 96. Sistema de cosecha, reuso y calentamiento del agua para la piscina y duchas. Noguera J. (2011).

4.11.2 Ventilación natural

La cubierta que se emplea en el proyecto es del tipo termoacústica, el principio simple es una doble lámina de hierro galvanizado y esmaltado, con acabado de aluminio en la lámina expuesta al exterior, con alma de poliuretano expandido que hace de aislante térmico, lo que se aprovecha para evitar el frío y el calor ambiental, para mantener una temperatura interna promedio de 5 a 7 grados inferior o superior según sea el tiempo caluroso o frío.

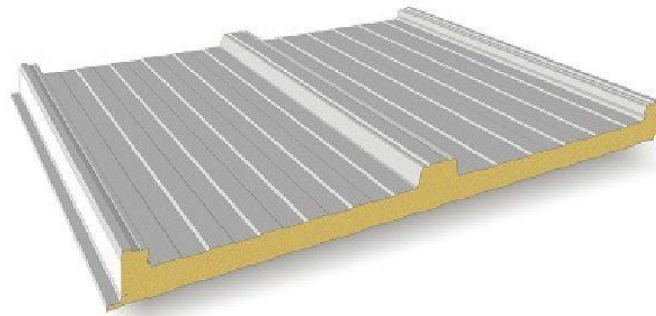


Figura 97. AEROTERMIA (2020). Características del panel Sandwich Costa Rica. (*Panel Sandwich CR, 2020*).

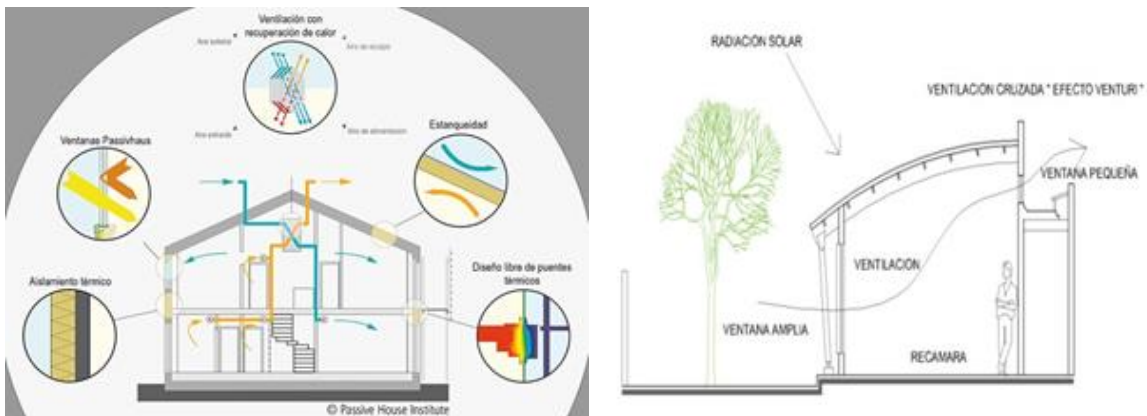


Figura 97-b. AEROTERMIA (2020). Características del panel Sandwich Costa Rica. (*Panel Sandwich CR, 2020*).

Así se establece que no se utilizará sistema de aire acondicionado, sino que se realizará una mezcla de aire exterior para cambiar el aire interno, según sea la necesidad de calentar o enfriar el ambiente interno del Auditorio o de los talleres, mediante mecanismos manuales de control del acceso y salida del aire hacia el interior de los recintos y áreas de pasillo o circulación general. Además, se implementan soluciones de ventiladores mecánicos y extracción forzada del aire.

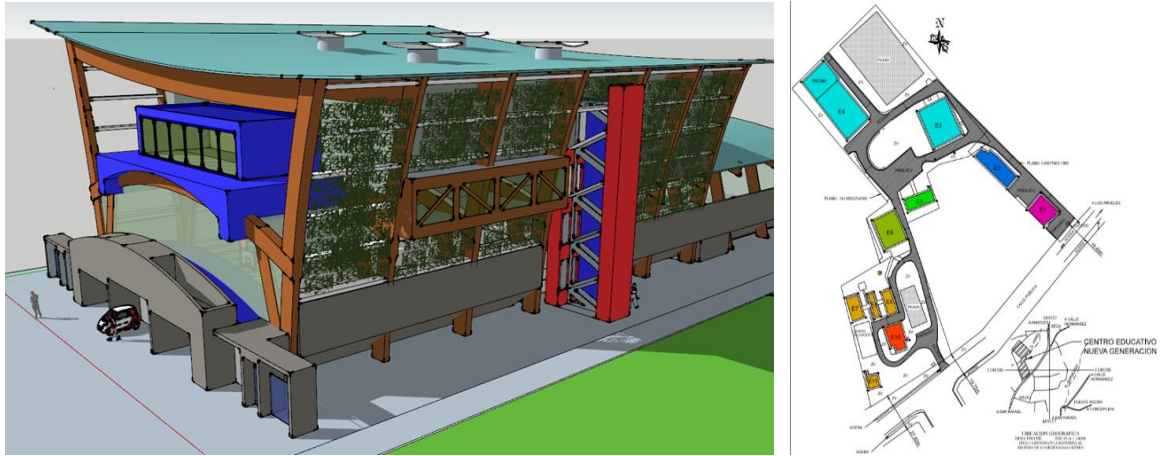


Figura 98. Fachada sur este, propuesta de modelo mejorado. Elaborado por el autor. (2019).

La fachada orientada hacia el noreste recibe la mayor cantidad de brisa constante durante el año, por lo que se decide ubicar tomas de aire fresco exterior e introducirlo al interior del Auditorio y talleres a nivel del piso para provocar el intercambio de aire necesario de acuerdo con la norma de recintos establecida por el Ministerio de Educación en Costa Rica.

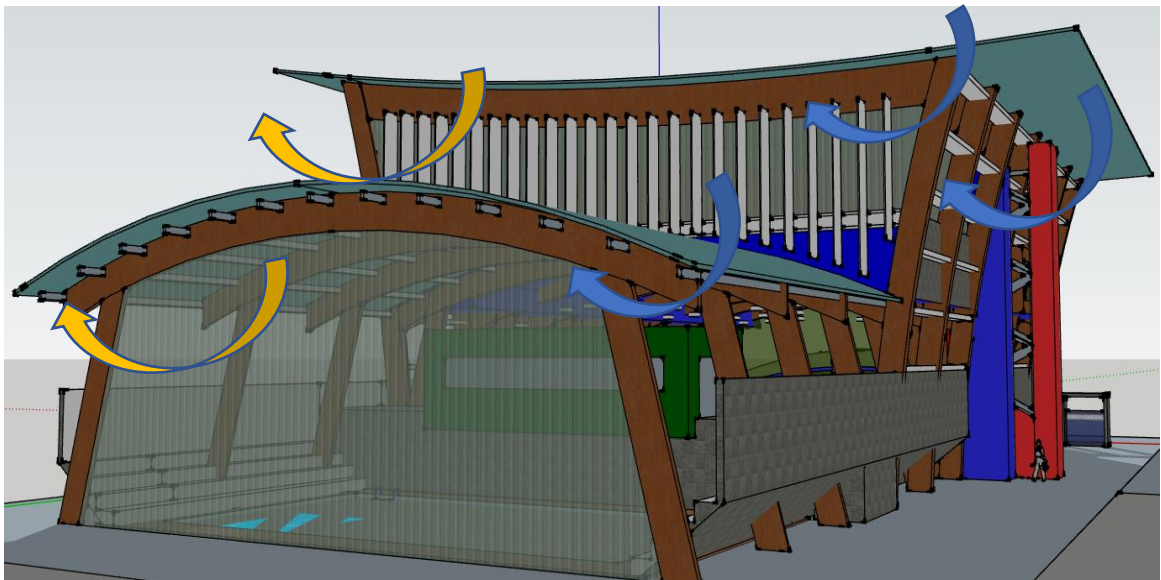


Figura 99. Entradas de aire, Ventilación cruzada en cada ambiente. Elaborado por autor. (2019).

Ventilación cruzada a través del edificio con acceso por fachadas. Elaboración propia.

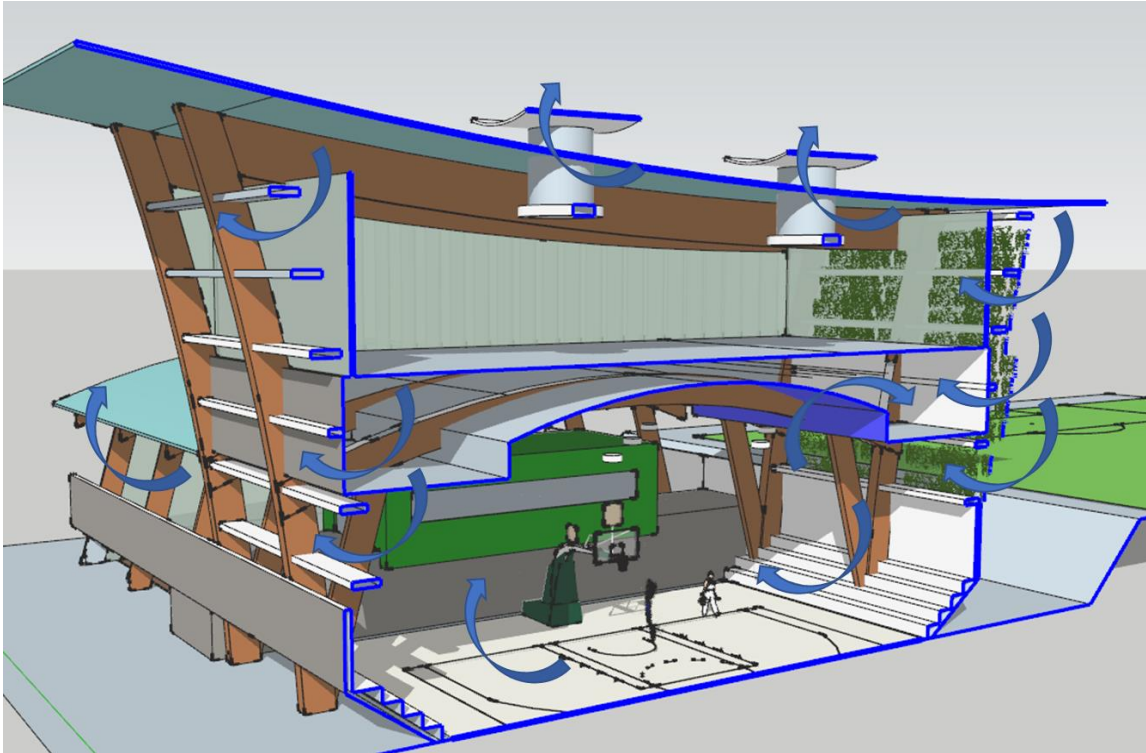


Figura 100. Entradas de aire, Ventilación cruzada en cada ambiente. Elaborado por autor. (2019).

4.11.3 Iluminación natural

Para la iluminación artificial se cuenta con luminarias eléctricas de bajo consumo que respaldan su funcionamiento en colectores solares para la producción de energía eléctrica. Sobre la cubierta en las áreas de pasillos se introduce la luz natural desde la cubierta a través de aperturas y cambios de material de cubierta a translúcido con control del paso de los rayos ultravioleta para controlar la temperatura interna.

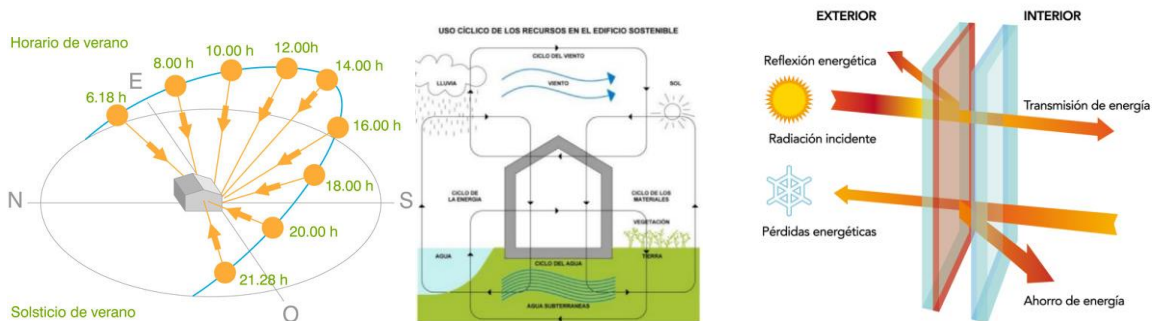


Figura 101. Recorrido solar y aprovechamiento de los ciclos Passive House, vidrio low e. (2020/12/4). (Ramírez F. , 2011). Sistemas de ventanas como elemento de cerramiento no estructural en edificaciones superiores a los dos pisos.

Los ventanales de fachada en área de taller y de circulación, permiten el acceso controlado de la luz blanca, mediante el uso de vidrios de fabricación especial, tipo LOW E, control solar de baja emisión, que controla el ingreso del calor, permite el paso de la luz y mantiene la temperatura deseada al interior de la estancia. Proveedor Extralum.



Figura 102. Vidrio low-e, de bajas emisiones. (Extralum, 2020).



La construcción pasiva promueve parámetros de eficiencia para ahorro energético, renovación inteligente de aire, control según la incidencia solar y uso de materiales saludables, certificados de bajas o nula emisión de gases de efecto invernaderos y COB.



Figura 103. Vidrio low-e. Vidrio de bajas emisiones. Sostenibilidad para todos. (Acciona, 2020).

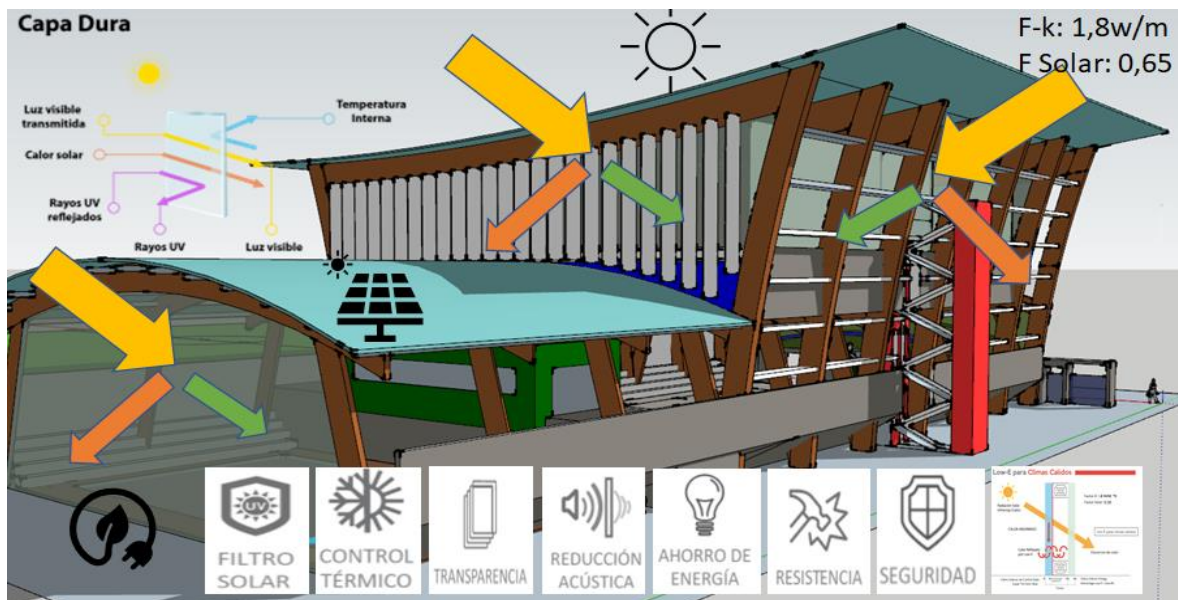


Figura 104. Ventanales con vidrio de capa dura para el control solar. (Acciona, 2020).

5. Configuración Clima

5.1 Orientación

El edificio existente del gimnasio actual posee orientación diagonal con respecto al norte magnético, como se muestra en el diagrama, por lo que el eje longitudinal se muestra en dirección noroeste sureste. Dicha orientación ofrece a la edificación asoleamiento durante la mayor cantidad de meses según el recorrido solar. Por esto se considera la aplicación de materiales aislantes para protección de las paredes.

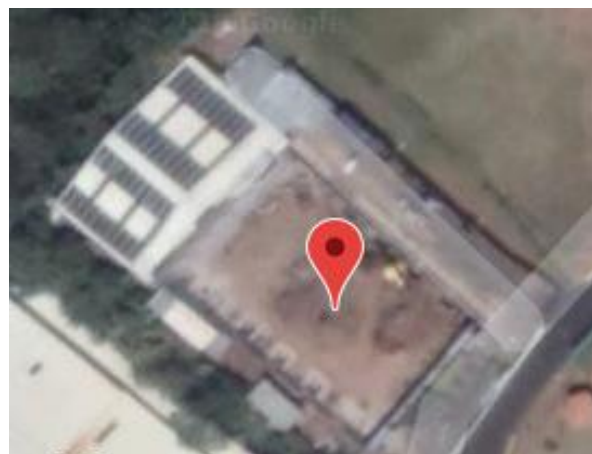
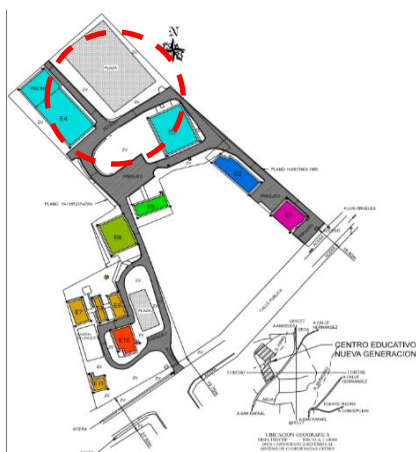


Figura 105. Levantamiento de la ubicación de edificios en el conjunto. Elaborado por el autor a partir de información topográfica en 2018 e imagen satelital Google Earth. (Google, 2019).

5.2 Recorrido solar

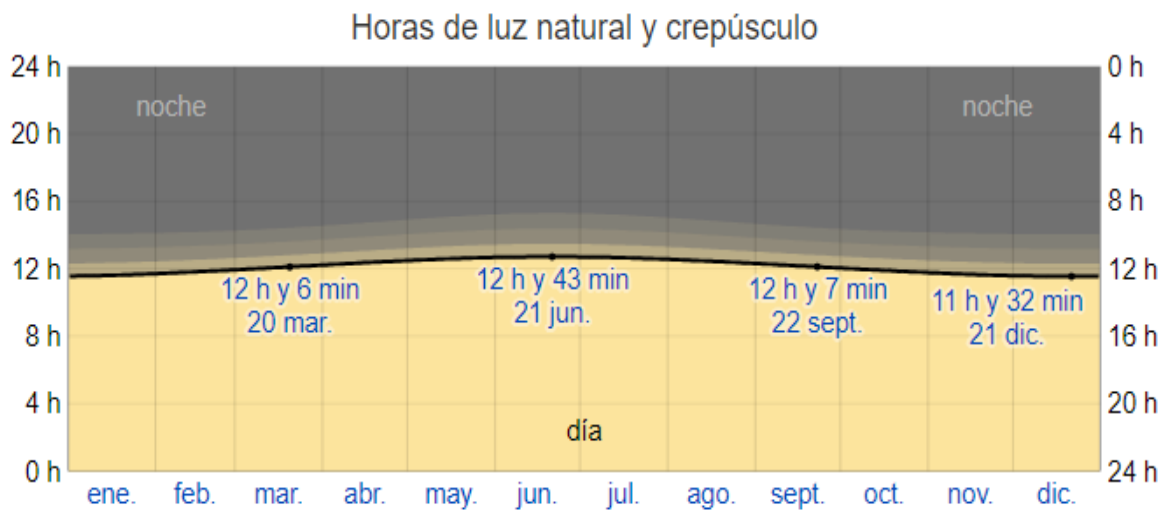
Para conocer el recorrido solar sobre la localización del sitio de proyecto se encuentra información importante en la página de internet, (Amancecer y atardecer, 2020). , así como en la página de internet, (Salida y puesta de sol, 2020), para obtener datos preliminares y actualizados.

HEREDIA

02 octubre 2018 martes, noche Hora exacta: 18:03:49
 UTC-6, MSK-9 América/Costa Rica Salida del sol: 05:26:11
 Puesta del sol: 17:27:49 Clima: +20 °C, lluvia moderada
 Presión: 694 mmHg Humedad: 96% Nubosidad: 92%
 Velocidad del viento: 0.82 m/s Destino: norte

5.3 Análisis solar

Es importante conocer la incidencia solar sobre la edificación, ángulos de sombra por utilizar y datos calor, para propiciar el uso y aplicación de materiales, formas y espacios, según sea el requerimiento de la edificación.

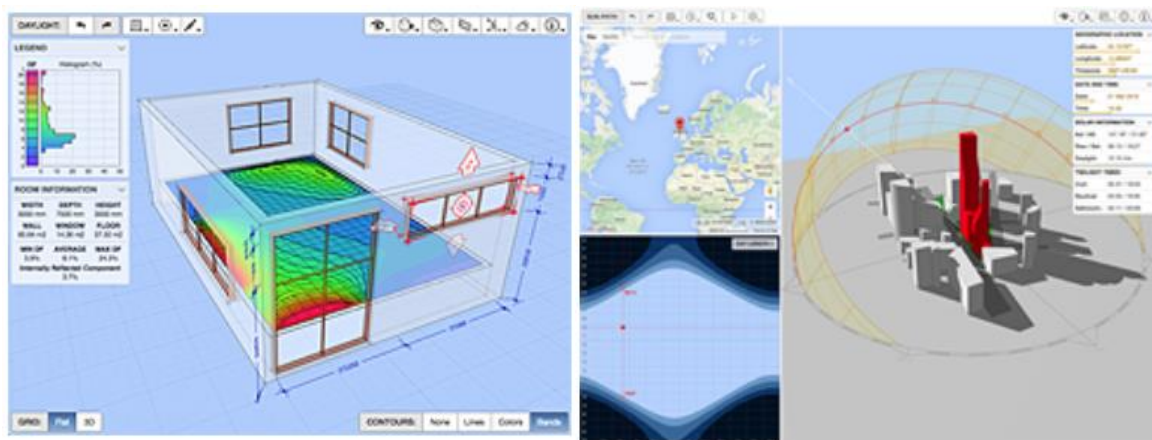


La cantidad de horas durante las cuales el sol está visible (línea negra). De abajo (más amarillo) hacia arriba (más gris), las bandas de color indican: luz natural total, crepúsculo (civil, náutico y astronómico) y noche total.

Figura 106. Horas luz y crepúsculo, (Weather , 2020).

La duración del día en San Rafael de Heredia no varía considerablemente durante el año, solamente varía 42 minutos de las 12 horas en todo el año. En 2018, el día más corto fue el 21 de diciembre, con 11 horas y 32 minutos de luz natural; el día más largo fue el 21 de junio, con 12 horas y 43 minutos de luz natural.

El análisis solar, sobre recorridos durante el año, se obtienen modelando el edificio y procesando la información en software como por ejemplo Sketchup, Revit, Archicad y otros, como el caso de página de internet (Marsh, 2020) en la cual se puede elaborar diagramas en diversas aplicaciones en línea para análisis.



Dynamic Daylight

3D Sun-Path

Figura 107. Software de análisis solar, (Marsh, 2020).

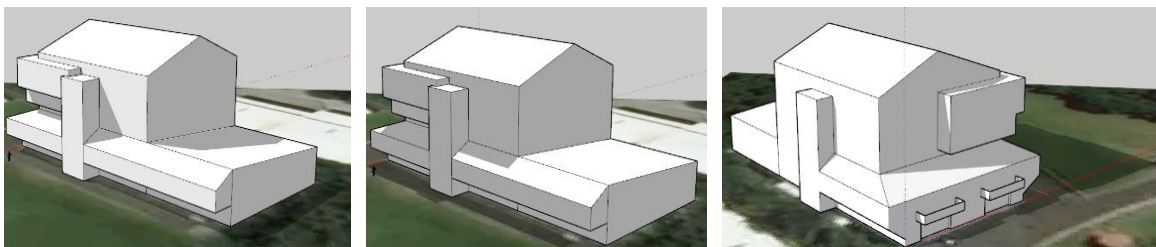


Figura 108. Modelado de sombras. *Simulación efectos de sombra según el recorrido solar en fachada noreste NE-21JUNa900; NE-21SETa1200 y SW-21DICa1500. Elaborado por el autor, 2018. Software Sketchup (2018).*

La simulación gráfica del asoleamiento y su incidencia en la edificación proyectada permite revisar como el calor y la luz del sol afectarán la disposición de los espacios creados en el edificio, para establecer los materiales, la estructura y la forma para ofrecer espacios con clima confortable para los usuarios.

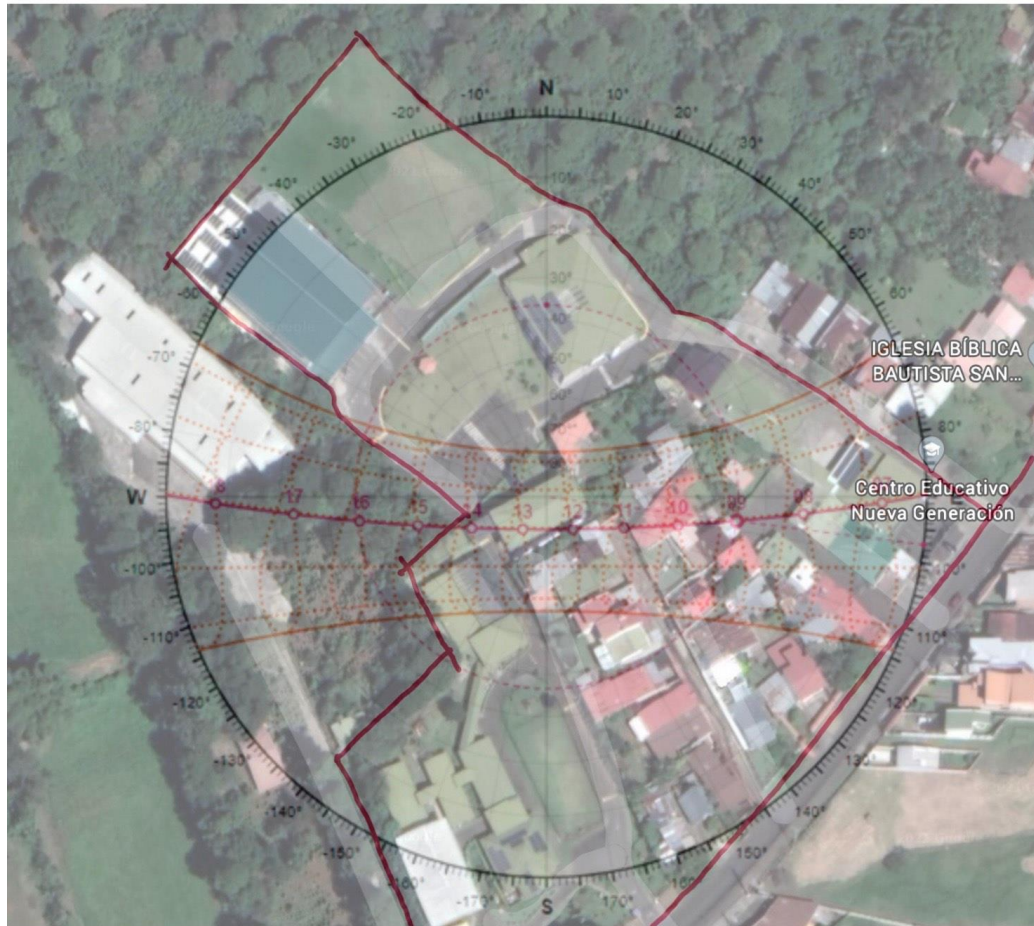


Figura 109. Carta solar, muestra sobre la imagen satelital de la propiedad, (Google, 2019) y aplicación de la máscara de recorrido solar en esta latitud. Elaborado por el autor. (2020).

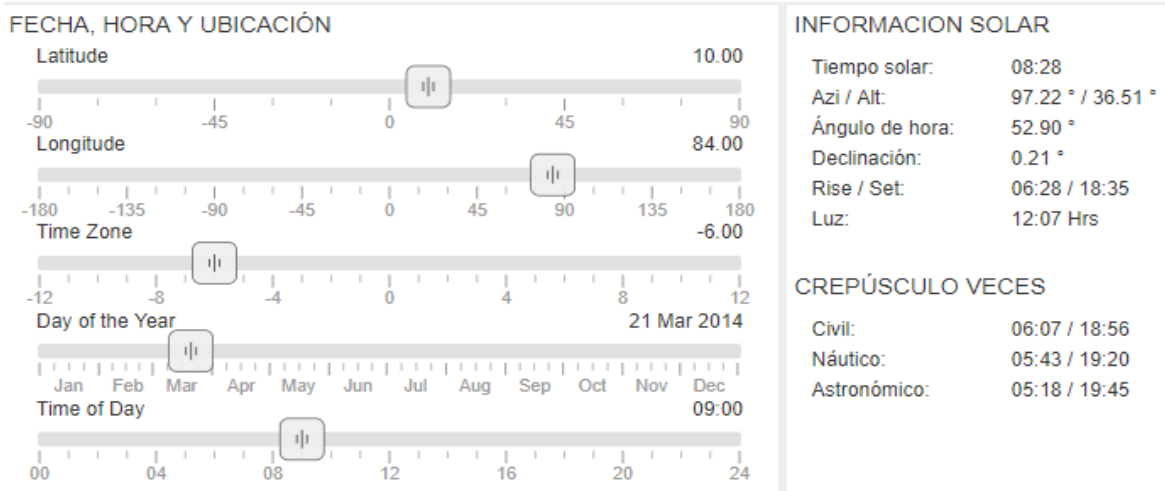


Figura 110. Diagrama recorrido solar, para el sitio de proyecto, 21 MAR a 9:00 am, simulación con software (Marsh, 2020).

5.4 El Viento

Es un elemento por considerar, porque este varía con la velocidad y la sensación térmica, asimismo, para evaluar las condiciones asociadas a la altura de la edificación, además de la capacidad soportante de las estructuras y acabados externos.

El vector de viento promedio por hora del área ancha (velocidad y dirección) es a 10 metros sobre el suelo. El viento de cierta ubicación depende en gran medida de la topografía local y de otros factores, y la velocidad instantánea y dirección del viento varían más ampliamente que los promedios por hora.

La velocidad promedio del viento por hora en San Rafael de Heredia tiene variaciones estacionales leves en el transcurso del año.

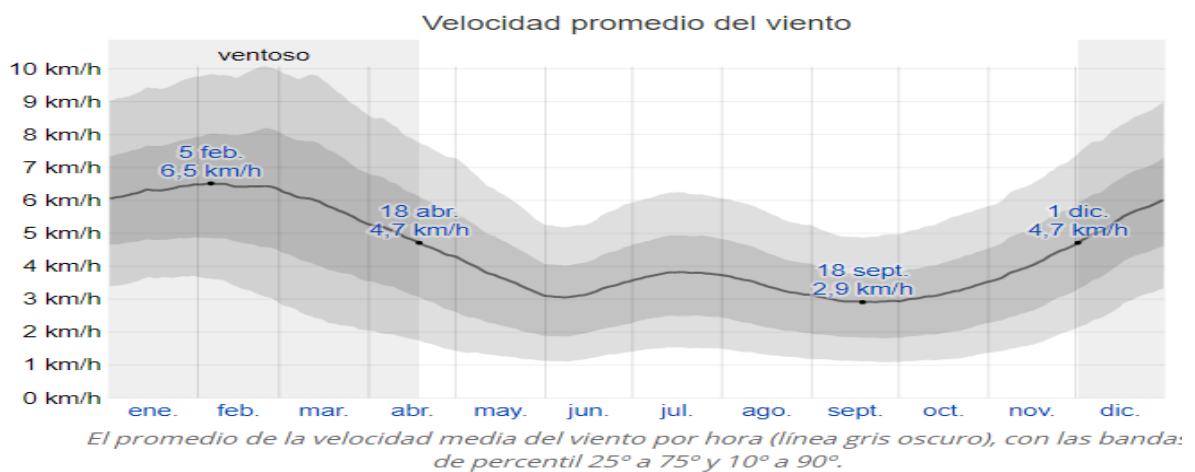
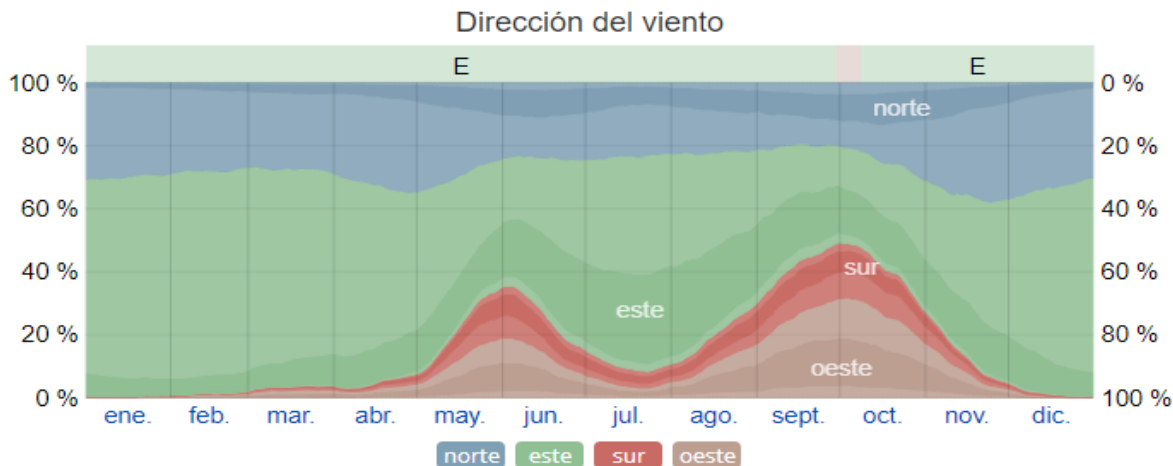


Figura 111. Velocidad Promedio del Viento en San Rafael de Heredia. (Weather , 2020).

La parte más ventosa del año dura 4,5 meses, del 1 de diciembre al 18 de abril, con velocidades promedio del viento de más de 4,7 kilómetros por hora. El día más ventoso del año es el 5 de febrero, con una velocidad promedio del viento de 6,5 kilómetros por hora.

El tiempo más calmado del año dura 7,5 meses, del 18 de abril al 1 de diciembre. El día más calmado del año es el 18 de septiembre, con una velocidad promedio del viento de 2,9 kilómetros por hora.

La dirección predominante promedio por hora del viento en San Rafael varía durante el año.



El porcentaje de horas en las que la dirección media del viento viene de cada uno de los cuatro puntos cardinales, excluidas las horas en que la velocidad media del viento es menos de 1,6 km/h. Las áreas de colores claros en los límites son el porcentaje de horas que pasa en las direcciones intermedias implícitas (noreste, sureste, suroeste y noroeste).

Figura 112. Dirección del viento en San Rafael de Heredia. (Weather , 2020).

El viento con más frecuencia viene del oeste durante 1,3 semanas, del 29 de septiembre al 8 de octubre, con un porcentaje máximo del 32 % en 3 de octubre. El viento con más frecuencia viene del este durante 12 meses, del 8 de octubre al 29 de septiembre, con un porcentaje máximo del 69 % en 1 de enero.



Figura 113. Configuración, ubicación, localización y clima. Diagramación propia con base en información variada obtenida durante la investigación. (Weather , 2020), (Google, 2019).

En el modelo mejorado, se consideran los datos obtenidos de la investigación sobre el clima, para incorporar elementos de cubierta, envolventes y cerramiento, que protejan a la edificación y brinden a los usuarios confort en el uso de las instalaciones, al permitir la entrada de luz natural y controlar el ingreso del calor hacia el interior del edificio; así forzar la ventilación cruzada y renovación inteligente del aire en los espacios de mayor uso con mecanismos pasivos alternativos y manipulables por los usuarios en todo momento.

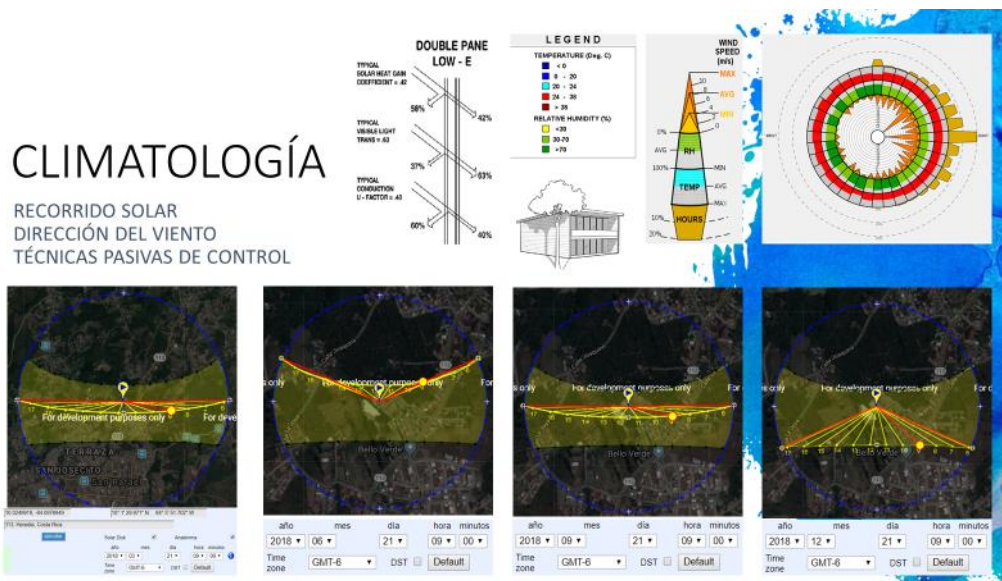


Figura 114. Climatología Información sobre el clima. Diagramación propia con base en información variada obtenida durante la investigación. (Guillén, 2020).

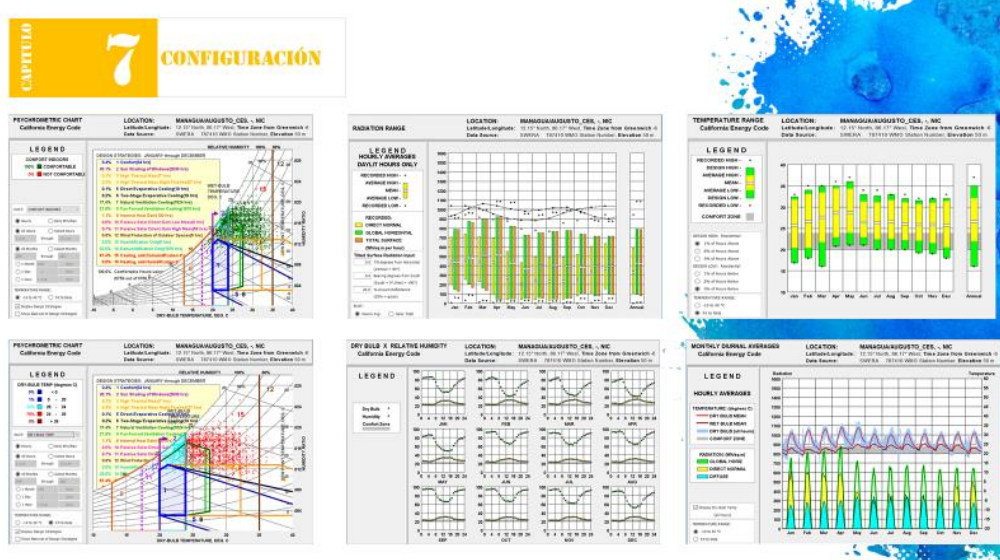


Figura 115. Información del clima. Diagramación propia con base en información variada obtenida durante la investigación. (Guillén, 2020).

El diseño bioclimático hace uso de software especializado que permite tanto el acceso a datos como herramientas de análisis y diseño, para evaluar las opciones de diseño y alternativas según el paso de las épocas del año y su ciclo dinámico del tiempo/clima (Guillén, 2020).

Meteonorm: generación de archivos de datos climáticos. Proporciona variables de clima, simula un año típico, temperatura, humedad relativa, radiación solar, velocidad y dirección del viento, nubosidad, precipitación pluvial, entre otros (Guillén, 2020).

Weather tool: análisis de datos horarios, rosa de viento y diagramas solares, incluye análisis psicrométrico y bioclimático. Herramienta para evaluar el potencial de los sistemas pasivos de diseño (Marsh, 2020).

Climate Consultant: acceso gratuito, muestra datos climáticos, temperatura, humedad, velocidad del viento, cobertura del cielo, radiación solar, genera diagramas solares, análisis gráfico psicrométrico para estrategias de diseño pasivo, según el clima (Guillén, 2020).



Figura 116. Principales elementos del clima a valorar en la edificación para la sostenibilidad.

Para entender la incidencia del clima en la obtención del confort, se debe considerar y analizar elementos de temperatura, radiación, humedad, y el viento entre otros.

Teniendo en cuenta el análisis de las variables del clima, la solución correcta ante el medio ambiente se encuentra entre otros en:

La orientación con respecto al recorrido del sol, donde se procura la protección de los rayos del sol, se establece equilibrio según la estación del año, la incidencia, inclinación y otros factores ambientales como brillo, nubosidad y el viento.

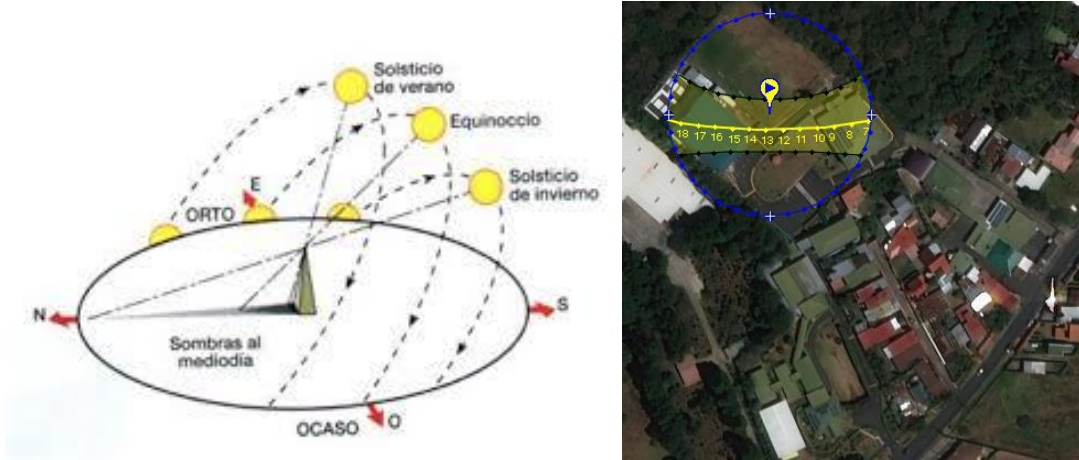


Figura 117. Recorrido solar en nuestra latitud 10° CR. Cientec (2019). (CIENTEC, 2020) y (SunEarth Tools, 2020), (Google, 2019).

Elementos de sombra, según la estrategia de cantidad de sombra que es necesario obtener para evitar sobre calentamiento; es importante valorar la orientación de la edificación, sus fachadas según materiales y aperturas, así como la geometría general.

La radiación solar posee gran influencia en los factores climáticos y energéticos que condicionan el confort en los edificios; entender la relación sol, clima y arquitectura, incide en mejorar el desarrollo del proyecto arquitectónico en equilibrio entre ambiente y personas.

La forma debe estar acorde con el entorno, procurando favorecerse de la dirección del viento, su velocidad, cantidad de humedad transportada, con equilibrio entre superficie de intercambio de temperatura entre interior y exterior.



Figura 118. Criterios de evaluación para el diseño. (Gastélum, 2016).

El viento según incidencia, fuerza, velocidad, permanencia puede mejorar o empeorar el confort a lo interno y alrededor del edificio. El movimiento del viento afecta la sensación de frío, reduce la humedad o aumenta la capacidad de evaporación del cuerpo en las personas.

IDENTIFICACIÓN	Sistema de ventana						Estándares		Rendimiento						Info
	Panes	Vidrio	Cuadro	Factor U	SHGC	Vermont	ENERGY STAR	2012 IECC	Insulación	Energy	Confort	Acústico	Ultravioleta	Fabricantes	
									Resistencia	Consumo	Temperatura	Alérgico	Control		
20	3	LSG Low-E	No metálico, mejorado	≤0.22	≤0.25	≤0.40	si	si	●	●	●	●	●	productos	
17	2	LSG Low-E	No metálico, mejorado	0.23-0.30	≤0.25	0.41-0.50	si	si	●	●	●	●	●	productos	
14	2	LSG Low-E	Metal, mejorado	0.41-0.55	≤0.25	0.51-0.60	Quizás	si	●	●	●	●	●	productos	
6	2	LSG Low-E	Metal	0.56-0.70	≤0.25	0.51-0.60	No	si	●	●	●	●	●	productos	
15	3	MSG de baja emisividad	No metálico, mejorado	≤0.22	0.26-0.40	0.41-0.50	Quizás	No	●	●	●	●	●	productos	



Figura 119. Vidrio low-e. (Ventanas eficientes, 2020).

Balance de temperatura: procurar la temperatura interior adecuada se logra con la aplicación de materiales según la condición que se busca obtener, bajo criterios de equilibrio entre captación, almacenar y proveer calor según el momento del día lo requiere.

Los puntos anteriores derivan en pautas de diseño y selección de forma y materiales para proporcionar el confort buscado.

6. Evaluación

En el transcurso de la investigación, en la fase inicial se realiza la aplicación de la herramienta multicriterio al proyecto modelo base del Auditorio, para conocer según se ha formulado inicialmente el edificio, cuáles son sus principales elementos susceptibles de mejora en cuanto al enfoque de sostenibilidad. Así se presenta a continuación el proyecto nacional y luego la evaluación aplicada al proyecto internacional; con los resultados obtenidos se presenta la evaluación orientada a la mejora del proyecto nacional, como ejercicio establecido para esta investigación.

6.1 Modelo multicriterio: Proyecto modelo base Auditorio Nueva Generación

La aplicación del modelo para la evaluación multicriterio permite al diseñador considerar desde una perspectiva crítica y autocrítica, establecer nuevas metas de lo que el proyecto debe ofrecer, no solo en el tema de la práctica arquitectónica, como creación de espacio y

manejo del sistema estructural; es más un abrir la mente, moverse fuera de lo previamente establecido.

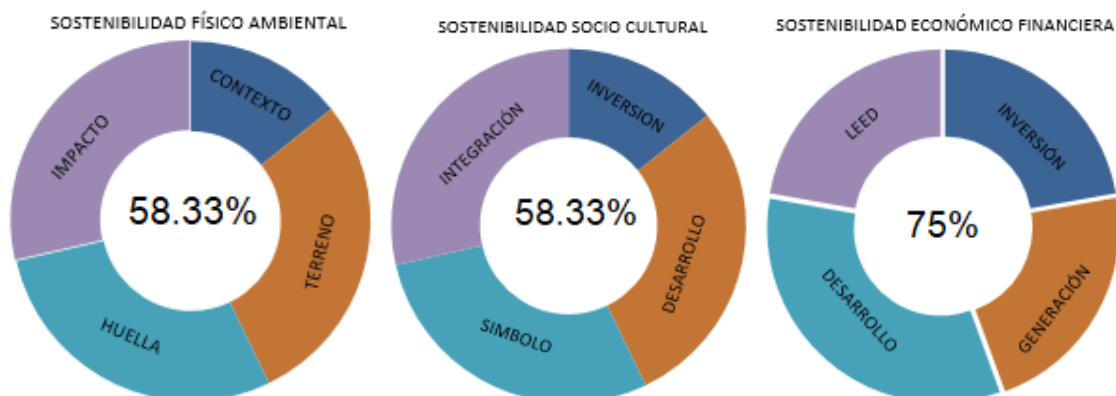


Figura 120. Modelo Multicriterio proyecto base. Elaborado por el autor. (2019).

Seguidamente se muestran las tablas de donde se producen los graficos de datos anteriores.

I SOSTENIBILIDAD FÍSICO-AMBIENTAL				VALOR	PUNTAJE
VARIABLES		ESTADOS			
CONTEXTO					
1	Contexto inmediato del proyecto (Situación actual)	a- Urbano Densó: más de 400 hab/Ha	3	1	
	Prioriza la condición de ciudad compacta	b- Urbano: entre 150 y 399 hab/Ha	2		
		c- Semi Urbano: entre 50 y 149 hab/Ha	1		
		d- Semi Rural: menos de 49 hab/Ha	0		
TERRENO					
2	Tamaño del terreno	a- 2 o más veces el área total que se programa construir	3	2	
	Área del plano de catastro o área asignada al proyecto según un criterio lógico y factible es:	b- 1.25 a 1.99 veces el área total que se programa construir	2		
		c- 0.75 a 1.24 veces el área total que se programa construir	1		
		d- Menor a 0.74 del área total que se programa construir	0		
HUELLA					
3	Huella de la edificación: Área construida a nivel de planta principal, o nivel 0	a- Menos del 25% del terreno disponible	3	2	
		b- Entre 25% y 39% del terreno disponible	2		
		c- Entre 40% y 69% del terreno disponible	1		
		d- Más del 70% del terreno disponible	0		
IMPACTO					
4	Impacto del proyecto- Estado del terreno	a- Bajo impacto ambiental (muy alterado suelo y veget)	3	2	
		b- Medio impacto ambiental (regular grado de alteración)	2		
		c- Alto impacto ambiental (poco grado de alteración)	1		
		d- Muy alto impacto ambiental (muy poca alteración)	0		
			12 TOTAL:	7	58,33%

II SOSTENIBILIDAD SOCIO-CULTURAL				VALOR	PUNTAJE	
INVERSION						
5	Inversión Social	a-	Alto grado de devolución social - mucha interacción socio cultural	3	1	
		b-	Regular grado devolución social - regular interacción socio cultural	2		
		c-	Bajo grado devolución social - poca interacción socio cultural	1		
		d-	Muy bajo grado devolución social - sin interacción socio cultural	0		
DESARROLLO						
6	Desarrollo Social Apropriado	a-	Da acceso a diversos grupos sociales (ingresos: alto-medio-medio bajo-	3	2	
		b-	Da acceso a algunos grupos sociales (ingresos: medio- medio bajo- bajo-	2		
		c-	Da acceso a pocos grupos sociales (ingresos: medio y alto)	1		
		d-	Da muy poco acceso a grupos sociales (ingresos: alto)	0		
SIMBOLO						
7	Representatividad simbólica (me siento o no representado y libre de expresarme)	a-	Brinda gran sentido de pertenencia	3	2	
		b-	Brinda regular sentido de pertenencia	2		
		c-	Brinda poco sentido de pertenencia	1		
		d-	No brinda sentido de pertenencia	0		
INTEGRACIÓN						
8	Integración social (organización y metas participativas)	a-	El proyecto facilita mucho la cohesión social	3	2	
		b-	El proyecto facilita la cohesión social	2		
		c-	El proyecto facilita poco la cohesión social	1		
		d-	El proyecto no permite la cohesión social	0		
				12	TOTAL: 7	58,33%

Figura 121. Evaluación Multicriterio, aplicado al edificio Auditorio NG. *Elaborado por el autor. (2019).*

III SOSTENIBILIDAD ECONOMICO-FINANCIERA				VALOR	PUNTAJE	
INVERSIÓN						
9	Inversión Financiera	a-	Superior a 2 millones de dólares	3	2	
		b-	Entre 1 y 2 millones de dólares	2		
		c-	Entre 0.5 y 0.99 millones de dólares	1		
		d-	Menos de 0.5 millones de dólares	0		
GENERACIÓN						
10	Generación de empleo de calidad	a-	El proyecto aumenta mucho el empleo de calidad	3	2	
		b-	El proyecto aumenta regularmente el empleo de calidad	2		
		c-	El proyecto aumenta poco el empleo de calidad	1		
		d-	El proyecto aumenta muy poco el empleo de calidad	0		
DESARROLLO						
11	Expectativas de desarrollo (se optimiza en base al grado de solvenci- del ente gestor y promotor)	a-	Proyecto con muchas posibilidades de realizarse a mediano plazo (2-3 a	3	3	
		b-	Proyecto con regular posibilidades de realizarse a mediano plazo (2-3 añ	2		
		c-	Proyecto con pocas posibilidades de realizarse a mediano plazo (2-3 añ	1		
		d-	Proyecto sin posibilidades de realizarse a mediano plazo (2-3 años)	0		
CERTIFICACIÓN LEED / RESET / EDGE SOSTENIBILIDAD						
12	Acreditación LEED: Calidad medio-ambiental, eficiencia energética y consumo de agua, desarroll- sostenible del sitio y uso de materiales	a-	Alta posibilidad de lograr certificación LEED	3	2	
		b-	Mediana posibilidad de lograr certificación LEED	2		
		c-	Baja posibilidad de lograr certificación LEED	1		
		d-	Muy baja posibilidad de lograr certificación LEED	0		
				12	TOTAL: 9	75,00%

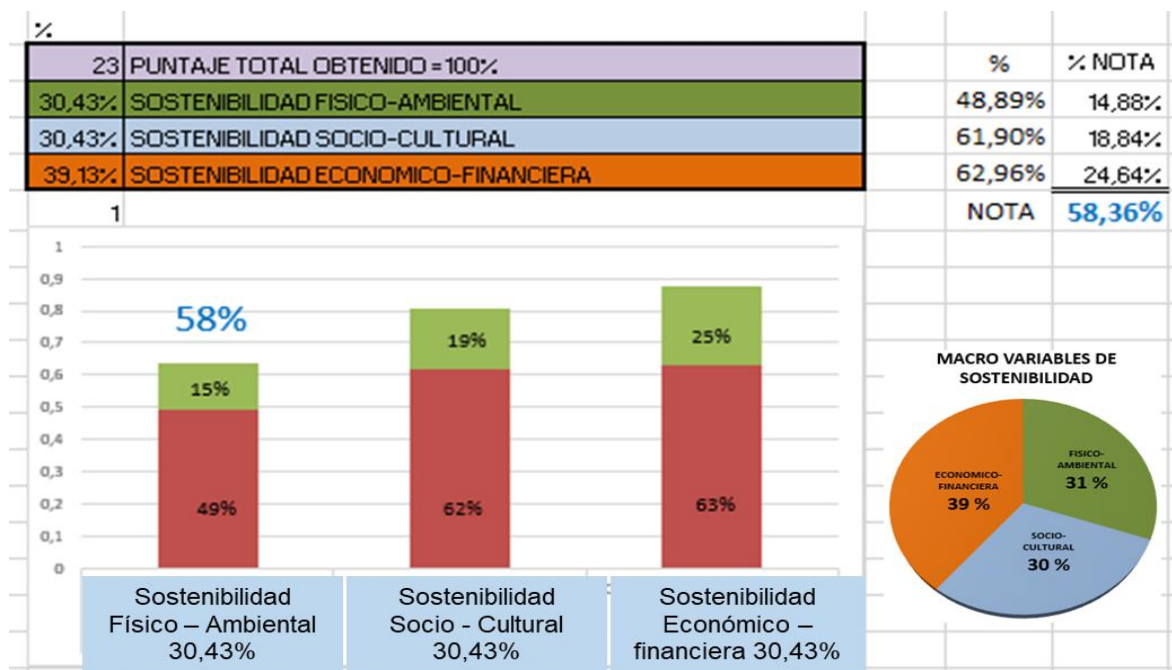


Figura 122. Modelo Multicriterio Modelo BASE ANG. Elaborado por el autor. (2019).

Al considerar ámbitos dispares desde el análisis físico ambiental, sociocultural y económico financiero, proporciona diversas ventanas para estimular la crítica sobre los sistemas constructivos, para establecer desde la perspectiva del diseñador, la elaboración de la integración de los elementos componentes, de modo que se puedan establecer modelos más eficientes, por aporte al medio ambiente interno o externo, así como incorporar nuevos elementos que consideren soluciones simples que pueden venir de inspiración en el conocimiento vernáculo, la manera de solucionar problemas antiguos, con nuevas ideas.

Para el caso de la estructura de las edificaciones, no se trata solamente de que sea fuerte; la flexibilidad ofrece una enorme fuente de inspiración, para moverse a otras prácticas de construcción, donde al cambiar las dimensiones, se pueden establecer patrones de composición, construcción y ensamble accesibles a la práctica profesional y técnica.

El resultado que se obtiene, de la primera evaluación, muestran cómo, en primera instancia, se han dejado de lado algunos parámetros de sostenibilidad y constructibilidad, que, si bien se conocen de antemano, no se han considerado desde el inicio de la propuesta y por ende se obtiene un resultado de calificación muy por debajo de los niveles

necesarios para considerar a la edificación como ejemplo de la sostenibilidad en arquitectura y construcción.

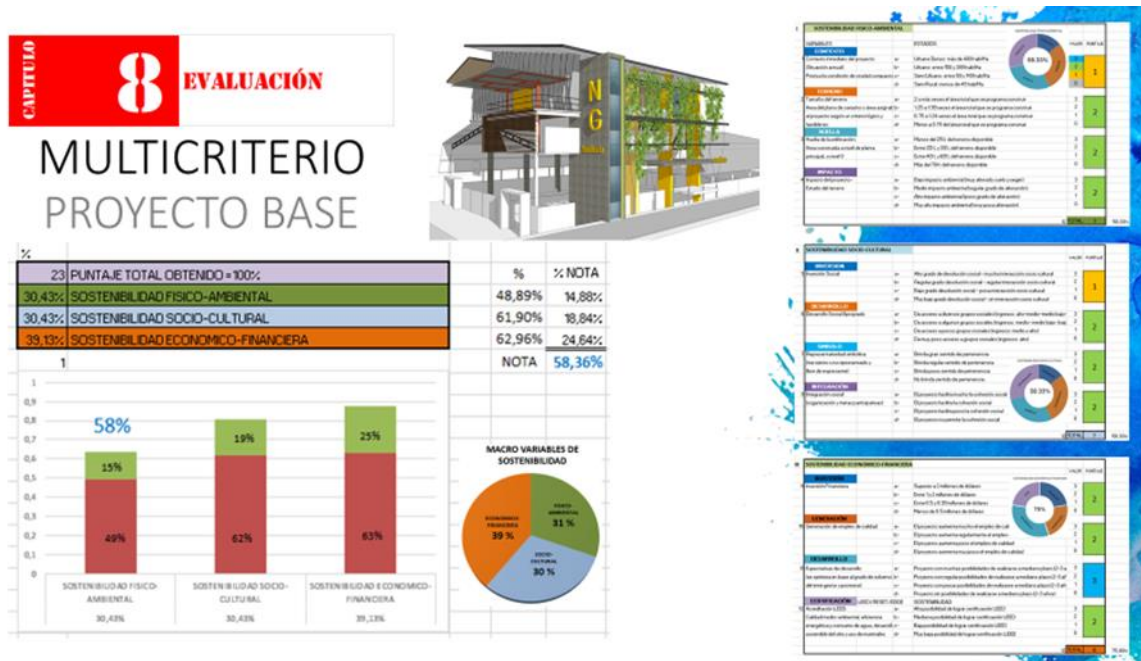


Figura 123. Multicriterio proyecto base. Aplicación del modelo multicriterio. Diagramación propia con base en información del proyecto. (2018), revisado en 2019.



Figura 124. Multicriterio proyecto internacional. Aplicación del modelo multicriterio. Diagramación propia con base en información del proyecto. (2018), revisado en 2019.

6.2 Aplicación de la evaluación y resultado en puntaje

En esta sección, se presentan los resultados de aplicar la evaluación multicriterio, con el fin de determinar posteriormente, cuáles son los elementos para la toma de decisión, sobre la intervención en el proyecto base, para la readecuación del edificio existente y los valores considerados para la integración de los conceptos de sostenibilidad en esta intervención y la edificación nueva, de modo que el proyecto integralmente obedezca a las políticas de carbono neutralidad, arquitectura verde y construcción sostenible, apropiadas al pensamiento actual de protección al ambiente, en todo el ciclo de vida de las edificaciones y su operación. El resultado obtenido, con una calificación puntual, establece el punto de partida sobre lo que se puede lograr mejorar con la intervención establecida en este taller.

Las tablas que siguen muestran los datos considerados en la evaluación multicriterio, según se ha establecido en el análisis previo sobre el tipo de proyecto base y modelo del Auditorio, como proyecto nacional, sobre el cual, más adelante en el desarrollo de la presente investigación se procura aplicar mejoras en el ámbito de la sostenibilidad del diseño arquitectónico y la construcción.

1. Sostenibilidad Físico-Ambiental						
Variables	Estados		Valor	Puntaje		
1	Confort Climático (Edificio)	a.	Ventilación Natural (temp.Humedad relativa adecuada)	3	1	
		b.	Ventilación semi nat. (Ventiladores-cielo)T y H adecuada	2		
		c.	Ventilación semi nat. (Ventiladores-cielo)T y H inadecuada	1		
		d.	Ventilación artificial (aire acondicionado)	0		
2	Radiación solar	F1	a.	Protección a incidencia solar/orientación de ventanas	3	2
			b.	Protección por parasoles fijos o bloques/ventilación	2	
			c.	Protección mediante estrategias pasivas	1	
			d.	Sin protección en áreas mayor incidencia	0	
	F2	a.	Protección a incidencia solar/orientación de ventanas	3	1	
		b.	Protección por parasoles fijos o bloques/ventilación	2		
		c.	Protección mediante estrategias pasivas	1		
		d.	Sin protección en áreas mayor incidencia	0		
3	Iluminación – día	global	a.	Iluminación natural 75% de áreas	3	1
			b.	Iluminación natural 60% de áreas	2	
			c.	Iluminación natural 45% de áreas	1	
			d.	Iluminación natural menor de 40% de área	0	
4	Aislamiento térmico (Paredes expuestas al sol)	F1	a.	Concreto armado integral	3	1
			b.	Marco estructural y bloques de concreto	2	
			c.	Perfil acero y panelería liviana (fibrolit, durok u otros)	1	
			d.	Marco de concreto o perfil de acero y vidrio	0	
	F2	a.	fachada falsa con convertura vegetal para reducir el paso del calor a la edifi	3	3	
		b.	uso de doble fachada ventilada para reducir intercambio térmico exterior - ir	2		
		c.	uso de técnicas pasiva bioclimáticas para ofrecer confort al interior del edifi	1		
		d.	uso de masas térmicas para control de temperatura interna del edificio.	0		
5	Manejo de Residuos	global	a.	Planta de tratamiento, biodigestor, y separacion de desechos (mucho aprov	3	1
			b.	Planta de tratamiento y biodigestor (medio aprovechamiento)	2	
			c.	Tratamiento de desechos con planta (sin retorno)	1	
			d.	Desecho directo a cloaca (sin retorno)	0	
6	Mantenimiento (Fachadas)	F1	a.	Material encubridor y facilidad de limpieza y pintura	3	1
			b.	Material encubridor y dificultad media en limpieza	2	
			c.	Material poco encubridor y dificultad media en limpieza	1	
			d.	Material poco encubridor y dificultad alta en limpieza	0	
	F2	a.	Material encubridor y facilidad de limpieza y pintura	3	1	
		b.	Material encubridor y dificultad media en limpieza	2		
		c.	Material poco encubridor y dificultad media en limpieza	1		
		d.	Material poco encubridor y dificultad alta en limpieza	0		
7	Sellado de piso (incluye estacionamientos y accesos)	global	a.	Material que permite infiltraciones (un 70% o + terreno)	3	1
			b.	Material que permite infiltraciones (entre 50% y 69%)	2	
			c.	Material que permite infiltraciones (entre 30% y 49%)	1	
			d.	Material que permite infiltraciones (entre 29% y 0)	0	
8	Soleamiento (Areas exteriores)	global	a.	Sombras Edif. Cobertura vegetal, text y color adecuado	3	2
			b.	Sombras Edif. Accept. poca cobertura vegetal, text.Color reg.	2	
			c.	Sombras Edif. Accept sin cobertura vegetal, text color reg.	1	
			d.	Sombras Edif. Accept sin cobertura vegetal, text color causa	0	
9	Relieve	global	a.	Movimiento de tierra y gradeo del terreno mínimo	3	2
			b.	Movimiento de tierra y gradeo del terreno regular	2	
			c.	Movimiento de tierra y gradeo del terreno alto	1	
			d.	Movimiento de tierra y gradeo del terreno muy alto	0	
10	Incidencia (Acústica del exterior)	global	a.	Atenúa fuentes de ruido externo (refracción)	3	3
			b.	Atenúa fuentes de ruido externo parcialmente	2	
			c.	Absorbe fuentes de ruido externo parcialmente	1	
			d.	Absorbe fuentes de ruido externo Totalmente	0	
11	Incidencia (vientos)	F1	a.	Forma dinámica donde transcurren vientos dominante	3	1
			b.	Forma poco resist, a vientos dominantes	2	
			c.	Forma resiste parcialmente a vientos dominantes	1	
			d.	Forma resiste frontalmente a vientos dominantes	0	
	F2	a.	Forma dinámica donde transcurren vientos dominante	3	1	
		b.	Forma poco resist, a vientos dominantes	2		
		c.	Forma resiste parcialmente a vientos dominantes	1		
		d.	Forma resiste frontalmente a vientos dominantes	0		
			TOTAL	45	22	
					48,89%	

Figura 125. Sostenibilidad Físico Ambiental. Elaborado por el autor (2019).

2,0 Sostenibilidad Socio-Cultural				
A: AREA EXTERIOR ABIERTA / E: EDIFICACIÓN				
VARIABLES		ESTADOS	VALOR	PUNTAJE
2,1 Esparcimiento-Deporte	a-	Espacio permite proceso deportivo +10 actividades	3	2
	b-	Espacio permite proceso deportivo 7-9 actividades	2	
	c-	Espacio permite proceso deportivo 3-6 actividades	1	
	d-	Espacio permite proceso deportivo 0-2 actividades	0	
2,2 Contexto & Imagen	a-	Excelente coherencia espacial-Función (edificio & parque)	3	2
	b-	Buena coherencia espacial-Función (edificio & parques)	2	
	c-	Regular coherencia espacial-Función (edificio & parques)	1	
	d-	Poca coherencia espacial-Función (edificio & parques)	0	
2,3 Legibilidad & Significación: A - E	a-	Alta diversidad-heterogeneidad. De recorrido cenestésico	3	1
	b-	Buena diversidad-heterogeneidad. De recorrido cenestésico	2	
	c-	Regular diversidad-heterogeneidad. De recorrido cenestésico	1	
	d-	Poca diversidad-heterogeneidad. De recorrido cenestésico	0	
2,4 Secuencia de Llegada	a-	Excelente confluencia de ejes, tensión y jerarquía de accesos	3	1
	b-	Buena confluencia de ejes, tensión y jerarquía de accesos	2	
	c-	Regular confluencia de ejes, tensión y jerarquía de accesos	1	
	d-	Poca confluencia de ejes, tensión y jerarquía de accesos	0	
2,5 Articulación funcional: E	a-	Excelente localización/circulación vert-horiz y su articulación	3	2
	b-	Buena localización/circulación vert-horiz y su articulación	2	
	c-	Regular localización/circulación vert-horiz y su articulación	1	
	d-	Poca localización/circulación vert-horiz y su articulación	0	
2,6 Sentido de lugar: A	a-	Alta diversidad/coherencia forma-color (bordes de piso)	3	2
	b-	Buena diversidad/coherencia forma-color (bordes de piso)	2	
	c-	Regular diversidad/coherencia forma-color (bordes de piso)	1	
	d-	Poca diversidad/coherencia forma-color (bordes de piso)	0	
FORMA: E				
2,7 Plasticidad	a-	Caracterizado como edificio entre 1er y 2do Orden	3	2
	b-	Caracterizado como edificio entre 1er Orden	2	
	c-	Caracterizado como edificio entre 2do Orden	1	
	d-	Caracterizado como edificio entre transfondo	0	
2,8 Estructura	a-	Alta coherencia y valoración estructura-estética	3	2
	b-	Buena coherencia y valoración estructura-estética	2	
	c-	Regular coherencia y valoración estructura-estética	1	
	d-	Poca coherencia y valoración estructura-estética	0	
2,9 Composición: E	a-	Alta coherencia: Volumetría-Proporción-Movimiento	3	2
	b-	Buena coherencia: Volumetría-Proporción-Movimiento	2	
	c-	Regular coherencia: Volumetría-Proporción-Movimiento	1	
	d-	Poca coherencia: Volumetría-Proporción-Movimiento	0	
CALIDAD ESPACIAL: E				
2,10 Confort espacial: E	a-	Excelente caracterización volumétrica espacial (función)	3	2
	b-	Buena caracterización volumétrica espacial (función)	2	
	c-	Regular caracterización volumétrica espacial (función)	1	
	d-	Poca caracterización volumétrica espacial (función)	0	
2,11 Continuidad & Fluidez espacial: A - E	a-	Excelente condición de fluidez espacial y transparencia	3	2
	b-	Buena condición de fluidez espacial y transparencia	2	
	c-	Regular condición de fluidez espacial y transparencia	1	
	d-	Poca condición de fluidez espacial y transparencia	0	
2,12 Funcionamiento & Zonificación: A - E	a-	Excelente zonificación de acuerdo a flujos de actividad	3	3
	b-	Buena zonificación de acuerdo a flujos de actividad	2	
	c-	Regular zonificación de acuerdo a flujos de actividad	1	
	d-	Poca zonificación de acuerdo a flujos de actividad	0	
2,13 Seguridad & Riesgo: A - E	a-	Excelente localización escaleras (evacuación)	3	2
	b-	Buena localización escaleras (evacuación)	2	
	c-	Regular localización escaleras (evacuación)	1	
	d-	Mala localización escaleras (evacuación)	0	
2,14 Control & Vigilancia, Seguridad social	a-	Mediante CCTV, facilidad de cierre	3	1
	b-	Mediante zonas de vigilancia & recorridos regulares	2	
	c-	Mixto a- y b-	1	
	d-	Poca posibilidad de control y vigilancia	0	
PUNTAJE: TOTAL			42	26
61,90%				

Figura 126. Sostenibilidad Socio Cultural. Elaborado por el autor. (2019)

III Sostenibilidad Económica - Financiera					
Variable		Estado	Valor	puntaje obtenido	
3.1	Costo Constructivo	F1	a promedio muy por debajo del promedio < \$2 000/m ² o menos	3	3
			b promedio inferior al promedio < \$2,250/m ² a \$2,4	2	
			c promedio = \$2,500	1	
			d promedio muy alto: > \$3,000/m ² c	0	
		F2	a 100% materiales propios del país	3	1
			b 70%/30% materiales propios/materiales importados	2	
			c 50%/50% materiales propios/materiales importados	1	
			d 100% materiales importados	0	
3.2	Costo operativo	F1	a Material de muy bajo costo de mantenimiento y limpieza	3	2
			b Material de bajo costo de mantenimiento y limpieza	2	
			c Material de mediano costo de mantenimiento y limpieza	1	
			d Material de alto costo de mantenimiento y limpieza	0	
		F2	a Material de muy bajo costo operativo y consumo	3	2
			b Material de bajo costo operativo y consumo	2	
			c Material de mediano costo operativo y consumo	1	
			d Material de alto costo operativo y consumo	0	
3.3	C.A.S.	F1	a coeficiente aprovechamiento del suelo + 4 :: desarroll	3	2
			b coeficiente aprovechamiento del suelo de 2 -4 :: vertical + ho	2	
			c coeficiente aprovechamiento del suelo de 1 a 2 :: horizontal + v	1	
			d coeficiente aprovechamiento del suelo -1 :: desarrollo ho	0	
		F2	a coeficiente aprovecha del suelo + 4:: integra espacio	3	2
			b coeficiente aprovecha del suelo de 2 -4 :: primera plant	2	
			c coeficiente aprovecha del suelo de 1 a 2 :: poco espa	1	
			d coeficiente aprovecha del suelo -1 :: sin esp	0	
3.4	Proceso Constructivo	F1	a muy alta complejidad y especialización técnica	3	1
			b alta complejidad y especialización técnica	2	
			c mediana complejidad y especialización técnica	1	
			d baja complejidad y especialización técnica	0	
		F2	a alta innovación en procesos constructivos modernos de alta efici	3	1
			b implementación promedio de innovación en procesos constructivos	2	
			c baja implementación de innovación en procesos constructivos	1	
			d métodos tradicionales de proceso constructivo, sin innovación.	0	
3.5	Plazo de ejecución	global	a Plazo de construcción estimado menor a 24 meses / eficiencia a	3	1
			b Plazo de construcción estimado entre 24 y 36 meses / eficiencia	2	
			c Plazo de construcción estimado entre 24 y 36 meses / eficiencia	1	
			d Plazo de construcción estimado mayor 36 meses / deficiente	0	
3.6	Constructibilidad	F1	a Estricta conceptualización y manejo de la técnica constructiva	3	1
			b buena conceptualización y aceptable manejo de técnica construc	2	
			c regular conceptualización y aceptable manejo de técnica constru	1	
			d mala conceptualización y mal manejo de técnica constructiva	0	
		F2	a estandarización y resolución de 100% de los conceptos constructivos.	3	1
			b Buena Constructibilidad: 60% estandarización y resolución de conceptos constructivos.	2	
			c Regular Constructibilidad: 30% estandarización	1	
			d Baja Constructibilidad: no hay desarrollo de estandarización, ni resolución de conceptos constructivos.	0	
3.7	Usos múltiples del espacio (rentabilidad por tipo de espacio)	global	a uso mixto menor al 10% del área total	3	2
			b uso mixto menor al 5% del área total	2	
			c uso mixto menor al 2% del área total	1	
			d únicamente uso residencial	0	
3.8	Espacio para estacionamiento	F1	a al menos uno por cada unidad habitacional/oficina/recinto	3	1
			b al menos uno por cada 2 unidades habitacionales/oficinas/recint	2	
			c al menos uno por cada 3 unidades habitacionales/oficinas/recint	1	
			d menos de uno por cada 3 unidades habitacionales/oficinas/recin	0	
		F2	a supera la normativa y ofrece alternativas sustentables	3	1
			b provee además espacios diferenciados para bicicletas, autos el	2	
			c cumple con el mínimo requerido + 7600	1	
			d incumple las normativas	0	

Accesibilidad						
3,9	Vías de acceso al proyecto	F1	a	Vías primaria pavimentada y en excelente estado de conservación	3	2
			b	Vías Secundaria pavimentada y en excelente estado de conservación	2	
			c	Vías Secundaria apenas transitable, pavimento deteriorado o no	1	
			d	vías en estado no transitable, sin pavimento ni obras de protección	0	
		F2	a	Vías primaria pavimento ecológico y sustentable 100%	3	1
			b	Vías Secundaria pavimento permeable y sostenible 100%	2	
			c	Vías Secundaria de bajo mantenimiento / pavimento de concreto	1	
			d	vías en asfalto o lastreado.	0	
3,10	Acceso público peatonal	F1	a	Acceso en buen estado libre de obstáculos y barreras arquitectónicas	3	2
			b	Acceso en buen estado, pero con obstáculos	2	
			c	Acceso en regular estado sin obstáculos	1	
			d	Acceso en regular /mal estado con obstáculos	0	
		F2	a	Acceso en buen estado libre de obstáculos, cumple 7600	3	3
			b	Acceso en buen estado obstáculos, no cumple 7600	2	
			c	Acceso en regular estado sin obstáculos, cumple 7600	1	
			d	Acceso en regular /mal estado con obstáculos, no cumple 7600	0	
3,11	Tratamiento Aguas Negras	global	a	Cuenta con Planta de tratamiento, en uso y mantenimiento adecuado	3	3
			b	Alcantarillado Sanitario, en uso y mantenimiento adecuado	2	
			c	Tanque Septico, en uso y mantenimiento adecuado	1	
			d	Sin Tratamiento, descarga al ambiente.	0	
3,12	Acceso a Transporte Público	global	a	Inmediato y muy seguro, menos de 500 mts, por acera peatonal	3	2
			b	Cerca y seguro, a 500 mts o más, por acera peatonal	2	
			c	Largo y regularmente seguro, más de 1 Km., no cuenta con acceso	1	
			d	no existe, transporte esporádico o informal.	0	
3,13	Instalaciones de Salud	global	a	muy cerca (menos de 2 km)	3	1
			b	Cerca (entre 2 y 4 km)	2	
			c	Largo más de 4 km	1	
			d	no existe	0	
3,14	Acceso a educación Pública	global	a	muy cerca (menos de 2 km)	3	3
			b	Cerca (entre 2 y 4 km)	2	
			c	Largo más de 4 km	1	
			d	no existe	0	
3,15	Acceso a Comercio de primera necesidad	global	a	muy cerca (menos de 2 km)	3	2
			b	Cerca (entre 2 y 4 km)	2	
			c	Largo más de 4 km	1	
			d	no existe	0	
3,16	Acceso a Agua potable	global	a	servicio constante, facturado y administrado por entidad pública	3	3
			b	Se interrumpe en raras ocasiones	2	
			c	Se interrumpe constantemente	1	
			d	no existe	0	
3,17	Acceso a corriente eléctrica	global	a	sobrada capacidad de carga	3	3
			b	Buena capacidad de carga	2	
			c	Deficiente capacidad de carga	1	
			d	no existe capacidad	0	
3,18	Acceso a telefonía	global	a	Excelente cobertura	3	3
			b	Buena cobertura(se interrumpe raras ocasiones)	2	
			c	Se interrumpe constantemente	1	
			d	no existe	0	
3,19	Acceso a Internet	global	a	Excelente cobertura	3	2
			b	Buena cobertura(se interrumpe raras ocasiones)	2	
			c	Se interrumpe constantemente	1	
			d	no existe	0	
				TOTAL	81	51
						62,96%

Figura 127. Sostenibilidad Económica Financiera. *Elaborado por el autor. (2018 – 2019).*

6.3 Proyecto modelo Internacional: Catedral Cristo de la Luz.



Figura 128. Catedral Cristo de la Luz. (Rubio, 2011).

Modelo multicriterio aplicado al proyecto internacional

Se parte de la información que se encuentra accesible en sitios de internet, tanto del proyecto, como del lugar y los profesionales que participan en este proyecto.

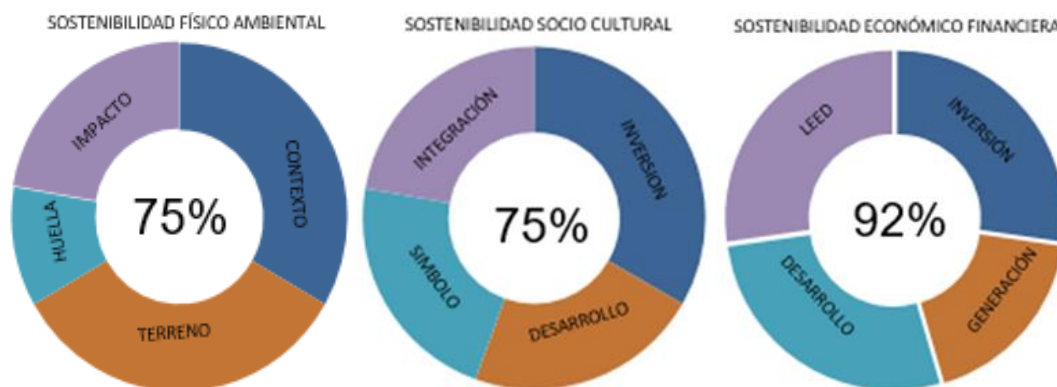


Figura 129. Sostenibilidad Físico Ambiental proyecto internacional. Elaborado por el autor. (2018).

SOSTENIBILIDAD FISICO-AMBIENTAL				VALOR	PUNTAJE	
VARIABLES		ESTADOS				
CONTEXTO						
Contexto inmediato del proyecto (Situación actual)	a-	Urbano Denso: más de 400 hab/Ha	3	3		
	b-	Urbano: entre 150 y 399 hab/Ha	2			
Prioriza la condición de ciudad compacta	c-	Semi Urbano: entre 50 y 149 hab/Ha	1			
	d-	Semi Rural: menos de 49 hab/Ha	0			
TERRENO						
Tamaño del terreno	a-	2 o más veces el área total que se programa construir	3	3		
Área del plano de catastro o área asignable al proyecto según un criterio lógico y factible es:	b-	1.25 a 1.99 veces el área total que se programa construir	2			
	c-	0.75 a 1.24 veces el área total que se programa construir	1			
	d-	Menor a 0.74 del área total que se programa construir	0			
HUELLA						
Huella de la edificación:	a-	Menos del 25% del terreno disponible	3	1		
Área construida a nivel de planta principal, o nivel 0	b-	Entre 25% y 39% del terreno disponible	2			
	c-	Entre 40% y 69% del terreno disponible	1			
	d-	Más del 70% del terreno disponible	0			
IMPACTO						
Impacto del proyecto- Estado del terreno	a-	Bajo impacto ambiental (muy poca alteración)	3	2		
	b-	Medio impacto ambiental (poco grado de alteración)	2			
	c-	Alto impacto ambiental (regular grado de alteración)	1			
	d-	Muy alto impacto ambiental (muy alterado suelo y veget)	0			
				12	TOTAL: 9	75,00%

SOSTENIBILIDAD SOCIO-CULTURAL				VALOR	PUNTAJE	
VARIABLES		ESTADOS				
INVERSION						
Inversión Social	a-	Alto grado de devolución social - mucha interacción socio cultural	3	3		
	b-	Regular grado devolución social - regular interacción socio cultural	2			
	c-	Bajo grado devolución social - poca interacción socio cultural	1			
	d-	Muy bajo grado devolución social - sin interacción socio cultural	0			
DESARROLLO						
Desarrollo Social Apropriado	a-	Da acceso a diversos grupos sociales (ingresos: alto-medio-medio bajo-bajo)	3	2		
	b-	Da acceso a algunos grupos sociales (ingresos: medio- medio bajo- bajo)	2			
	c-	Da acceso a pocos grupos sociales (ingresos: medio y alto)	1			
	d-	Da muy poco acceso a grupos sociales (ingresos: alto)	0			
SIMBOLO						
Representatividad simbólica (me siento o no representado y libre de expresarme)	a-	Brinda gran sentido de pertenencia	3	2		
	b-	Brinda regular sentido de pertenencia	2			
	c-	Brinda poco sentido de pertenencia	1			
	d-	No brinda sentido de pertenencia	0			
INTEGRACIÓN						
Integración social (organización y metas participativas)	a-	El proyecto facilita mucho la cohesión social	3	2		
	b-	El proyecto facilita la cohesión social	2			
	c-	El proyecto facilita poco la cohesión social	1			
	d-	El proyecto no permite la cohesión social	0			
				12	TOTAL: 9	75,00%

Figura 130. Sostenibilidad Socio Cultural proyecto Internacional. Elaborado por el autor. (2018).

SOSTENIBILIDAD ECONÓMICO-FINANCIERA				VALOR	PUNTAJE
INVERSIÓN					
Inversión Financiera	a-	Superior a 2 millones de dólares	3	3	
	b-	Entre 1 y 2 millones de dólares	2		
	c-	Entre 0.5 y 0.99 millones de dólares	1		
	d-	Menos de 0.5 millones de dólares	0		
GENERACIÓN					
Generación de empleo de calidad	a-	El proyecto aumenta mucho el empleo de calidad	3	2	
	b-	El proyecto aumenta regularmente el empleo de calidad	2		
	c-	El proyecto aumenta poco el empleo de calidad	1		
	d-	El proyecto aumenta muy poco el empleo de calidad	0		
DESARROLLO					
Expectativas de desarrollo (se optimiza con base al grado de solvencia del ente gestor y promotor)	a-	Proyecto con muchas posibilidades de realizarse a mediano plazo (2-3 años)	3	3	
	b-	Proyecto con regular posibilidades de realizarse a mediano plazo (2-3 años)	2		
	c-	Proyecto con pocas posibilidades de realizarse a mediano plazo (2-3 años)	1		
	d-	Proyecto sin posibilidades de realizarse a mediano plazo (2-3 años)	0		
LEED					
Acreditación LEED:	a-	Alta posibilidad de lograr certificación LEED	3	3	
Calidad medio-ambiental, eficiencia energética y consumo de agua, desarrollo sostenible del sitio y uso de materiales	b-	Mediana posibilidad de lograr certificación LEED	2		
	c-	Baja posibilidad de lograr certificación LEED	1		
	d-	Muy baja posibilidad de lograr certificación LEED	0		
				12	TOTAL: 11
					91,67%

Figura 131. Sostenibilidad Económico-Financiera proyecto internacional. Elaborado por el autor. (2018).

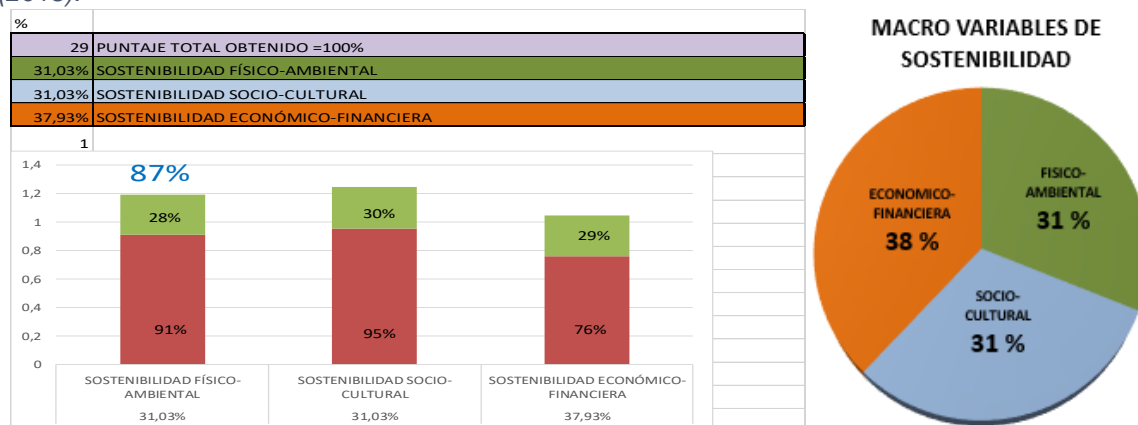


Figura 132. Resultados multicriterio proyecto internacional, elaborado por el autor, 2018.

Aplicación del modelo de análisis multicriterio, aplicado al edificio Catedral Cristo de la Luz; elaboración propia, 2018.

La estructura de tres elementos se ha balanceado en esta aplicación, de manera que se ha establecido que las variables correspondientes al plano Físico Ambiental y Sociocultural poseen un peso promedio similar y menor que al plano económico financiero, por cuanto es considerable el costo económico de los proyectos en estudio, donde los presupuestos superan en mucho las inversiones que se realizan en el ámbito nacional y regional, además de la crítica constante que se encuentra en las informaciones sobre estos proyectos, las cuales indican que el costo final supera bastante el costo inicial propuesto, recibiendo así

fueres críticas por los ciudadanos que, de alguna manera se sienten comprometidos con el manejo de las finanzas públicas.

1. Sostenibilidad Físico-Ambiental					
Variables		Estados		Valor	Puntaje
Confort Climático (Edificio)		a.	Ventilación Natural (temp.Humedad relativa adecuada)	3	3
		b.	Ventilación semi nat. (Ventiladores-cielo)T y H adecuada	2	
		c.	Ventilación semi nat. (Ventiladores-cielo)T y H inadecuada	1	
		d.	Ventilación artificial (aire acondicionado)	0	
Radiación solar	F1	a.	Protección a incidencia solar/orientación de ventanas	3	3
		b.	Protección por parasoles fijos o bloques/ventilación	2	
		c.	Protección mediante estrategias pasivas	1	
		d.	Sin protección en áreas mayor incidencia	0	
	F2	a.	Protección a incidencia solar/orientación de ventanas	3	3
		b.	Protección por parasoles fijos o bloques/ventilación	2	
		c.	Protección mediante estrategias pasivas	1	
		d.	Sin protección en áreas mayor incidencia	0	
Iluminación – día	global	a.	Iluminación natural 75% de áreas	3	3
		b.	Iluminación natural 60% de áreas	2	
		c.	Iluminación natural 45% de áreas	1	
		d.	Iluminación natural menor de 40% de área	0	
Aislamiento térmico (Paredes expuestas al sol)	F1	a.	Concreto armado integral	3	3
		b.	Marco estructural y bloques de concreto	2	
		c.	Perfil acero y panelería liviana (fibrolit, durok u otros) Madera y vidrio	1	
		d.	Marco de concreto o perfil de acero y vidrio	0	
	F2	a.	fachada falsa con convertura vegetal para reducir el paso del calor a la edif	3	2
		b.	uso de doble fachada ventilada para reducir intercambio térmico exterior - in	2	
		c.	uso de técnicas pasiva bioclimáticas para ofrecer confort al interior del edific	1	
		d.	uso de masas térmicas para control de temperatura interna del edificio.	0	
Manejo de Residuos	global	a.	Planta de tratamiento, biodigestor, y separacion de desechos (mucho aprov	3	3
		b.	Planta de tratamiento y biodigestor (medio aprovechameinto)	2	
		c.	Tratamiento de desechos con planta (sin retorno)	1	
		d.	Desecho directo a cloaca (sin retorno)	0	
Mantenimiento (Fachadas)	F1	a.	Material encubridor y facilidad de limpieza y pintura	3	3
		b.	Material encubridor y dificultad media en limpieza	2	
		c.	Material poco encubridor y dificultad media en limpieza	1	
		d.	Material poco encubridor y dificultad alta en limpieza	0	
	F2	a.	Material encubridor y facilidad de limpieza y pintura	3	3
		b.	Material encubridor y dificultad media en limpieza	2	
		c.	Material poco encubridor y dificultad media en limpieza	1	
		d.	Material poco encubridor y dificultad alta en limpieza	0	
Sellado de piso (incluye estacionamientos y accesos)	global	a.	Material que permite infiltraciones (un 70% o + terreno)	3	2
		b.	Material que permite infiltraciones (entre 50% y 69%)	2	
		c.	Material que permite infiltraciones (entre 30% y 49%)	1	
		d.	Material que permite infiltraciones (entre 29% y 0)	0	
Soleamiento (Areas exteriores)	global	a.	Sombras Edif. Cobertura vegetal, text y color adecuado	3	1
		b.	Sombras Edif. Accept. poca cobertura vegetal, text.Color reg.	2	
		c.	Sombras Edif. Accept sin cobertura vegetal, text color reg.	1	
		d.	Sombras Edif. Accept sin cobertura vegetal, text color causa	0	
Relieve	global	a.	Movimiento de tierra y gradeo del terreno mínimo	3	3
		b.	Movimiento de tierra y gradeo del terreno regular	2	
		c.	Movimiento de tierra y gradeo del terreno alto	1	
		d.	Movimiento de tierra y gradeo del terreno muy alto	0	
Incidencia (Acústica del exterior)	global	a.	Atenúa fuentes de ruido externo (refracción)	3	3
		b.	Atenúa fuentes de ruido externo parcialmente	2	
		c.	Absorbe fuentes de ruido externo parcialmente	1	
		d.	Absorbe fuentes de ruido externo Totalmente	0	
Incidencia (vientos)	F1	a.	Forma dinámica donde transcurren vientos dominante	3	3
		b.	Forma poco resist, a vientos dominantes	2	
		c.	Forma resiste parcialmente a vientos dominantes	1	
		d.	Forma resiste frontalmente a vientos dominantes	0	
	F2	a.	Forma dinámica donde transcurren vientos dominante	3	3
		b.	Forma poco resist, a vientos dominantes	2	
		c.	Forma resiste parcialmente a vientos dominantes	1	
		d.	Forma resiste frontalmente a vientos dominantes	0	
TOTAL				45	41
					91,11%

Sostenibilidad Socio-Cultural					
A: AREA EXTERIOR ABIERTA / E: EDIFICACIÓN					
VARIABLES	ESTADOS			VALOR	PUNTAJE
Esparcimiento-Deporte	a-	Espacio permite proceso deportivo +10 actividades	3	2	
	b-	Espacio permite proceso deportivo 7-9 actividades	2		
	c-	Espacio permite proceso deportivo 3-6 actividades	1		
	d-	Espacio permite proceso deportivo 0-2 actividades	0		
Contexto & Imagen	a-	Excelente coherencia espacial-Función (edificio & parques)	3	3	
	b-	Buena coherencia espacial-Función (edificio & parques)	2		
	c-	Regular coherencia espacial-Función (edificio & parques)	1		
	d-	Poca coherencia espacial-Función (edificio & parques)	0		
Legibilidad & Significación: A - E	a-	Alta diversidad-heterogeneidad. De recorrido cenestésico	3	3	
	b-	Buena diversidad-heterogeneidad. De recorrido cenestésico	2		
	c-	Regular diversidad-heterogeneidad. De recorrido cenestésico	1		
	d-	Poca diversidad-heterogeneidad. De recorrido cenestésico	0		
Secuencia de llegada	a-	Excelente confluencia de ejes, tensión y jerarquía de accesos	3	3	
	b-	Buena confluencia de ejes, tensión y jerarquía de accesos	2		
	c-	Regular confluencia de ejes, tensión y jerarquía de accesos	1		
	d-	Poca confluencia de ejes, tensión y jerarquía de accesos	0		
Articulación funcional: E	a-	Excelente localización/circulación vert-horiz y su articulación	3	3	
	b-	Buena localización/circulación vert-horiz y su articulación	2		
	c-	Regular localización/circulación vert-horiz y su articulación	1		
	d-	Poca localización/circulación vert-horiz y su articulación	0		
Sentido de lugar: A	a-	Alta diversidad/coherencia forma-color (bordes de piso)	3	2	
	b-	Buena diversidad/coherencia forma-color (bordes de piso)	2		
	c-	Regular diversidad/coherencia forma-color (bordes de piso)	1		
	d-	Poca diversidad/coherencia forma-color (bordes de piso)	0		
FORMA: E					
Plasticidad	a-	Caracterizado como edificio entre 1er y 2do Orden	3	3	
	b-	Caracterizado como edificio entre 1er Orden	2		
	c-	Caracterizado como edificio entre 2do Orden	1		
	d-	Caracterizado como edificio entre transfondo	0		
Estructura	a-	Alta coherencia y valoración estructura-estética	3	3	
	b-	Buena coherencia y valoración estructura-estética	2		
	c-	Regular coherencia y valoración estructura-estética	1		
	d-	Poca coherencia y valoración estructura-estética	0		
Composición: E	a-	Alta coherencia: Volumetría-Proporción-Movimiento	3	3	
	b-	Buena coherencia: Volumetría-Proporción-Movimiento	2		
	c-	Regular coherencia: Volumetría-Proporción-Movimiento	1		
	d-	Poca coherencia: Volumetría-Proporción-Movimiento	0		
CALIDAD ESPACIAL: E					
Confort espacial: E	a-	Excelente caracterización volumétrica espacial (función)	3	3	
	b-	Buena caracterización volumétrica espacial (función)	2		
	c-	Regular caracterización volumétrica espacial (función)	1		
	d-	Poca caracterización volumétrica espacial (función)	0		
Continuidad & Fluidez espacial: A - E	a-	Excelente condición de fluidez espacial y transparencia	3	3	
	b-	Buena condición de fluidez espacial y transparencia	2		
	c-	Regular condición de fluidez espacial y transparencia	1		
	d-	Poca condición de fluidez espacial y transparencia	0		
Funcionamiento & Zonificación: A - E	a-	Excelente zonificación de acuerdo a flujos de actividad	3	3	
	b-	Buena zonificación de acuerdo a flujos de actividad	2		
	c-	Regular zonificación de acuerdo a flujos de actividad	1		
	d-	Poca zonificación de acuerdo a flujos de actividad	0		
Seguridad & Riesgo: A - E	a-	Excelente localización escaleras (evacuación)	3	3	
	b-	Buena localización escaleras (evacuación)	2		
	c-	Regular localización escaleras (evacuación)	1		
	d-	Mala localización escaleras (evacuación)	0		
Control & Vigilancia, Seguridad social	a-	Mediante CCTV, facilidad de cierre	3	3	
	b-	Mediante zonas de vigilancia & recorridos regulares	2		
	c-	Mixto a- y b-	1		
	d-	Poca posibilidad de control y vigilancia	0		
PUNTAJE: TOTAL			42	40	
95,24%					

Figura 133. Sostenibilidad socio cultural, elaborado por el autor. (2018).

III Sostenibilidad Económica - Financiera					
Variable		Estado	Valor	puntaje obtenido	
Costo Constructivo	F1	a	promedio muy por debajo del promedio < \$2 000/m ² o menos	3	1
		b	promedio inferior al promedio < \$2,250/m ² a \$2,4	2	
		c	promedio = \$2,500	1	
		d	promedio muy alto: > \$3,000/m ² o	0	
	F2	a	100% materiales propios del país	3	3
		b	70%/30% materiales propios/materiales importados	2	
		c	50%/50% materiales propios/materiales importados	1	
		d	100% materiales importados	0	
Costo operativo	F1	a	Material de muy bajo costo de mantenimiento y limpieza	3	3
		b	Material de bajo costo de mantenimiento y limpieza	2	
		c	Material de mediano costo de mantenimiento y limpieza	1	
		d	Material de alto costo de mantenimiento y limpieza	0	
	F2	a	Material de muy bajo costo operativo y consumo	3	2
		b	Material de bajo costo operativo y consumo	2	
		c	Material de mediano costo operativo y consumo	1	
		d	Material de alto costo operativo y consumo	0	
C.A.S.	F1	a	coeficiente aprovechamiento del suelo + 4 :: desarrollo	3	2
		b	coeficiente aprovechamiento del suelo de 2 -4 :: vertical + ho	2	
		c	coeficiente aprovechamiento del suelo de 1 a 2 :: horizontal + y	1	
		d	coeficiente aprovechamiento del suelo -1 :: desarrollo hc	0	
	F2	a	coeficiente aprovecha del suelo + 4:: integra espacio	3	3
		b	coeficiente aprovecha del suelo de 2 -4 :: primera plant	2	
		c	coeficiente aprovecha del suelo de 1 a 2 :: poco espa	1	
		d	coeficiente aprovecha del suelo -1 :: sin esp	0	
Proceso Constructivo	F1	a	muy alta complejidad y especialización técnica	3	3
		b	alta complejidad y especialización técnica	2	
		c	mediana complejidad y especialización técnica	1	
		d	baja complejidad y especialización técnica	0	
	F2	a	alta innovación en procesos constructivos modernos de alta efici	3	3
		b	implementación promedio de innovación en procesos constructiv	2	
		c	baja implementación de innovación en procesos constructivos	1	
		d	metodos tradicionales de proceso constructivo, sin innovación.	0	
Plazo de ejecución	global	a	Plazo de construcción estimado menor a 24 meses / eficiencia a	3	3
		b	Plazo de construcción estimado entre 24 y 36 meses / eficiencia	2	
		c	Plazo de construcción estimado entre 24 y 36 meses / eficiencia	1	
		d	Plazo de construcción estimado mayor 36 meses / deficiente	0	
Constructibilidad	F1	a	Estricta conceptualización y manejo de la técnica constructiva	3	3
		b	buena conceptualización y aceptable manejo de técnica construc	2	
		c	regular conceptualización y aceptable manejo de técnica construc	1	
		d	mala conceptualización y mal manejo de técnica constructiva	0	
	F2	a	estandarización y resolución de 100% de los conceptos constructivos.	3	3
		b	Buena Constructibilidad: 60% estandarización y resolución de conceptos constructivos.	2	
		c	Regular Constructibilidad: 30% estandarización	1	
		d	Baja Constructibilidad: no hay desarrollo de estandarización, ni resolución de conceptos constructivos.	0	
Usos múltiples del espacio (rentabilidad por tipo de espacio)	global	a	uso mixto menor al 10% del área total	3	3
		b	uso mixto menor al 5% del área total	2	
		c	uso mixto menor al 2% del área total	1	
		d	unicamente uso residencial	0	
Espacio para estacionamiento	F1	a	al menos uno por cada unidad habitacional/oficina/recinto	3	2
		b	al menos uno por cada 2 unidades habitacionales/oficinas/recint	2	
		c	al menos uno por cada 3 unidades habitacionales/oficinas/recint	1	
		d	menos de uno por cada 3 unidades habitacionales/oficinas/recint	0	
	F2	a	supera la normativa y ofrece alternativas sustentables	3	3
		b	provee además espacios diferenciados para bicicletas, autos el	2	
		c	cumple con el mínimo requerido + 7600	1	
		d	incumple las normativas	0	

Vías de acceso al proyecto	F1	a	Vías primaria pavimentada y en excelente estado de conservación	3	3
		b	Vías Secundaria pavimentada y en excelente estado de conservación	2	
		c	Vías Secundaria apenas transitable, pavimento deteriorado o no	1	
		d	vías en estado no transitable, sin pavimento ni obras de protección	0	
	F2	a	Vías primaria pavimento ecológico y sustentable 100%	3	2
		b	Vías Secundaria pavimento permeable y sostenible 100%	2	
		c	Vías Secundaria de bajo mantenimiento / pavimento de concreto	1	
		d	vías en asfalto o lastreado.	0	
Acceso público peatonal	F1	a	Acceso en buen estado libre de obstáculos y barreras arquitectónicas	3	3
		b	Acceso en buen estado, pero con obstáculos	2	
		c	Acceso en regular estado sin obstáculos	1	
		d	Acceso en regular /mal estado con obstáculos	0	
	F2	a	Acceso en buen estado libre de obstáculos, cumple 7600	3	3
		b	Acceso en buen estado obstáculos, no cumple 7600	2	
		c	Acceso en regular estado sin obstáculos, cumple 7600	1	
		d	Acceso en regular /mal estado con obstáculos, no cumple 7600	0	
Tratamiento Aguas Negras	global	a	Cuenta con Planta de tratamiento, en uso y mantenimiento adecuado	3	3
		b	Alcantarillado Sanitario, en uso y mantenimiento adecuado	2	
		c	Tanque Septico, en uso y mantenimiento adecuado	1	
		d	Sin Tratamiento, descarga al ambiente.	0	
Acceso a Transporte Público	global	a	Inmediato y muy seguro, menos de 500 mts, por acera peatonal	3	2
		b	Cerca y seguro, a 500 mts o más, por acera peatonal	2	
		c	Largo y regularmente seguro, más de 1 Km., no cuenta con acceso	1	
		d	no existe, transporte esporádico o informal.	0	
Instalaciones de Salud	global	a	muy cerca (menos de 2 km)	3	3
		b	Cerca (entre 2 y 4 km)	2	
		c	Largo más de 4 km	1	
		d	no existe	0	
Acceso a educación Pública	global	a	muy cerca (menos de 2 km)	3	2
		b	Cerca (entre 2 y 4 km)	2	
		c	Largo más de 4 km	1	
		d	no existe	0	
Acceso a Comercio de primera necesidad	global	a	muy cerca (menos de 2 km)	3	3
		b	Cerca (entre 2 y 4 km)	2	
		c	Largo más de 4 km	1	
		d	no existe	0	
Acceso a Agua potable	global	a	servicio constante, facturado y administrado por entidad pública	3	3
		b	Se interrumpe en raras ocasiones	2	
		c	Se interrumpe constantemente	1	
		d	no existe	0	
Acceso a corriente eléctrica	global	a	sobrada capacidad de carga	3	3
		b	Buena capacidad de carga	2	
		c	Deficiente capacidad de carga	1	
		d	no existe capacidad	0	
Acceso a telefonía	global	a	Excelente cobertura	3	3
		b	Buena cobertura(se interrumpe raras ocasiones)	2	
		c	Se interrumpe constantemente	1	
		d	no existe	0	
Acceso a Internet	global	a	Excelente cobertura	3	3
		b	Buena cobertura(se interrumpe raras ocasiones)	32	
		c	Se interrumpe constantemente	1	
		d	no existe	0	
TOTAL				96	73
					76,04%

Figura 134. Sostenibilidad económico-financiera. Elaborado por el autor. (2018).

	SOSTENIBILIDAD	PESO	PUNTAJE	PUNTAJE	NOTA	NOTA
		RELATIVO	MAXIMO	OBTENIDO		RELATIVA
1,0	FÍSICO-AMBIENTAL	31,0%	45	41	91,11%	28,28%
2,0	SOCIO-CULTURAL	31,0%	42	40	95,24%	29,56%
3,0	ECONÓMICO-FINANCIERA	37,9%	96	73	76,04%	28,84%
			183	154		0,84153005
			GRADO DE SOSTENIBILIDAD:		NOTA FINAL	87%
	SOSTENIBILIDAD DEL PROYECTO TOTAL:		87% BUENAS posibilidades de Éxito			

Figura 135. Resultados modelo multicriterio proyecto internacional. Elaborado por el autor. (2018).

Es regular que, proyectos internacionales, realizados con la participación de arquitectos, firmas de arquitectos y diseñadores, empresas constructoras y proveedores de materiales, equipos, sistemas y acabados de tecnologías actuales, logran desde nuestra perspectiva, una evaluación con buenas posibilidades de éxito en la sostenibilidad de obra arquitectónica; y esto no es antojadizo, pues se parte de una selección de proyectos que han sido gestionados desde la perspectiva de la sostenibilidad, que han sido galardonados con premios que reconocen la trayectoria de los diseñadores, las consideraciones ambientales y de buena práctica en la arquitectura, además de ser sometidos a criterios de certificación dentro de los estándares internacionales de la arquitectura verde, sostenible.

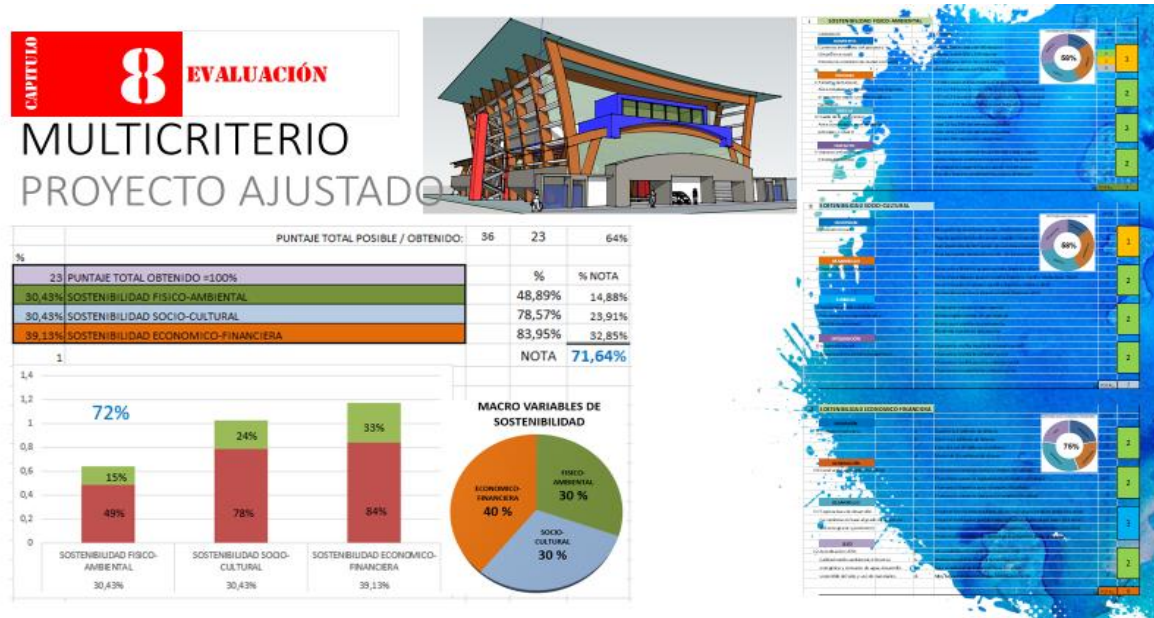


Figura 136. Aplicación del modelo multicriterio. Diagramación propia con base en información del proyecto. (2018, revisado en 2019).

6.4 Proyecto modelo base: evaluación proyecto ajustado

En la evaluación realizada para el ajuste de las variables temáticas se obtiene, para el proyecto del Auditorio NG, una valoración de 83%, con lo cual se establece la idoneidad de utilizar este como proyecto por ajustar hacia la sostenibilidad, por lo cual se considera el proyecto para esta investigación, sobre otros proyectos en que ha participado el autor o proponente.



SOSTENIBILIDAD FISICO-AMBIENTAL				VALOR	PUNTAJE	
VARIABLES		ESTADOS				
CONTEXTO						
Contexto inmediato del proyecto (Situación actual)	a-	Urbano Densó: más de 400 hab/Ha	3	1		
	b-	Urbano: entre 150 y 399 hab/Ha	2			
Prioriza la condición de ciudad compacta	c-	Semi Urbano: entre 50 y 149 hab/Ha	1			
	d-	Semi Rural: menos de 49 hab/Ha	0			
TERRENO						
Tamaño del terreno	a-	2 o más veces el área total que se programa construir	3	2		
Area del plano de catastro o área asignable al proyecto según un criterio lógico y factible es:	b-	1.25 a 1.99 veces el área total que se programa construir	2			
	c-	0.75 a 1.24 veces el área total que se programa construir	1			
	d-	Menor a 0.74 del área total que se programa construir	0			
HUELLA						
Huella de la edificación:	a-	Menos del 25% del terreno disponible	3	2		
Area construida a nivel de planta principal, o nivel 0	b-	Entre 25% y 39% del terreno disponible	2			
	c-	Entre 40% y 69% del terreno disponible	1			
	d-	Más del 70% del terreno disponible	0			
IMPACTO						
Impacto del proyecto- Estado del terreno	a-	Bajo impacto ambiental (muy alterado suelo y veget)	3	2		
	b-	Medio impacto ambiental (regular grado de alteración)	2			
	c-	Alto impacto ambiental (poco grado de alteración)	1			
	d-	Muy alto impacto ambiental (muy poca alteración)	0			
				12	TOTAL: 7	58,33%

SOSTENIBILIDAD SOCIO-CULTURAL				VALOR	PUNTAJE
INVERSION					
Inversión Social	a-	Alto grado de devolución social - mucha interacción socio cultural	3	1	
	b-	Regular grado devolución social - regular interacción socio cultural	2		
	c-	Bajo grado devolución social - poca interacción socio cultural	1		
	d-	Muy bajo grado devolución social - sin interacción socio cultural	0		
DESARROLLO					
Desarrollo Social Apropriado	a-	Da acceso a diversos grupos sociales (ingresos: alto-medio-medio bajo-bajo)	3	2	
	b-	Da acceso a algunos grupos sociales (ingresos: medio- medio bajo- bajo)	2		
	c-	Da acceso a pocos grupos sociales (ingresos: medio y alto)	1		
	d-	Da muy poco acceso a grupos sociales (ingresos: alto)	0		
SIMBOLO					
Representatividad simbólica (me siento o no representado y libre de expresarme)	a-	Brinda gran sentido de pertenencia	3	2	
	b-	Brinda regular sentido de pertenencia	2		
	c-	Brinda poco sentido de pertenencia	1		
	d-	No brinda sentido de pertenencia	0		
INTEGRACIÓN					
Integración social (organización y metas participativas)	a-	El proyecto facilita mucho la cohesión social	3	2	
	b-	El proyecto facilita la cohesión social	2		
	c-	El proyecto facilita poco la cohesión social	1		
	d-	El proyecto no permite la cohesión social	0		
				12	TOTAL: 7
					58,33%

SOSTENIBILIDAD ECONOMICO-FINANCIERA				VALOR	PUNTAJE
INVERSIÓN					
Inversión Financiera	a-	Superior a 2 millones de dólares	3	2	
	b-	Entre 1 y 2 millones de dólares	2		
	c-	Entre 0.5 y 0.99 millones de dólares	1		
	d-	Menos de 0.5 millones de dólares	0		
GENERACIÓN					
Generación de empleo de calidad	a-	El proyecto aumenta mucho el empleo de calidad	3	2	
	b-	El proyecto aumenta regularmente el empleo de calidad	2		
	c-	El proyecto aumenta poco el empleo de calidad	1		
	d-	El proyecto aumenta muy poco el empleo de calidad	0		
DESARROLLO					
Expectativas de desarrollo (se optimiza en base al grado de solvencia del ente gestor y promotor)	a-	Proyecto con muchas posibilidades de realizarse a mediano plazo (2-3 años)	3	3	
	b-	Proyecto con regular posibilidades de realizarse a mediano plazo (2-3 años)	2		
	c-	Proyecto con pocas posibilidades de realizarse a mediano plazo (2-3 años)	1		
	d-	Proyecto sin posibilidades de realizarse a mediano plazo (2-3 años)	0		
CERTIFICACIÓN					
Acreditación LEED: Calidad medio-ambiental, eficiencia energética y consumo de agua, desarrollo sostenible del sitio y uso de materiales	LEED / RESET / EDGE	SOSTENIBILIDAD			
	a-	Alta posibilidad de lograr certificación	3	2	
	b-	Mediana posibilidad de lograr certificación	2		
	c-	Baja posibilidad de lograr certificación	1		
	d-	Muy baja posibilidad de lograr certificación	0		
				12	TOTAL: 9
					75,00%

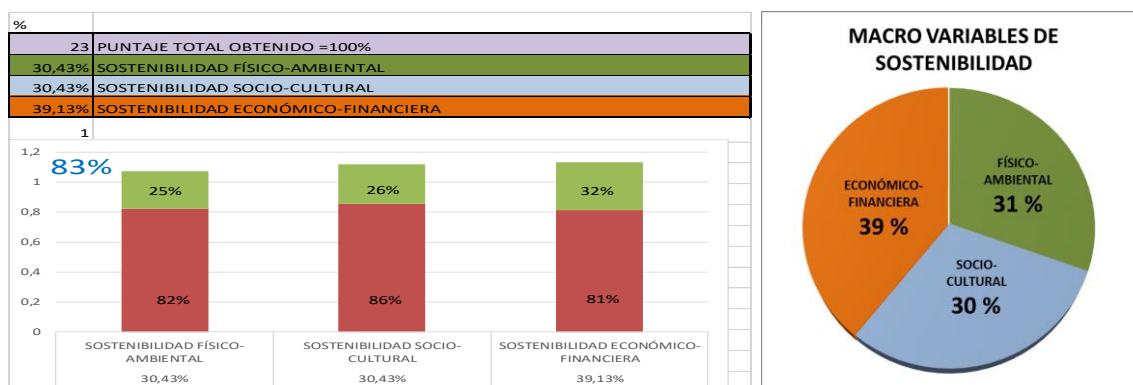


Figura 137. Aplicación de evaluación multicriterio. Elaborado por el autor. (2018).

El otro proyecto, en este caso internacional que se considera como modelo de sostenibilidad, es el edificio de la Iglesia Cristo de la Luz, en Oakland, California, USA.



	AUDITORIO NG BASE	IGLESIA CRISTO DE LA LUZ	AUDITORIO NG AJUSTADO
SOSTENIBILIDAD			
	58%	87%	83%
FISICO AMBIENTAL	49%	91%	82%
SOCIO CULTURAL	78%	95%	86%
ECONÓMICO FINANCIERA	84%	76%	81%

Figura 138. Resumen evaluación Multicriterio aplicada al proyecto Auditorio Nueva Generación, revisado en 2019. Imágenes por el autor y (Rubio, 2011).

En la primera corrida de la evaluación multicriterio, el edificio para el Auditorio Nueva Generación obtuvo 23 puntos de un total de 36, lo que equivale al 64%; con lo cual como puede observarse en el diagrama según la distribución balanceada, se obtiene nota de 58%, sin posibilidades de éxito en sostenibilidad.

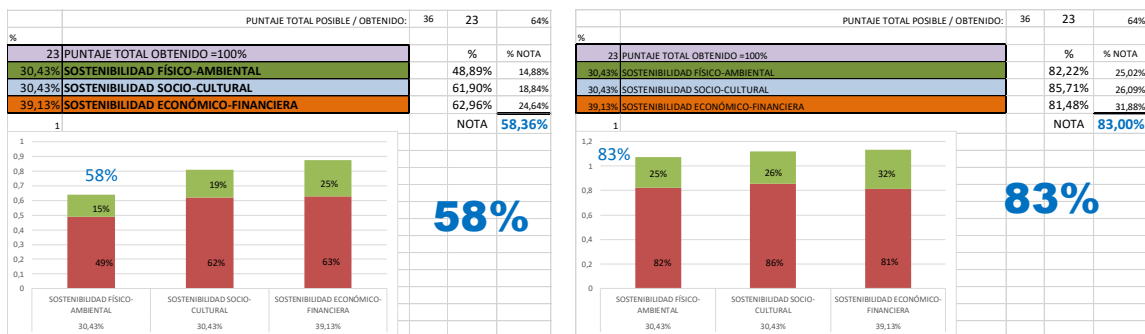


Figura 139. Evaluación multicriterio. Fuente: elaboración propia.2018. Proyecto Base ANG y Proyecto Ajustado ANG, revisado en 2019.

En la segunda evaluación multicriterio, con miras a la mejora del proyecto en cuanto a sostenibilidad, y bajo los mismos criterios de evaluación, obtuvo 139 puntos de un total de 168, la nota obtenida es de 83% sobre el promedio aceptable, con buenas posibilidades de éxito.



Figura 140. Propuesta de mejora. Diagramación propia con base en información del proyecto. (2018, revisado en 2019).

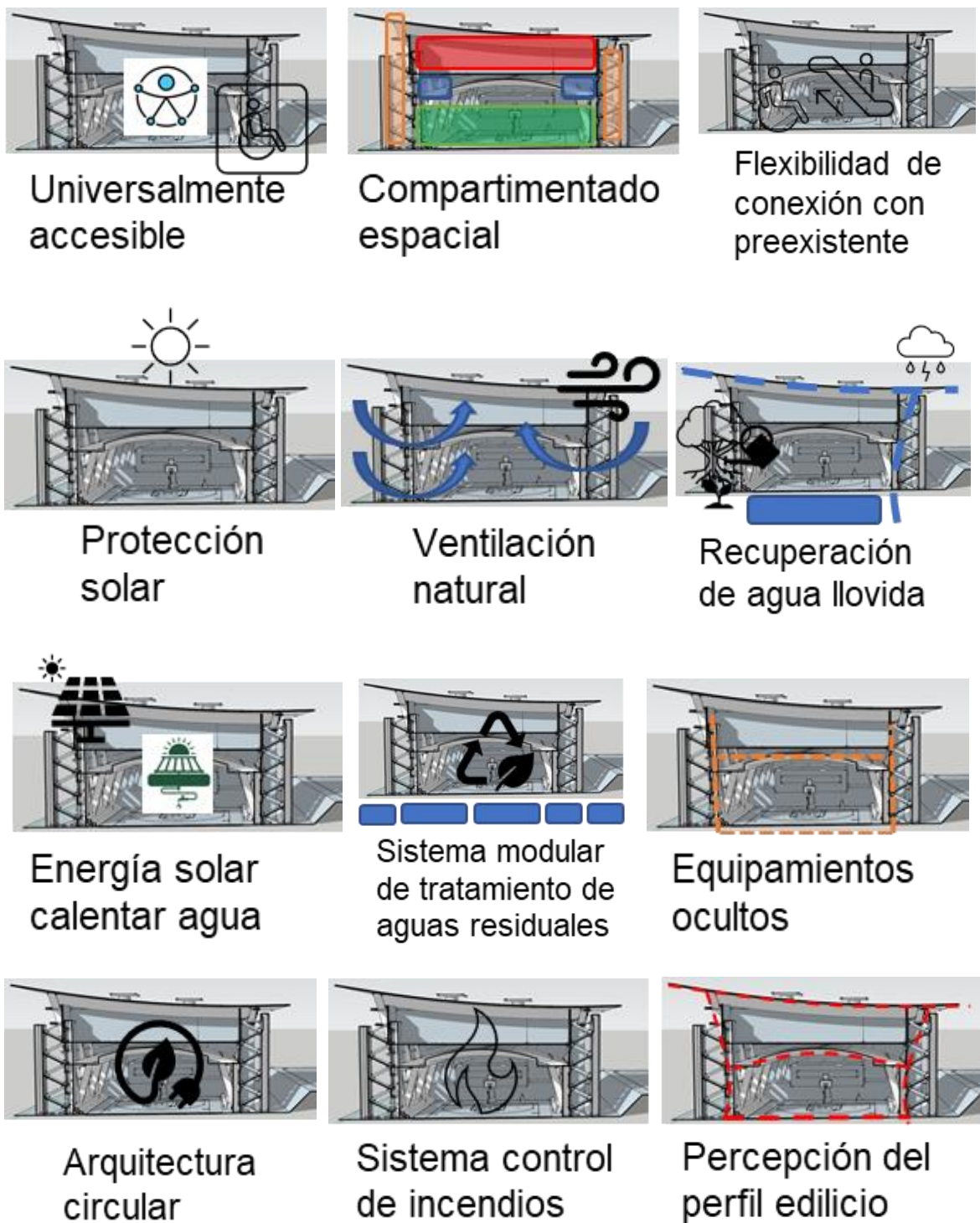


Figura 141. Criterios de mejora, implementación, innovación y adecuación que inciden en la calificación del proyecto bajo estándares de sostenibilidad. Elaborado por el autor. (2019)

COMPETENCE CENTER
ARQ. HUGO BOSS



CATEDRAL CRISTO DE LA LUZ
SOM



AYUNTAMIENTO DE SOUL
ARQ. YOO KERL



ESTACIÓN OCULUS NY
ARQ. CALATRAVA



GALERÍA ALBERTA
ARQ. RANDALL STOUT



GALERÍA ALBERTA
ARQ. RANDALL STOUT



RADIOTERAPIA H. MEXICO
ARQ. MACCORDERO



MALL SAN CARLOS
ARQ. MACCORDERO



AUDITORIO NUEVA GENERACIÓN
ARQ. MACCORDERO



Obra Internacional



Catedral Cristo de la Luz

87%

Obra Nacional Proyecto Base



Auditorio Nueva Generación

58%

proyecto MEJORADO



83%

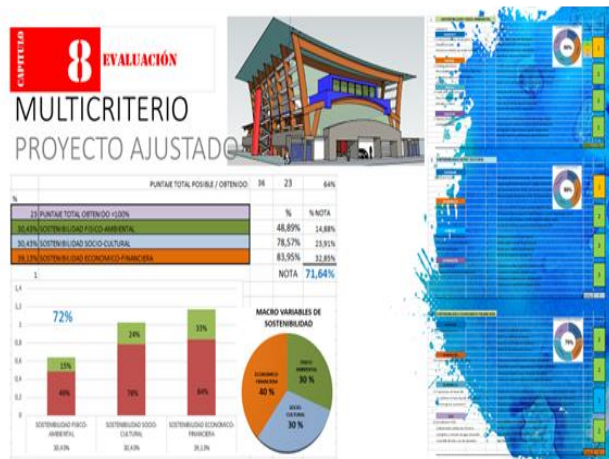


Figura 142. Selección y evaluación de la obra de referencia, proyecto base y propuesta de proyecto mejorado. Elaborado por el autor. (2019). (Rubio, 2011).

6.5 Evaluación EDGE

Como opción a la evaluación se propone el uso de la aplicación EDGE, software de acceso gratuito a través de plataforma en internet, para edificios comerciales, educación y residencia. EDGE calcula los ahorros en servicios públicos y la reducción del impacto de las emisiones comparándolas con una línea base. Cuando el proyecto alcance un ahorro de 20% en energía, agua y energía incorporada en los materiales, se puede acceder a la certificación EDGE.



Creamos Mercados, Creamos Oportunidades

(EDGE, 2020).

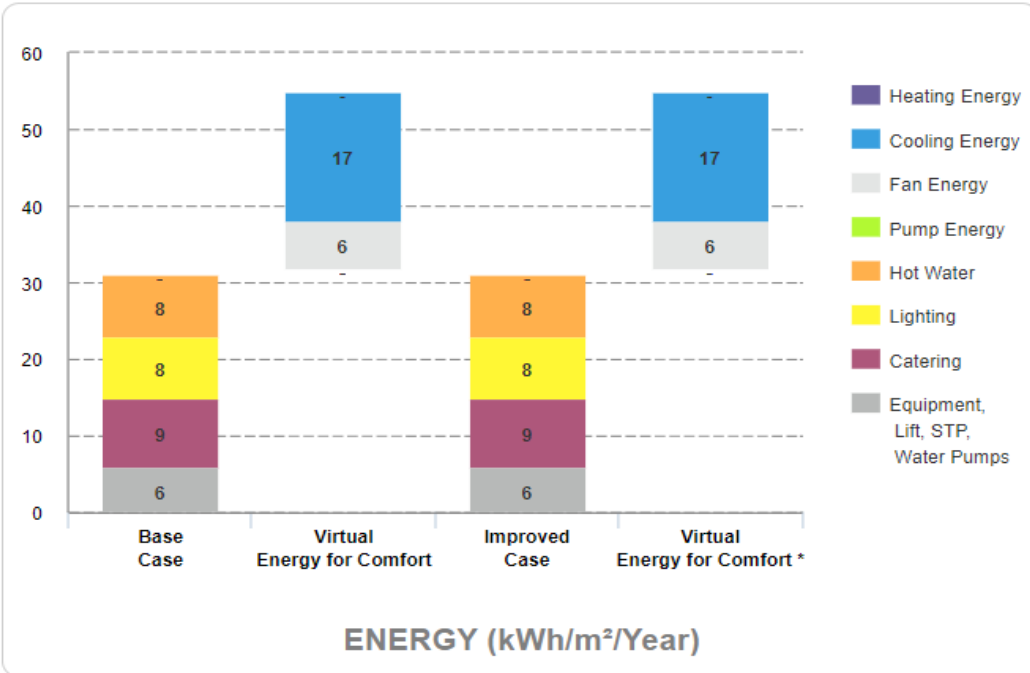
Architecture 2030 menciona estrategias recomendadas dentro del software EDGE a través de estrategias de diseño sostenible en 2030 Palette, un recurso en línea para el diseño de edificios con cero emisiones netas de carbono.

Evaluación inicial / modelo ajustado:

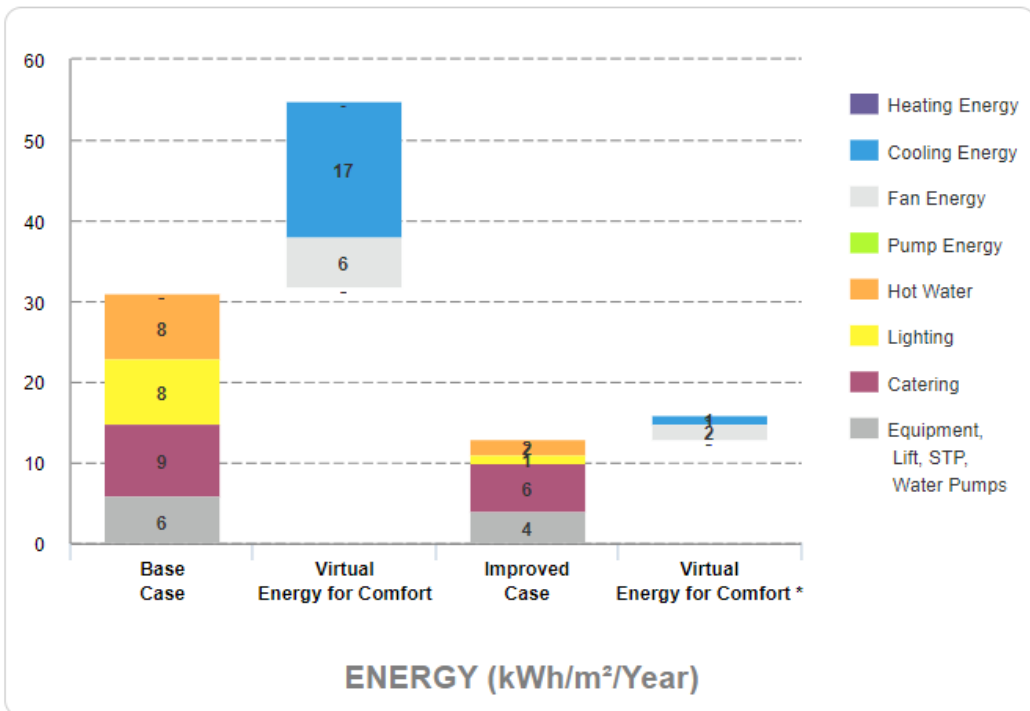
Tipo de construcción:	Educación		
País:	Costa Rica, Heredia, San Rafael.		
Energía:	33.7%		
Agua:	53.71%		
Material:	75.17%		
Ahorro en energía:	31.97%	Uso final energía:	2,108.30 KWh/mes 3,245.48 KWh/mes
Ahorro en agua:	2242.6 m3	Uso final agua:	616 m3/mes
Energía incorporada:	6,540.09 MJ/m2		2,108.30 MJ/m2
Ahorro CO2 (tCO2)	5.69	-0.06tCO2/año	20.36 tCO2/año
Espacio de piso:	3000		
Costo de utilidad base	718,849.94 CRC/mes		718,849.94 CRC/mes
Costo adicional	375,794.95 CRC		106,405,894CRC
Retorno de la inversión	0 años		23.14 años
Reducción de costos servicios públicos			383,224.66 CRC/mes

<https://app.edgebuildings.com/#/>, revisado en 2019. (EDGE, 2020).

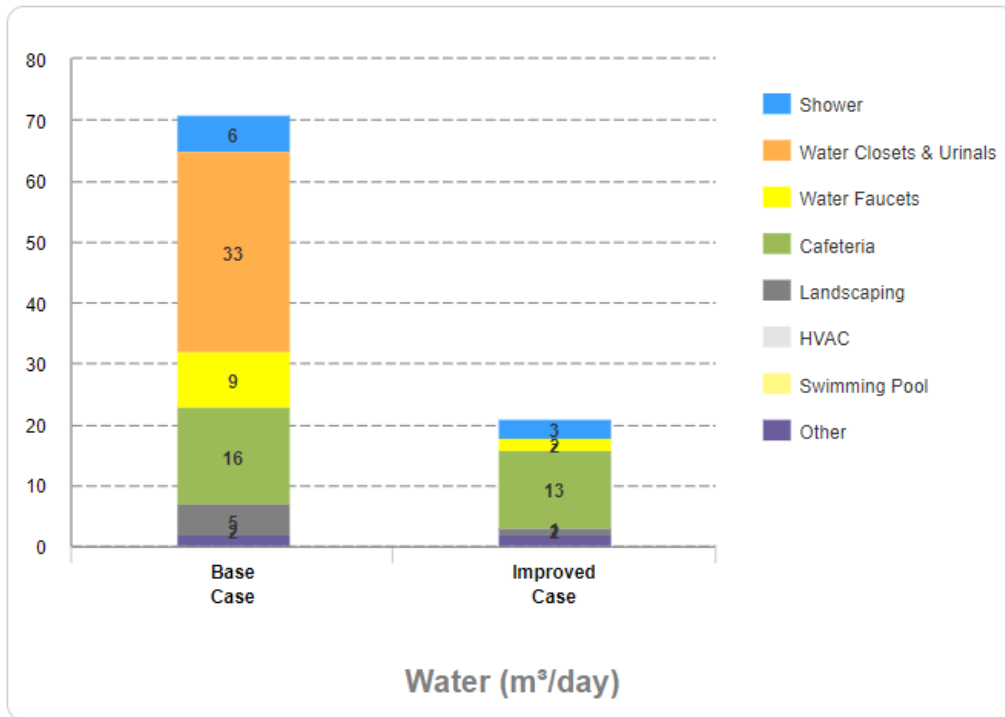
-0.2% AHORROS DE ENERGÍA



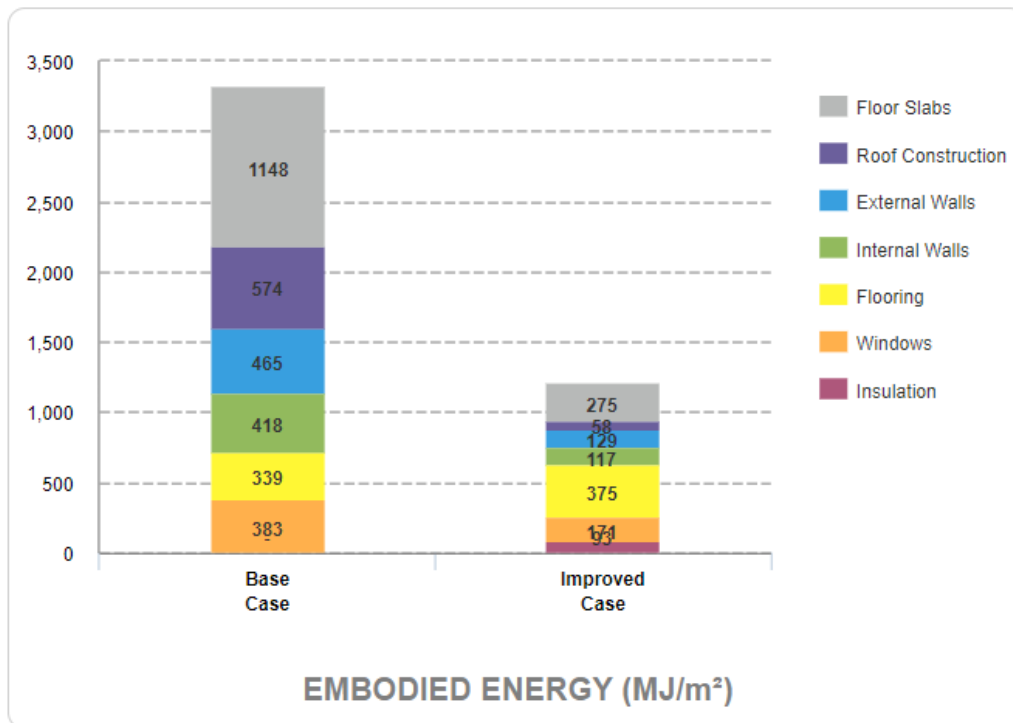
70.0% Cumple con EDGE Energy Standard



70.44% Cumple con EDGE Water Standard



63.38% Cumple con EDGE Material Standard



Uso final de ene...	3,245.48 kWh / mes	Operational CO ₂ Savings	20.36 tCO ₂ /Year
Uso final del agua	616 m ³ / mes	Ahorro de energía incorp...	2,108.30 MJ / m ²
Costo de utilidad de c...	718,849.94 CRC/Month	Costo adicional	106,405,894 CRC
Reducción de costos d...	383,224.66 CRC/Month	Payback en años	23.14 Años

Figura 143. Evaluación Edge. (EDGE, 2020).

La evaluación con la herramienta EDGE, permite considerar una cantidad de materiales para la arquitectura y construcción sostenibles, además de dispositivos y sistemas que se orientan en la misma línea de sostenibilidad, asimismo, esta herramienta permite la visualización de ahorro, costos e implicaciones directas sobre la operación de la edificación y sus sistemas de apoyo.

6.6 Propuesta de mejora: integración

En la evaluación realizada es notable que se hace necesario un abordaje de la propuesta de diseño con la integración de soluciones con clara orientación hacia la sostenibilidad, para lo cual se revisan las evaluaciones y se identifican los valores que podrán aumentar las posibilidades de éxito del proyecto del nuevo Auditorio.

Entre los valores que destacan, se encuentra que los parámetros de sostenibilidad físico ambiental se pueden incrementar en 30% o mayor; en sostenibilidad socio cultural en un 23% y en sostenibilidad económico-financiera crecer en 20%, con lo cual se revisan las estrategias de diseño y constructibilidad y se incorporan elementos de evaluación hacia la integración de la comunidad estudiantil y administrativa como factor de éxito.

En el proyecto original existen como parte de un conjunto para la práctica del deporte, una piscina techada, una cancha abierta para fútbol y atletismo, además del gimnasio techado, sobre el cual se propone la construcción en segunda planta del nuevo Auditorio y talleres de danza, teatro, música y deportes.

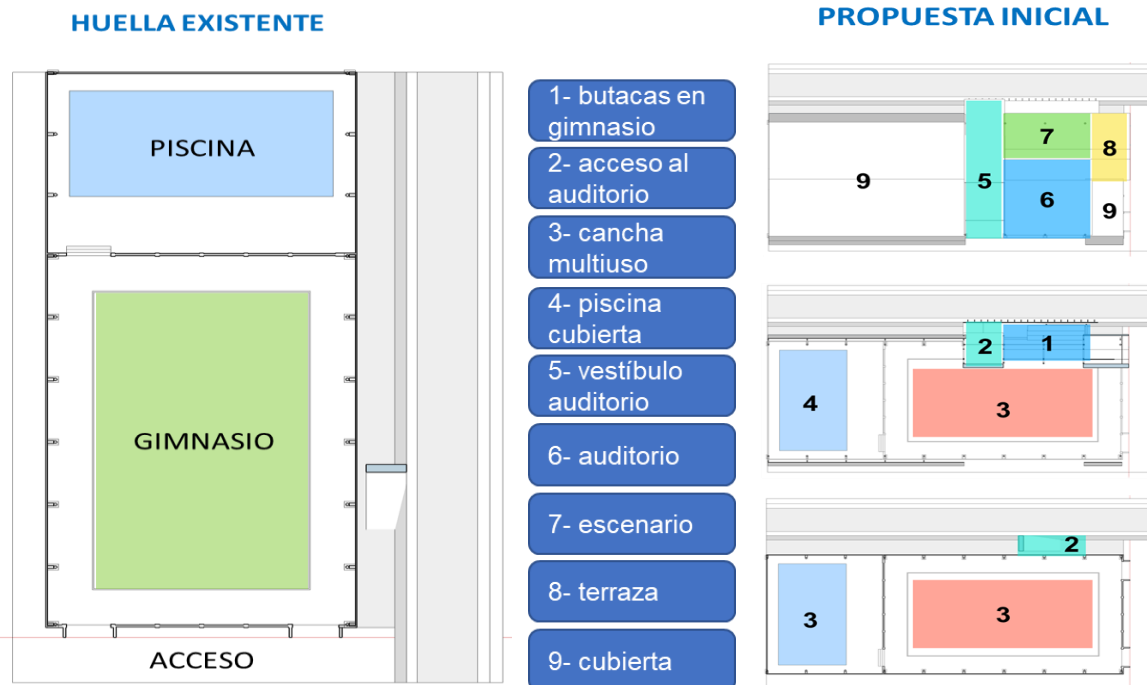
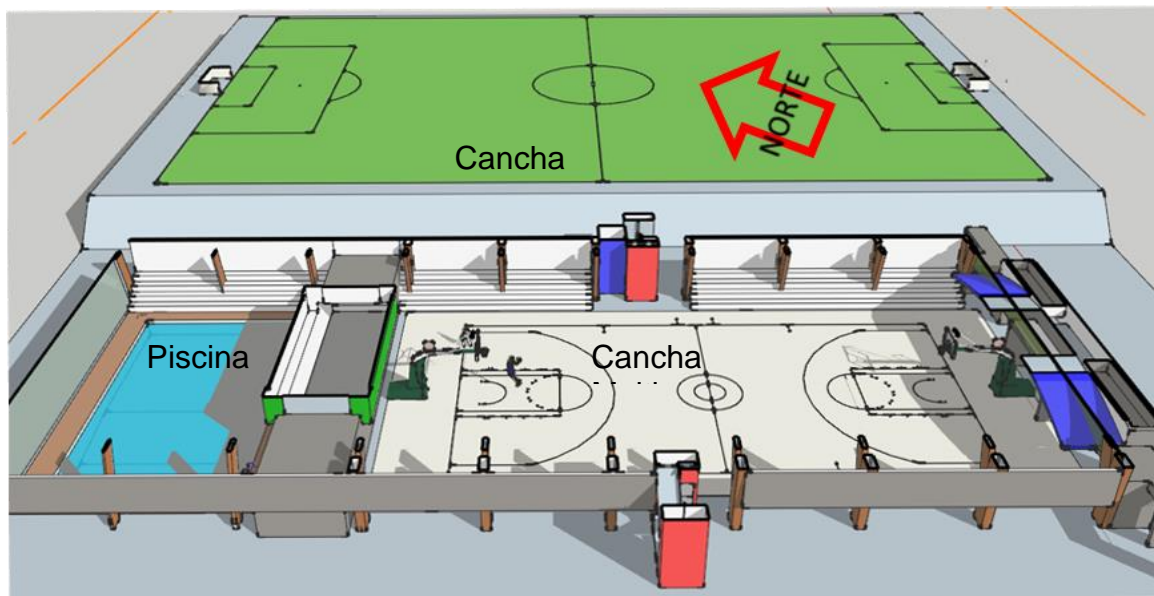


Figura 144. Diagrama de distribución funcional del proyecto. *Elaborado por el autor. (2018).*



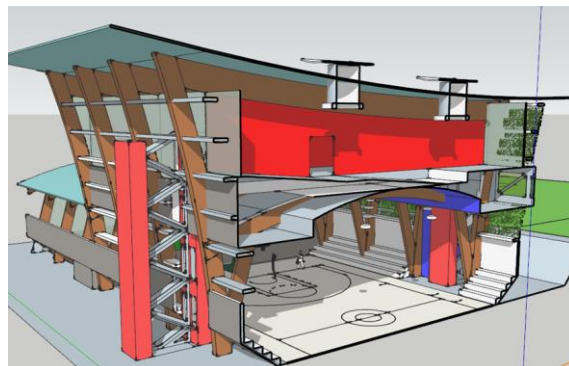
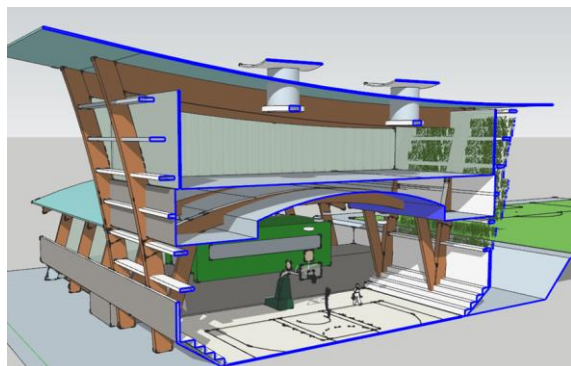
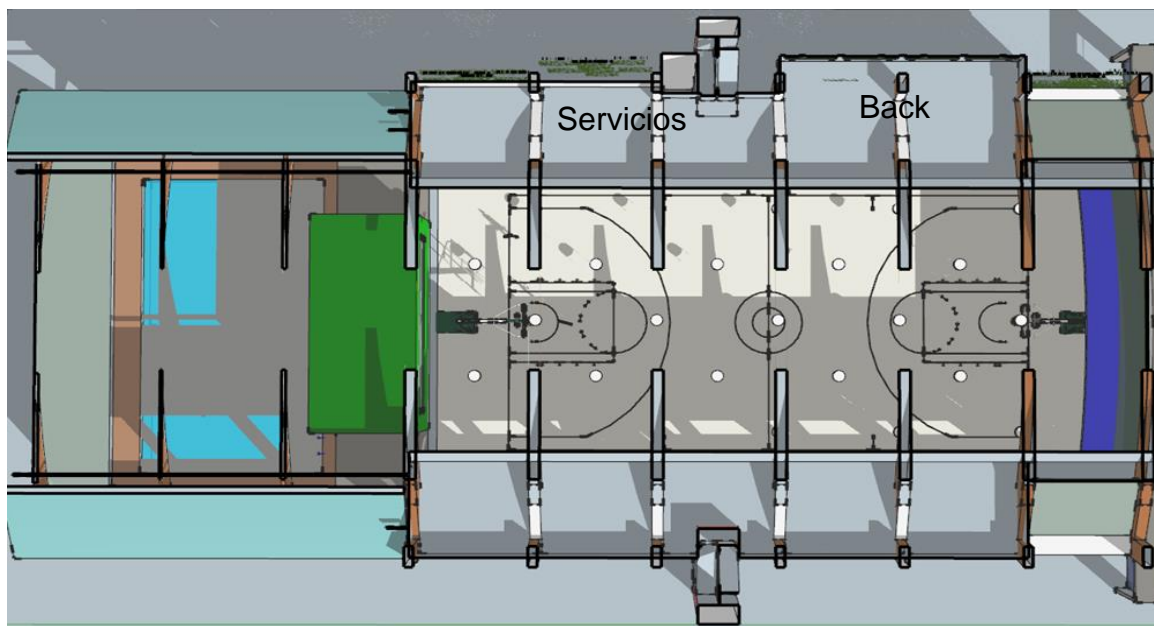
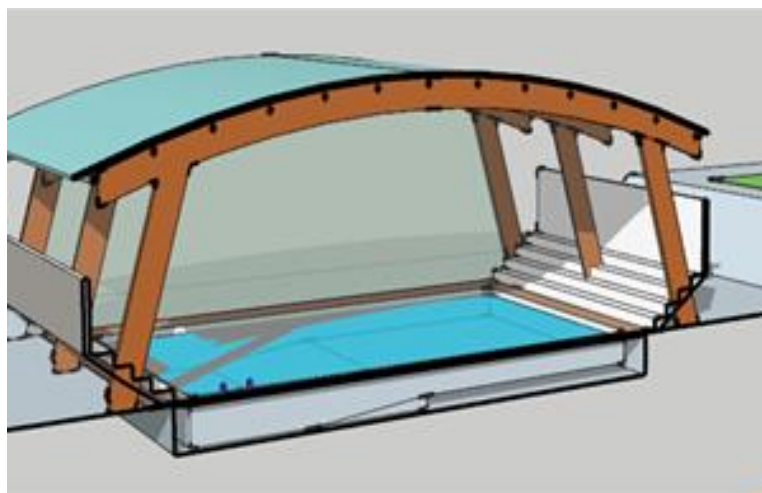


Figura 145. Vistas de distribución por niveles; primero a nivel principal el gimnasio y la piscina preexistentes, en segundo nivel facilidades de aseo, servicios sanitarios, bodega y back stage, en tercer nivel o superior el Auditorio y talleres. Elaborado por el autor. (2019).



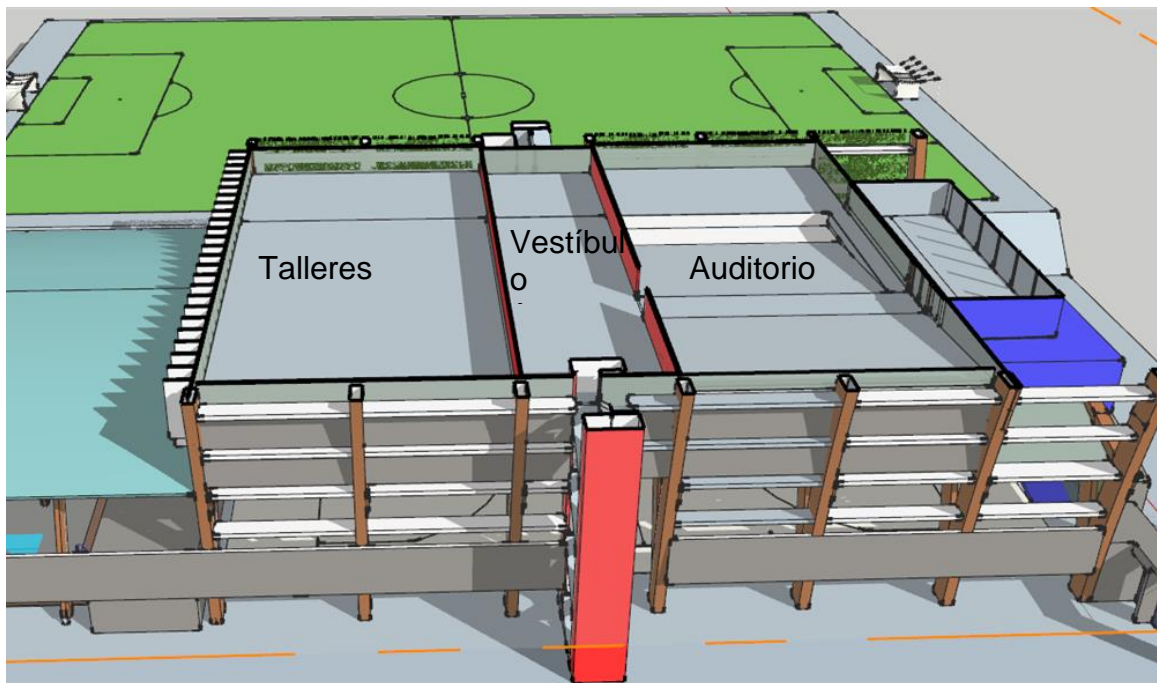


Figura 146. Planta de distribución arquitectónica primer nivel Gimnasio, segundo nivel Servicios, tercer nivel Auditorio y Talleres. Elaborado por el autor. (2019).



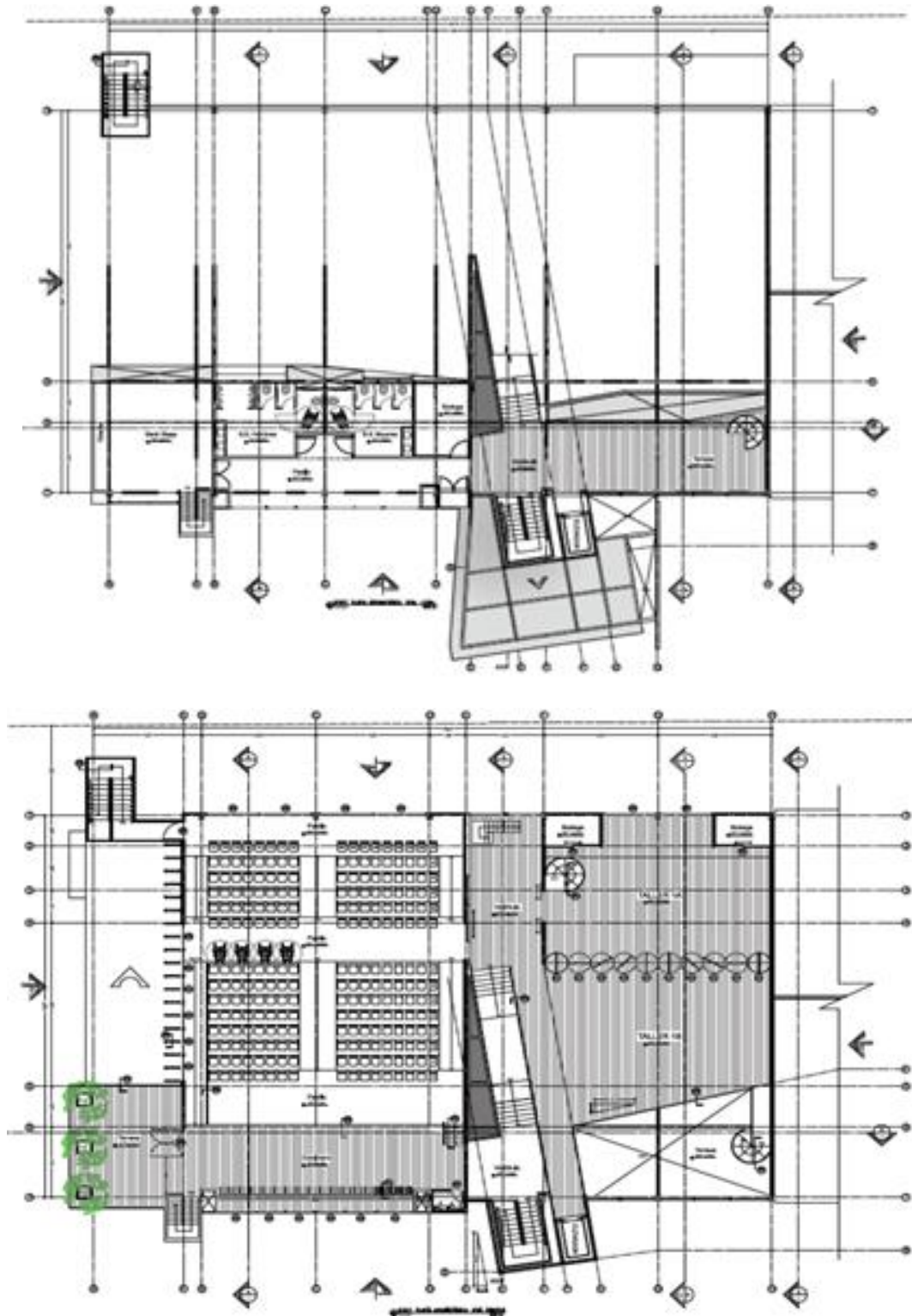


Figura 147. Planta de distribución arquitectónica primer nivel Gimnasio, segundo nivel Servicios, tercer nivel Auditorio y Talleres. Elaborado por el autor. (2019).

6.6.1 Descripción del proyecto base

Existe un gimnasio y una piscina, ambos espacios cubiertos, con condiciones mínimas de equipamiento.

Para mantener la huella de construcción se utiliza la misma área de piso y se propone construir en altura.

En el segundo nivel se propone desarrollar un Auditorio para 250 prs. y un taller para danza.

Se procedió a eliminar la estructura de cubierta y cerramiento perimetral, para proponer una nueva envolvente.

Se aprovecha la propuesta para mejorar la figura arquitectónica de otras estructuras de la institución.

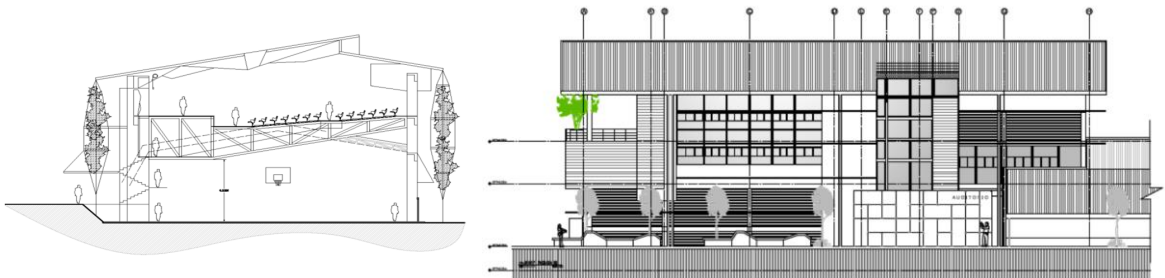


Figura 148. Sección y elevación de proyecto base, Auditorio NG. Elaborado por el autor. (2019).

Se conservan los usos en el primer nivel, cancha multiuso y piscina.

Se propone ampliar la oferta cultural con el Auditorio y el taller de danza en la planta alta.

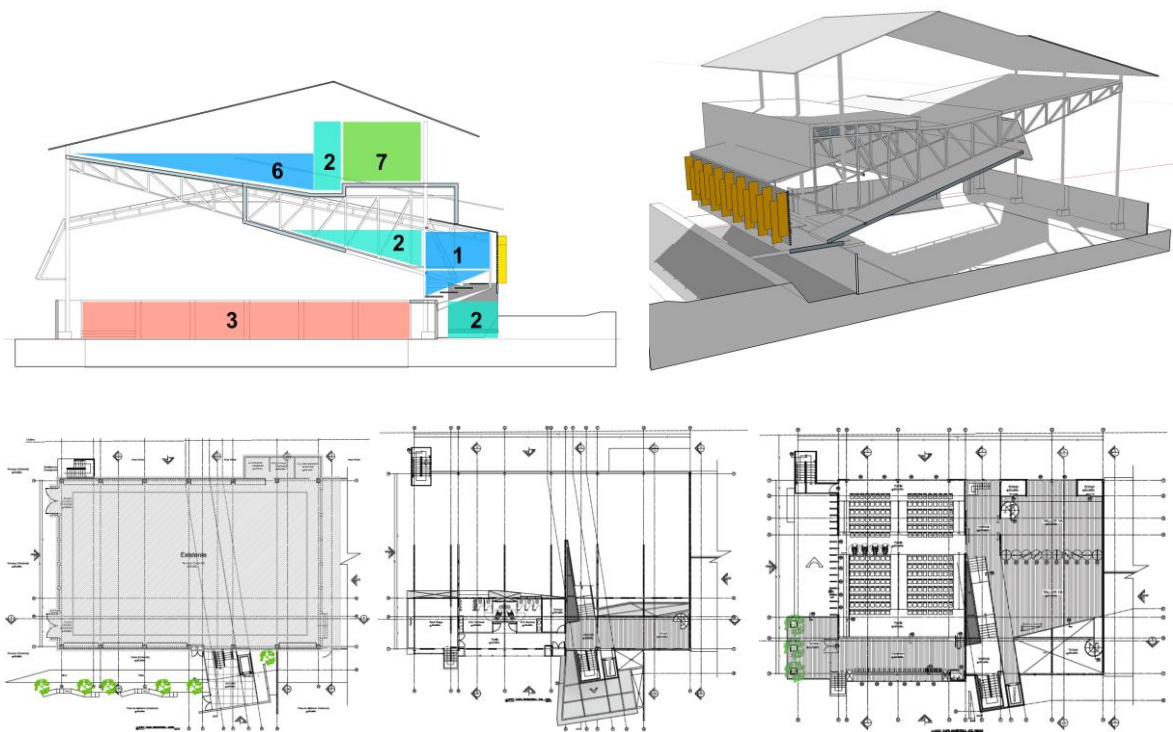
La estructura principal propuesta es en marcos de acero, en alma abierta, con cerchas similares para soportar el entrepiso.

Para el cerramiento perimetral y cubierta se propone termopanel con relleno de poliestireno, a fin de aislar ruido y temperatura.

Para aislar el ruido del gimnasio hacia la planta alta, construir cielo falso sobre cancha multiuso, que soporte ser golpeada por balones durante prácticas o competencias deportivas.

Usar elementos de arquitectura bioclimática pasiva, para control de asoleamiento, ventilación e iluminación natural.

Es importante desarrollar figura externa de arquitectura bioclimática, por esto se agregan parasoles y vegetación como símbolos externos.



Planta de distribución arquitectónica, tres niveles.

Figura 149. Sección con distribución propuesta de los espacios y muestra del modelo. Elaborado por el autor, (2018, revisado en 2019).

Entre los elementos que se consideran para la propuesta de ajuste y mejora del modelo, se encuentran:

Ventilación cruzada con monitor superior en cubierta del Auditorio y taller de danza.

Parasoles verticales en fachada de los extremos al noreste y suroeste.

Parasoles horizontales combinados con plantas colgantes como control solar en fachadas noroeste y noreste.



Figura 150. Elevaciones del edificio base. Elaborado por el autor (2018, revisado en 2020).

Vidrios e-low termo reflectantes, que permiten la visual hacia el contexto y según la incidencia solar se oscurezcan o aclaren, manipulados por el paso de electricidad.

Cerramiento de paredes en paneles prefabricados tipo sándwich de metal y madera laminada.

Estructura principal, reutiliza metal existente y adiciona perfiles de madera estructural laminada FEM.

Entrepiso de estructura reticular en madera laminada reforzada con acero, específicamente en nudos y uniones.

Cerramiento perimetral inferior en láminas de acero perforado para control del flujo de aire en el gimnasio.



Figura 151. Fachada Sur Este, y diagrama de ventilación cruzada. Elaborado por el autor (2019).

6.7 Criterios de mejora en el proyecto ajustado

En Costa Rica existen materiales de uso en la construcción que permiten obtener resultado en cuanto a certificación para la sostenibilidad, además de la aplicación de técnicas pasivas de diseño para la climatización y el confort interior de los edificios, tomando ventaja de las condiciones climáticas locales y regionales, en la zona tropical.

¿Cuáles materiales se utilizan en la arquitectura y construcción sostenible?

Tanto vehículos como edificios y la industria consumen entre el 20% y hasta el 50% de los recursos físicos, según estudios realizados en Europa y de publicación constante en (Arquitectura sostenible, 2018), donde se exponen resultados de investigaciones preparadas en universidades y centros de investigación de renombre. “La arquitectura sostenible tiene en cuenta el consumo de recursos (energía, recursos naturales), el impacto ambiental que produce y los riesgos específicos para la seguridad de las personas.” (Arenas, 2007).

Los materiales que se utilizan en la arquitectura y la construcción sostenible deben poseer características de durabilidad, ser reutilizables y reciclables, incluir materiales reciclables como parte de su materia prima, integrados en su composición y proceder de recursos de la zona geográfica inmediata del proyecto, deben ser locales. En la medida de lo posible la materia prima debe ser de materiales naturales como la tierra, el adobe, la madera de bosque certificado, bambú, paja, aserrín y otros con propiedades específicas para protegerse del frío, calor y humedad. (Arquitectura sostenible, 2018).

Una vez valorados los puntos anteriores se puede establecer la lista definitiva de materiales por utilizar en la obra o proyecto, de manera que se logre el equilibrio técnico y financiero, además de ajustarse a las necesidades propias del proyecto y la viabilidad de este, en cumplimiento de las normas y leyes atinentes.

El arquitecto debe de antemano elaborar la debida investigación de materiales, técnicas y tecnologías que se ofrecen en el mercado nacional e internacional, de manera que pueda ofrecer para cada tipo de proyecto, los materiales más apropiados y puedan complementar la viabilidad del proyecto, no solo en la operación diaria, sino en cuanto al mantenimiento

del mismo en el tiempo y sin dejar de lado, el término de ciclo de vida de la edificación, sea que esta deba ser reacondicionada, cambiar el uso o demoler para reincorporar sus materiales a la industria constructora y así brindar un nuevo ciclo a estos.



Figura 152. Aplicación de estructura en madera técnica laminada estructural. Elaborado por el autor, (2018, revisado en 2020).

Con el planteamiento anterior, se obtienen los recursos profesionales de diagnóstico con los cuales acercarse al cliente, a quién se sondea, sobre sus requerimientos para el proyecto, sus gustos y se le guía a través de un viaje en el cual podrá ir tomando los materiales que una vez seleccionados han de ofrecer las calidades necesarias.

No siempre el cliente tiene la razón y no siempre tiene una adecuada percepción sobre los materiales por utilizar, así que la orientación profesional y técnica sobre las cualidades, calidades, y oportunidades que podrían o no ofrecer los materiales comparativamente y en consecuencia con lo que el cliente quiere obtener, es parte de los servicios profesionales a facilitar.

Se considera y recomienda al cliente sobre costos de los materiales, las facilidades o no que se puedan tener de conseguirlos y que estén preparados para la obra en el momento

adecuado, de manera que el profesional, acomoda el tipo de proyecto, la ubicación, la accesibilidad a los recursos, financiamiento entre otros para que sea viable llevar a cabo la obra en el tiempo más oportuno.

6.7.1 Estructura

La propuesta base para la construcción del Auditorio ha considerado una estructura de acero, compuesta de alma abierta tipo cercha, construida a base de elementos tubulares de sección rectangular, para armar marcos y vigas con entrepisos de losa de concreto armado sobre metaldeck como perfil contenedor en la parte inferior o formaleta, los cuales constituyen un edificio sismo resistente e integral, de modo que se conforma un sistema estructural.



Figura 153. Vistas de la edificación en construcción, según modelo base. Estructura metálica en secciones tubulares de acero. Fotografías por el autor (2018, revisado en 2019).

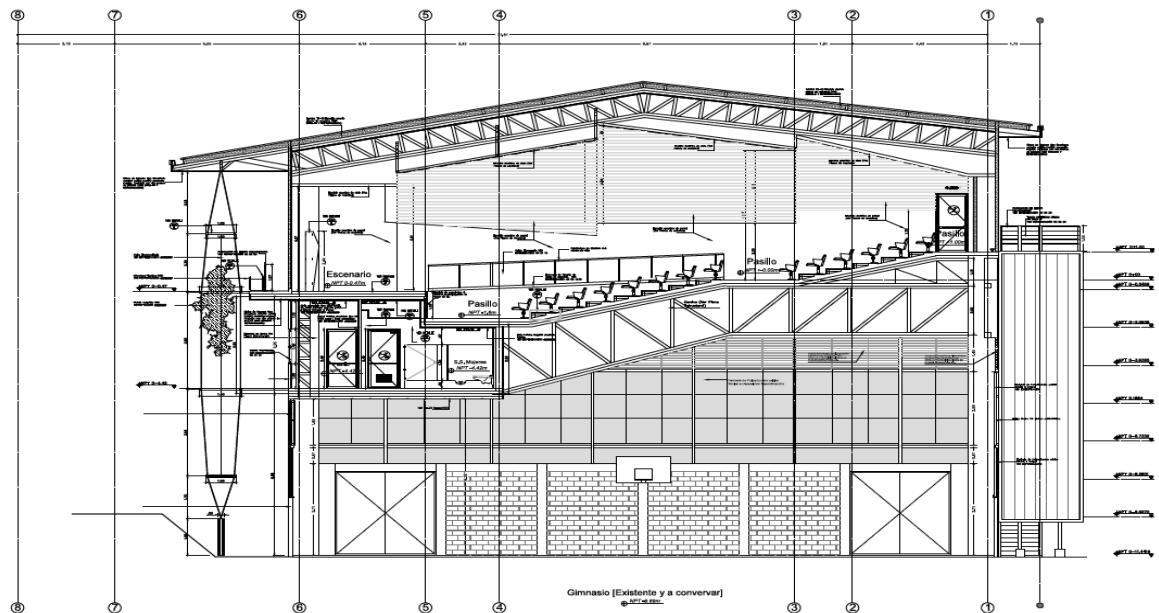


Figura 154. Sección transversal; muestra gimnasio y Auditorio. Elaborado por autor (2019).

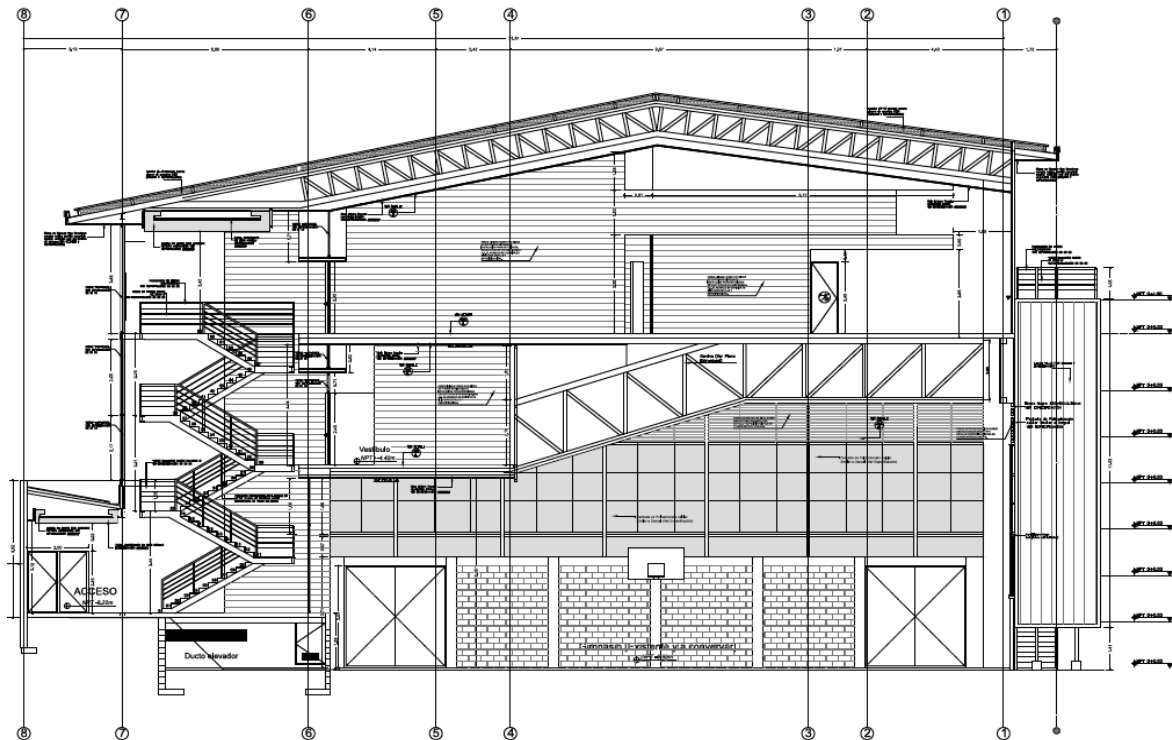


Figura 155. Sección Transversal, por gimnasio, escaleras, servicios sanitarios y vestíbulo de Auditorio. Elaborado por el autor (2019).

El proyecto base considera la cimentación en concreto reforzado en placas aisladas unidas mediante vigas de amarre a nivel de piso del gimnasio. La estructura principal en acero tubular en secciones de alma abierta y los cerramientos en lámina de acero esmaltado con forros internos de tipo muro seco, para obtener una edificación liviana. Cielos suspendidos de formato comercial, de materiales fonoabsorbentes para mejorar las condiciones acústicas.

Sin embargo al realizar el análisis multicriterio y de criterios de certificación para la sostenibilidad, se ha comprobado que existen mejoras por realizar a la luz de conectar con los compromisos ambientales que se han considerado en Costa Rica de cumplimiento obligatorio en el futuro, por lo que se debe preparar la edificación para su integración.

De esta manera se inicia un proceso de evaluación para complementar sistemas constructivos, materiales más amigables con el ambiente y tecnologías de instalaciones y equipos que favorecen el cumplimiento de la norma y el compromiso de desarrollo sostenible de la mano de ODS, MINAE y RESET, entre otros.

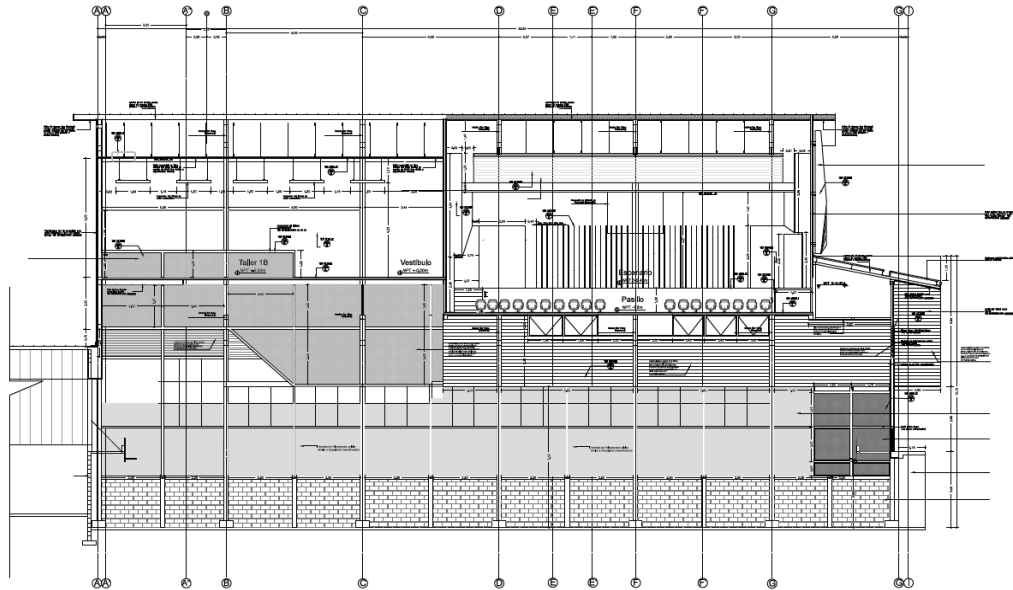


Figura 156. Sección Longitudinal, gimnasio, Auditorio y talleres. Elaborado por autor (2019).

6.7.2 Protección solar

Dadas las características climáticas del sitio, el emplazamiento de los edificios, la dirección con respecto del sol, se ha determinado que es necesario incluir soluciones de cobertura contra el exceso de asoleamiento, para esto se utilizarán elementos de parasoles, que permitan la visibilidad hacia el exterior y permeables a la ventilación, necesaria para mantener el confort al interior de los edificios; complementado con la solución de cerramiento de fachada con ventanas de cristales o vidrios (insulados) aislados, de color y en doble capa de vidrio, que se ha evaluado como una característica deseable.

			Conducción	Convección	Radiación	Evaporación
Estrategias de diseño	Invierno	Promover ganancia	Promover ganancia con la tierra		Promover ganancia solar	
		Evitar pérdidas	Minimizar pérdidas por conducción	Minimizar flujo aire exterior Minimizar infiltración		
	Verano	Evitar Ganancias	Minimizar ganancia por conducción	Minimizar infiltración	Minimizar ganancia solar	
		Promover pérdidas	Promover enfriamiento hacia la tierra	Promover enfriamiento convectivo	Promover enfriamiento radiativo	Promover enfriamiento evaporativo
		Fuentes de calor		Aire	Sol	
		Pozos térmicos	Tierra	Aire	Cielo	Aire

Figura 157. Estrategias de diseño. (Hernández, 2017).

www.euoperfil.es/

PERFILES DE CONTROL SOLAR	SISTEMAS DE FACHADAS VENTILADAS	PERFILES Y PANELES ARQUITECTÓNICOS
<p>Perfiles de Control Solar</p> <p>Los cortasoles son una muy buena opción como medida de sostenibilidad y economía energética, además de proporcionar un alto grado de confort a los usuarios de las edificaciones.</p> <p>Aplicaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sobre fachada como protección solar • Protección solar en zonas de ventanas • Cerramiento para espacios con alto requerimiento de ventilación (parkings, escaleras de incendios...) • Protección visual de ciertas zonas en vivienda • Para cubiertas técnicas (maquinaria en general, conducciones...) • Balcones para viviendas • Marquesinas • Vallas perimetrales 		
		
		

Figura 158. Sistema de fachada ventilada. Recopilado por el autor (2019).

6.7.3 Cubierta

La cubierta en la propuesta de mejora sugiere utilizar el tipo de cubierta total spam, que consiste en una construcción tipo sándwich de dos caras en metal laminado de acero, con interior de poliestireno expandido, que ofrece características aislantes de ruido, frío y calor, además de características técnicas de poder instalarse en sitio a medida, según se requiera, y facilidad para realizar curvas y contra curvas, una característica arquitectónica de la propuesta. (Revisado en 2019).



Figura 159. Propuesta mejorada, cubierta curva con aislante. Elaborado por el autor (2018 – 2019).

Se incluye en la propuesta una solución integral de recolección de aguas pluviales con dos sentidos, en primer término, para reutilizar estas aguas en aplicación de servicios sanitarios, limpieza general de áreas de circulación exterior para mantenimiento de áreas verdes. En segundo término el exceso se envía a un tanque de amortiguamiento y luego el efluente hacia el punto de descarga autorizado, en este caso una quebrada.

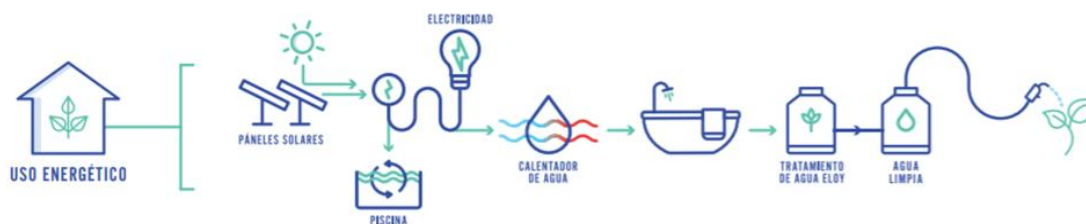


Diagrama ciclo de uso energético fotovoltaico para iluminación, calentar agua y reuso de agua para riego. (Ministerio de Salud, 2019).

CAPÍTULO 8 EVALUACIÓN



ESTRATEGIA DE MEJORA

SISTEMA CAPATACIÓN DE AGUA PLUVIAL
UTILIZADO PARA LIMPIEZA, LAVADO Y RIEGO
AUTOGENERACIÓN ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA
SISTEMA DE RETARDO DE DESCARGA PLUVIAL
SISTEMA PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS



Figura 160. Estrategias de mejora. Además del sistema de recolección y uso de aguas pluviales, se integra al modelo un sistema de calefacción solar de agua para la piscina, con apoyo geotérmico y gas LPG para las temporadas de mayor cantidad de horas sin sol y frías temperaturas, (revisado en 2019).

6.7.4 Propuesta de mejora: solución de diseño

Modelo propuesto: intervención de la estructura principal, se propone la estructura principal en madera técnica estructural laminada, conformando marcos estructurales, con integración entre estos por estructuras secundarias tipo vigas de amarre en triangulación y

la estructura de entrepiso será un entramado reticular de madera del mismo tipo, sobre el cual se coloca madera laminada en tableros de alta densidad, por capas que dan uniformidad y estabilidad al piso, conformando un sistema rígido y estable para el uso de Auditorio, vestíbulos y talleres.

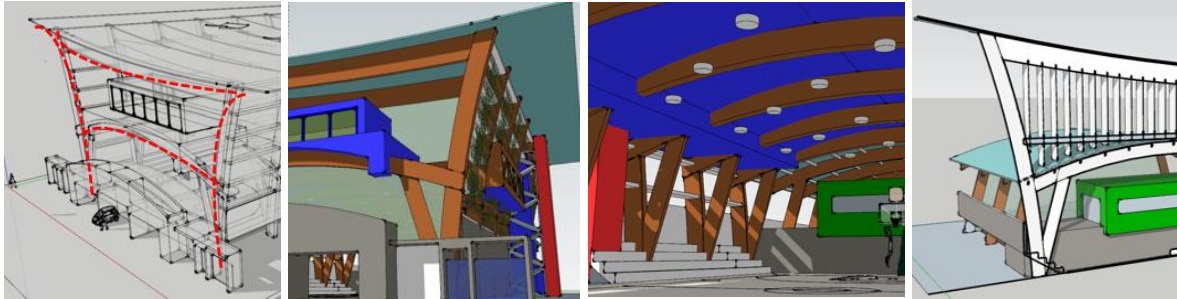


Figura 161. Estrategias de mejora. Marco estructural en madera técnica laminada. Propuesta de mejora elaborada por el autor (2019).



PROPUESTA DE MEJORA

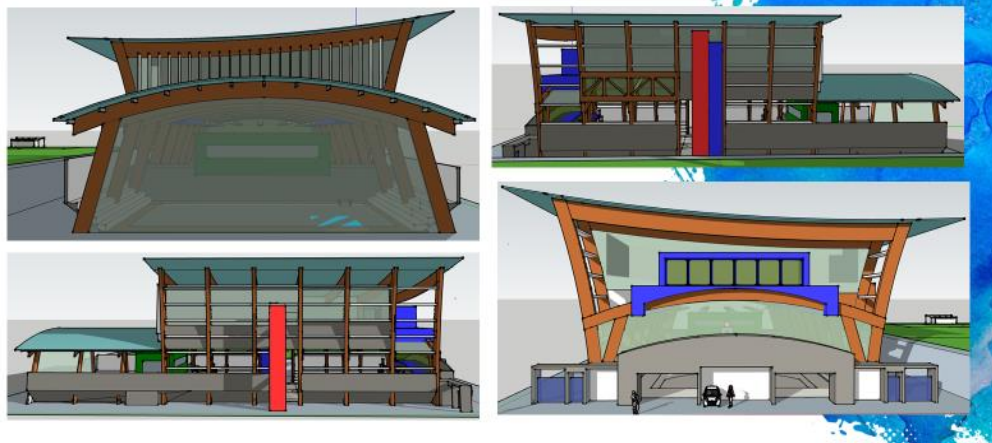


Figura 162. Estrategias de mejora. Cerramientos en fachadas y cubierta. Propuesta por el autor (2019).

Los cerramientos de la envolvente se tratan para garantizar la hermeticidad de los espacios interiores, con material tipo sándwich con dos caras de metal laminado que encierran polipropileno expandido para aislar ruido, calor y frío.



Figura 163. Criterios de estrategia para la mejora. *Certificación para la sostenibilidad*. Se consideran los elementos EDGE. Fuente: Elaboración propia (2018), revisado en 2019.

6.7.5 Acondicionamiento acústico

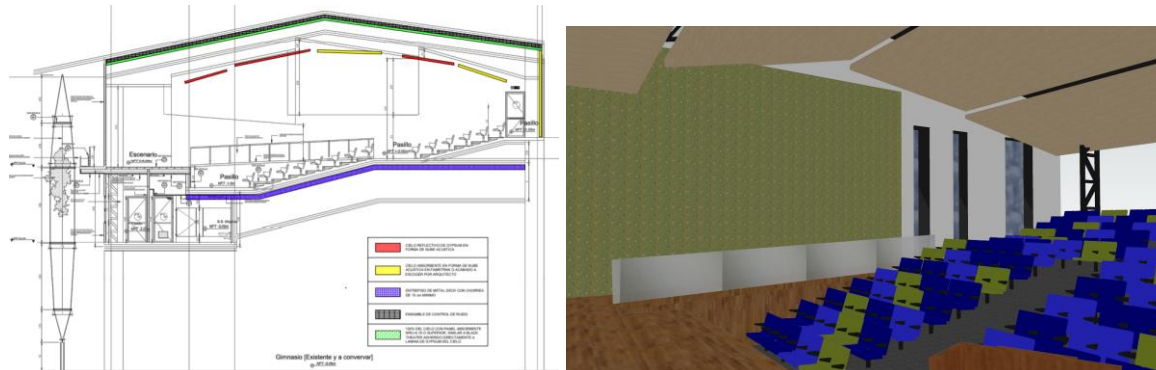


Figura 164. Sección muestra disposición de acabado de cielo acústico para el Auditorio. Fuente: elaboración propia (2018), revisado en 2019.

Para el caso del Auditorio, es necesario integrar el análisis del comportamiento acústico del espacio propuesto y los materiales por utilizar para obtener los resultados deseados en cuanto a la acústica del sitio. No basta con el análisis y diseño, además debe coincidir con la selección de estos materiales sostenibles que proporcionarán el efecto de confort en la distribución del sonido de manera uniforme y entendible.

Tipo	Método de instalación	Valor "R" por pulgada	Materias primas	Contaminación en la fabricación	Impactos de la calidad del aire	Comentarios
Celulosa	Relleno suelto, proyectado (húmedo), manta	3,6 - 4,0 (21-26)	Periódicos antiguos, guías telefónicas, borax, sulfato de amonio.	Inapreciable	Fibras y productos químicos pueden ser irritantes	Alto contenido reciclado y muy baja energía incorporada
Fibra de vidrio	Manta proyectado, manta semirígida	3,0 - 4,0 (15-28)	Areana de sílice, piedra caliza, boro, vidrio reciclado, resina fenol formaldehído o resina acrílica.	Emisiones de formaldehído y alto consumo de energía durante la fabricación	Las fibras pueden ser irritantes	Alta energía incorporada
Lana mineral	Proyectado, manta plancha semirígida o rígida	2,8 - 3,7 (19-27)	Escoria de alto horno de mineral de hierro, roca natural, aglutinante fenol formaldehído	Emisiones de formaldehído y alto consumo de energía durante la fabricación	Las fibras pueden ser irritantes	Alta energía incorporada. El tablero rígido puede ser un drenaje y un aislador excelentes de la fundación.
Algodón	Manta	3,0 - 3,7 (21 - 26)	Trozos de algodón y poliéster (especialmente denim)	Inapreciable	Considerado seguro	Alto contenido reciclado y muy baja energía incorporada
Espuma de poliuretano para pulverización de células cerradas	Revestimiento o por aspersión o en aerosol sobre cubierta	5,8 - 6,8 (40 - 47)	Combustibles fósiles HFC-24, 5fa agente de soplado. Retardante de llama no bromado.	Alto consumo de energía durante la fabricación. Potencial de calentamiento global del agente de expansión HFC.	Muy tóxico durante la instalación (respiradores o aire suministrado requerido) Permitir varios días de ventilación antes de la ocupación.	Energía incorporada muy alta.
Espuma de poliuretano de baja densidad de celdas abiertas	Relleno de la cavidad de pulverización	3,6 - 3,8 (2,5 - 2,7)	Combustibles fósiles y soja. Agua como agente de soplado. Retardante de llama no bromado	Alto consumo de energía durante la fabricación.	Muy tóxico durante la instalación (respiradores o aire suministrado requerido) Permitir varios días de ventilación antes de la ocupación.	Energía incorporada muy alta.

Figura 165. Aislamiento térmico. Materiales y sus características. (Eco Habitar, 2020).



Figura 166. Aislamiento térmico. Vista aérea de las instalaciones existentes en Colegio Nueva Generación. La cubierta blanca corresponde al gimnasio sobre el cual se proyecta el Auditorio. Centro Educativo Nueva Generación.

La Asociación de Fabricantes de Aislante de Celulosa, Cellulose Insulation Manufacturers Association (CIMA), propone la aplicación de aislante a base de celulosa en comparación con otros materiales de aislamiento industriales, se señala que solo es superado en rendimiento por espumas de poliuretano, por cuanto el aislante a base de celulosa, con periódicos viejos como materia prima, entre otros, posee características de bajo consumo de energía en su preparación e instalación, baja huella de carbono, superando aspectos ecológicos y sostenibles, con baja flamabilidad al incorporarle bórax, ácido bórico o sulfato de amonio en su composición, y tratamiento contra ataques biológicos inocuos para las personas y la atmósfera. (Eco Habitar, 2020).



Antecedentes: las instalaciones originales corresponden a un gimnasio de paredes de mampostería, estructura de acero tubular y cubierta de hierro, sin condiciones adecuadas para realizar actividades culturales, por cuanto no existía tratamiento acústico en los materiales y el espacio.

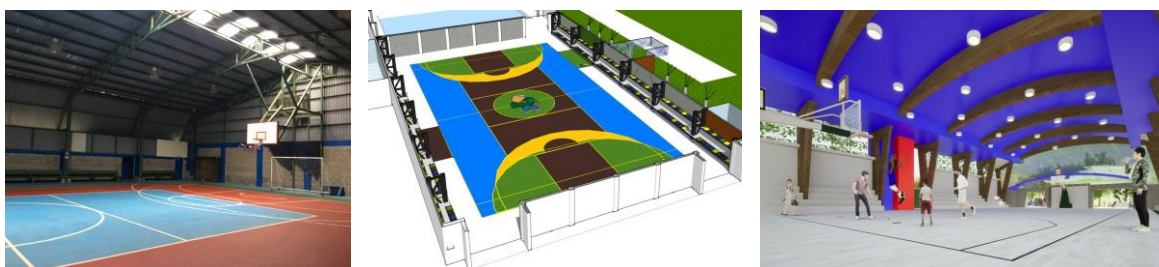


Figura 167. Vista aérea gimnasio existente (Google, 2019). Vista interna del gimnasio original, proyecto base, propuesta mejorada. Elaborado por el autor (2020).

El proyecto se propone para realizar un Auditorio, donde se lleven a cabo actividades culturales, educación y de reunión con condiciones apropiadas y cómodas. En la propuesta base se realiza el diseño del espacio de Auditorio para 200 personas; se desarrollarán de las condiciones acústicas al incorporar materiales de laminados de yeso en forros de paredes, cielo falso de calidades acústicas, piso de porcelanato y vinílico.

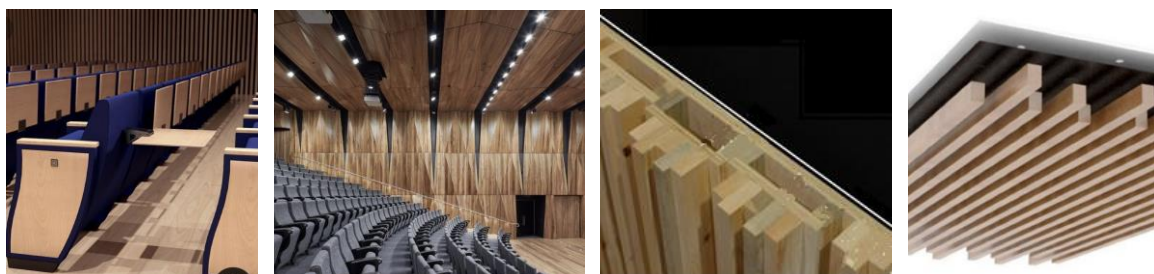


Figura 168. Selección de acabados internos. (Arau, 2004).

En la propuesta de mejora se desarrolla el criterio de uso de materiales con mayor grado de sostenibilidad, que al realizar la evaluación sumen puntaje para la certificación. La propuesta se realiza considerando el material de cubierta superior o techo con láminas tipo sándwich de relleno compacto que permiten la reducción del calor hacia el interior del Auditorio y talleres, reduciendo el ruido que produce la lluvia sobre el metal.

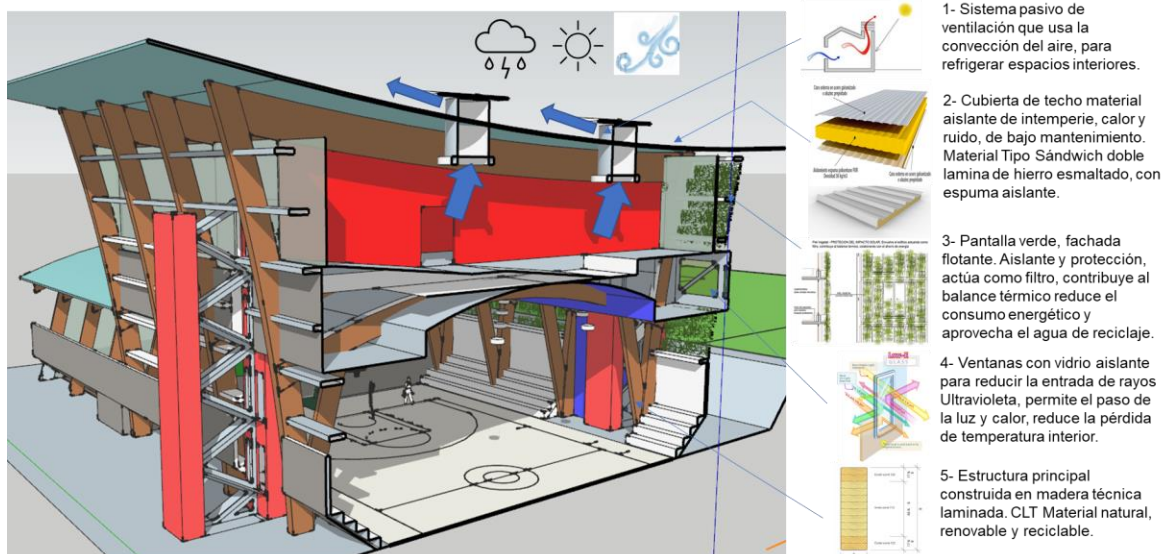


Figura 169. Materiales de envolvente, protección y aislamiento de sol, lluvia, viento y temperatura. Preparado por el autor (2020).

Así mismo se considera la instalación de cielo raso acústico, con diseño de acuerdo con la configuración espacial y resonancia del recinto, de manera que se pueda lograr una mejor

distribución del sonido sin distorsión, por lo que se propone el tipo de cielo estructura en islas flotantes.

Para el caso de las paredes se especifica la construcción de ensamble corta fuego e insonorización, según recomendación del fabricante Gypsum y sobre este se coloca el acabado de laminados de madera que por su conformación y figura logra un efecto de manejo de la acústica a la vez que brinda la ambientación del material natural.

Para el piso se ha seleccionado un tipo de laminado de madera natural, de instalación flotada o apoyada en una lámina suave que brinda mayor confort al caminar y elimina el ruido, a la vez que permite mejor manejo del tema de acústica. Así mismo el escenario tendrá acabado en madera natural del tipo teca que se produce localmente.



Figura 170. Materiales de envoltorio, protección y aislamiento de sol, lluvia, viento y temperatura. Preparado por el autor (2020).

Aislamiento acústico, se refiere al conjunto de procedimientos considerados para reducir o evitar la transmisión de ruidos entre recintos contiguos o desde el exterior hacia el interior con el fin de obtener una calidad acústica determinada. Esto es lo que se pretende regular al seleccionar materiales con capacidad acústica en cubierta, paredes de fachada y paredes interiores, por ejemplo, en el taller de danza.

Acondicionamiento acústico, hace referencia a las medidas que se toman para conseguir condiciones acústicas y ambiente sonoro al interior del espacio del Auditorio. Consiste en controlar la energía sonora reflejada en las paredes, cielo raso y piso, para reducir la reverberación, mejorar las cualidades de escucha y reducir el ruido molesto que distorsiona. Para esto se tratan las superficies interiores con materiales que permitan la difusión adecuada, reducir el tiempo de reverberación o reducir la intensidad del sonido.

Acústica arquitectónica, se le conoce como estudio del control del ruido, en aislamiento y en acondicionamiento acústico. El sonido se amortigua mediante la aplicación de materiales blandos o duros para permitir el aprovechamiento del sonido y evitar que afecte a otros espacios.



Figura 171. Propuesta mejorada del Auditorio con acabado en madera para pisos, paredes y cielos. (Arau, 2004).

“El objeto acústico fundamental que se pretende conseguir cuando se diseña un espacio destinado a actividades teatrales es la inteligibilidad de la palabra, o grado de comprensión del mensaje oral, sea óptima en todos sus puntos.” (Carrión, 2020).

Existen diversos materiales por utilizar según el efecto sobre la energía sonora:

Absorción del sonido, por materiales absorbentes o atenuantes, el público y el mobiliario.

Reflexión del sonido, materiales reflectores para generar en la zona de público.

Difusión del sonido, elementos difusores para dispersar de forma uniforme en múltiples direcciones el sonido.

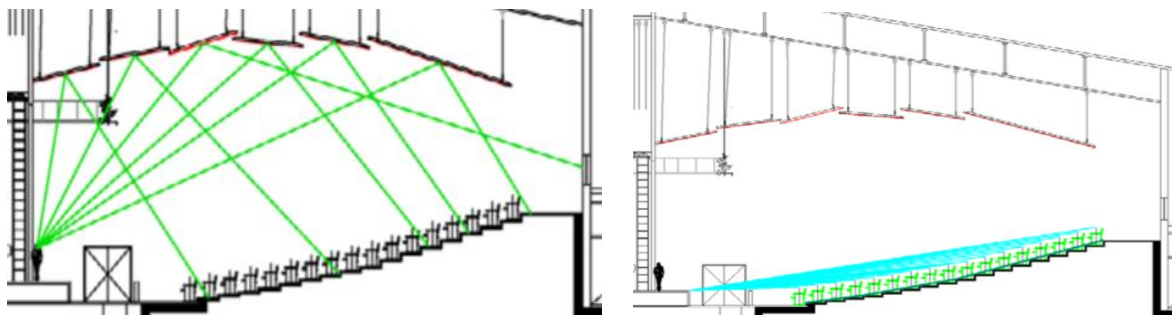
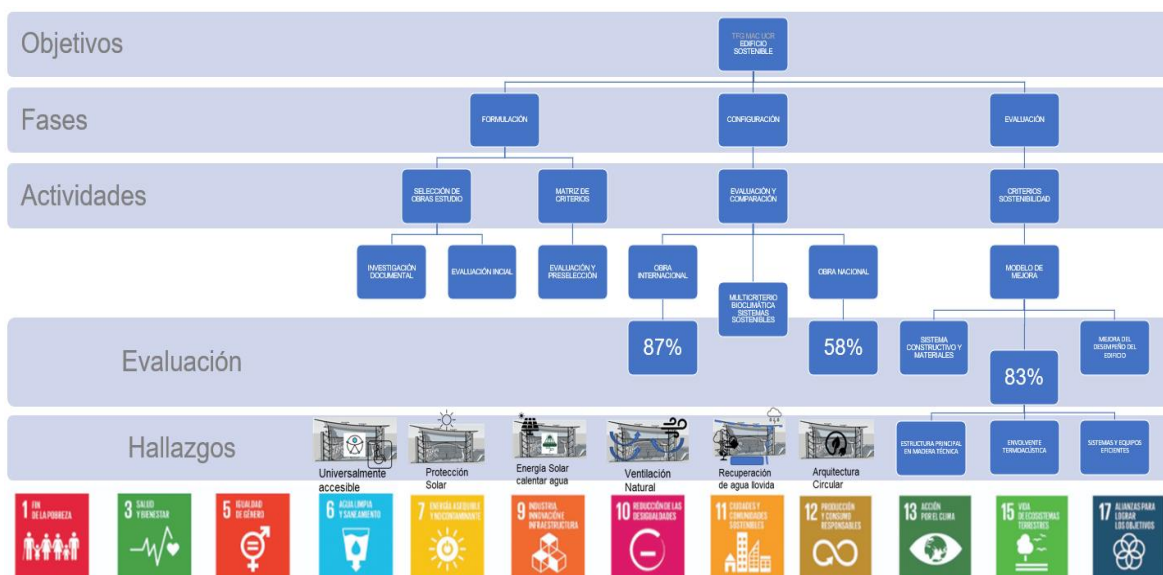


Figura 172. Estudio de acústica e isóptica o visual desde el punto del observador. (Rodríguez M. , 2009).

El abordaje del proyecto Auditorio para el colegio Nueva Generación, ha permitido evaluar consideraciones de diseño bioclimático con respuestas en arquitectura y construcción sostenible, para ajustar el modelo de lo que se construye, con el objetivo de mejorar el resultado hacia la propuesta de un edificio con mayor integración al entorno de las instalaciones institucionales para ofrecer posibilidad de incorporar actividades que trasciendan lo meramente educativo y deportivo cultural, para establecer asociación con la comunidad circundante e inmediata, ampliando la oferta de servicios con acceso al Auditorio, taller de danza e instalaciones deportivas bajo techo, además de la cancha de fútbol al aire libre. Con este planteamiento se podrá aprovechar la oferta de instalaciones, espacios y otros recursos con que se cuenta.



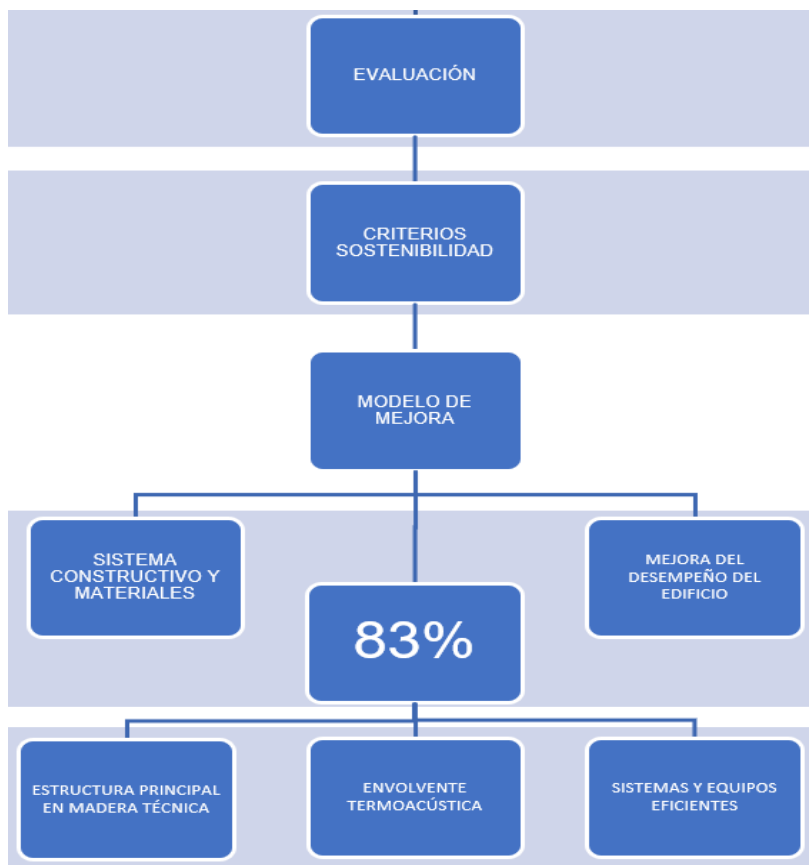
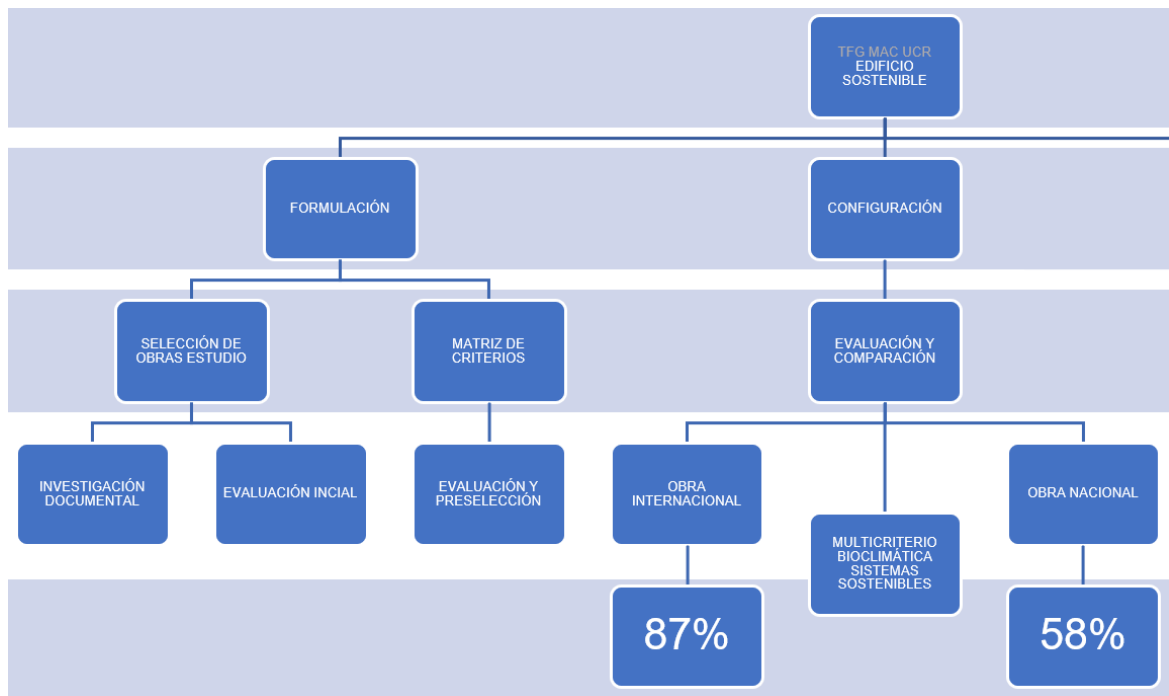




Figura 173. Diagrama de trabajo, conclusiones y hallazgos. Elaborado por el autor (2020).

6.8 Programación para la ejecución de obras

La programación de obras comprende la descomposición de la ejecución de la obra en una secuencia de pequeños trabajos o actividades que colaboran para organizar los recursos: tiempo, Horas Hombre, Horas máquinas, flujo de materiales, flujo del dinero e integración de otros contratos.

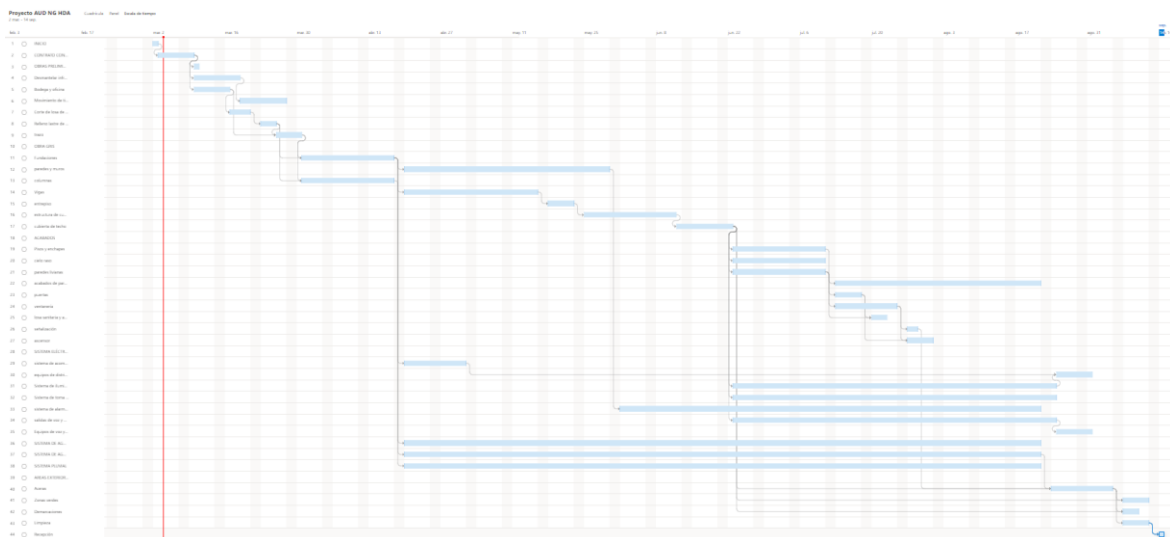
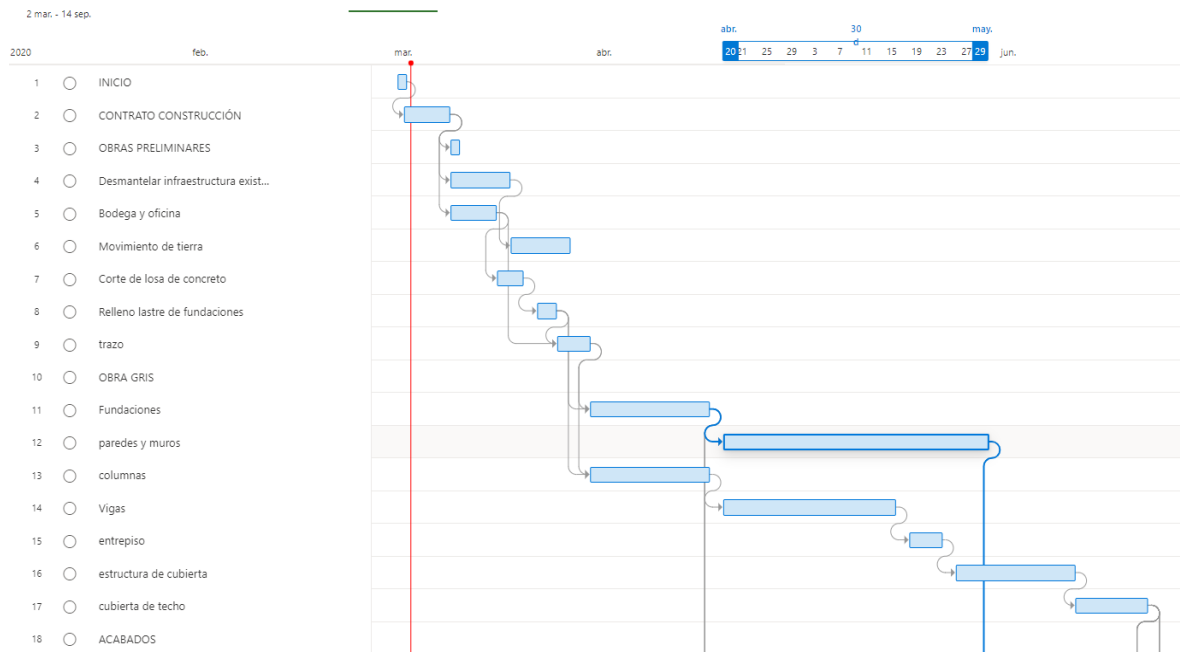
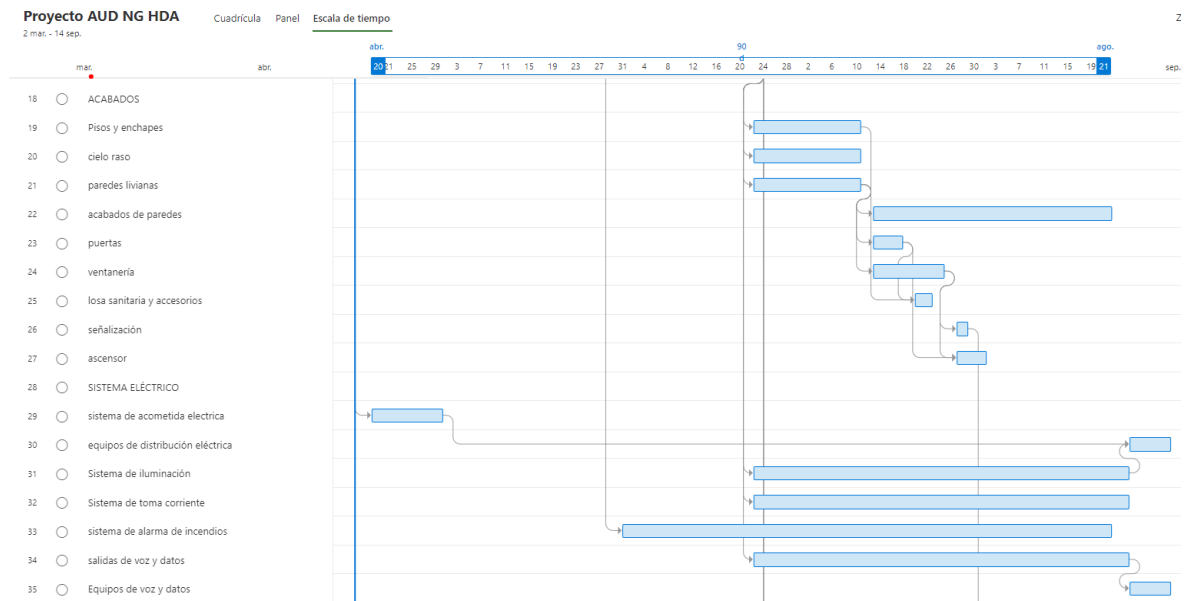


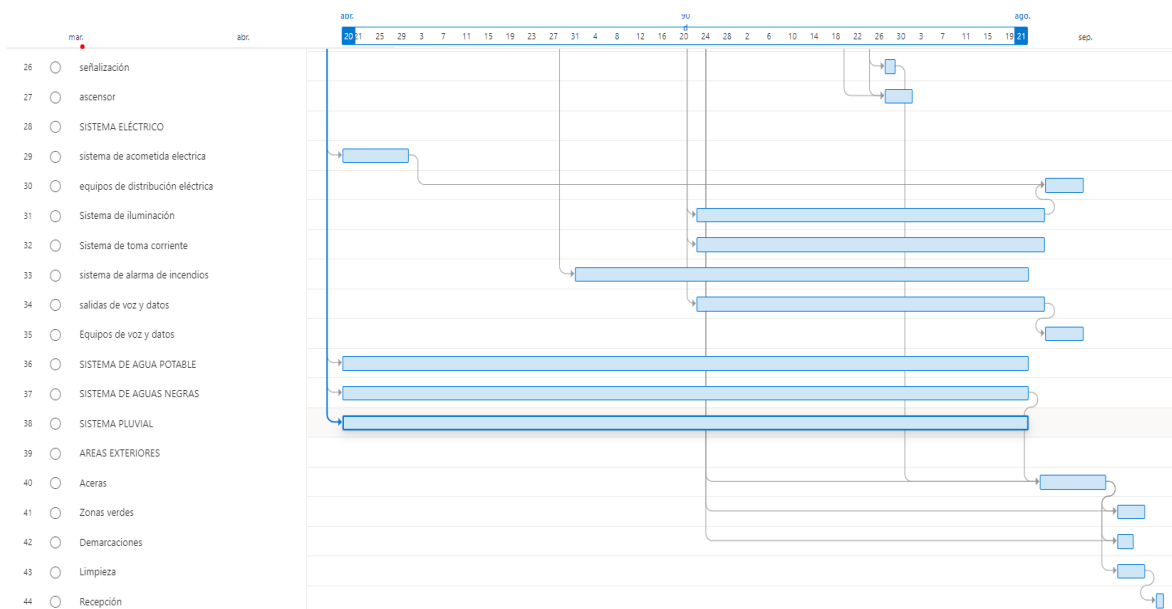
Figura 174. Cuadro de Programación de obra, en la etapa de ejecución. Elaborado por el autor (2019). Ver seguido este diagrama en secciones ampliadas.



Sección ampliada del mismo cronograma.



Segunda sección ampliada. Elaborado por el autor. 2019



Tercera sección ampliada. Final de obra. Elaborado por el autor, 2019.

El desglose de la estructura de trabajo EDT brinda el apoyo para generar la interdependencia entre actividades, a fin de ejecutar la obra de construcción y bajo la misma estructura es correcto ordenar el presupuesto de obra, ya que sirve de base para organizar, además, la tabla de flujo del dinero; documentos sincronizados entre sí, para la administración de contrato.

Según PMI y el PMbook la EDT es una descomposición jerárquica con orientación hacia los productos intermedios y final, como entregables del trabajo, para lograr los objetivos del proyecto, mediante la aplicación de técnicas de subdivisión del trabajo, que pueden ser programadas, para presupuestar, para facilitar las tareas de supervisión y control. (Kemuel, 2012).

El fin de preparar el desglose del trabajo, desagregando permite que se defina el alcance del proyecto y representa el trabajo planificado por componentes organizados en paquetes, a partir del cual se establezca un cronograma y presupuesto adecuado.

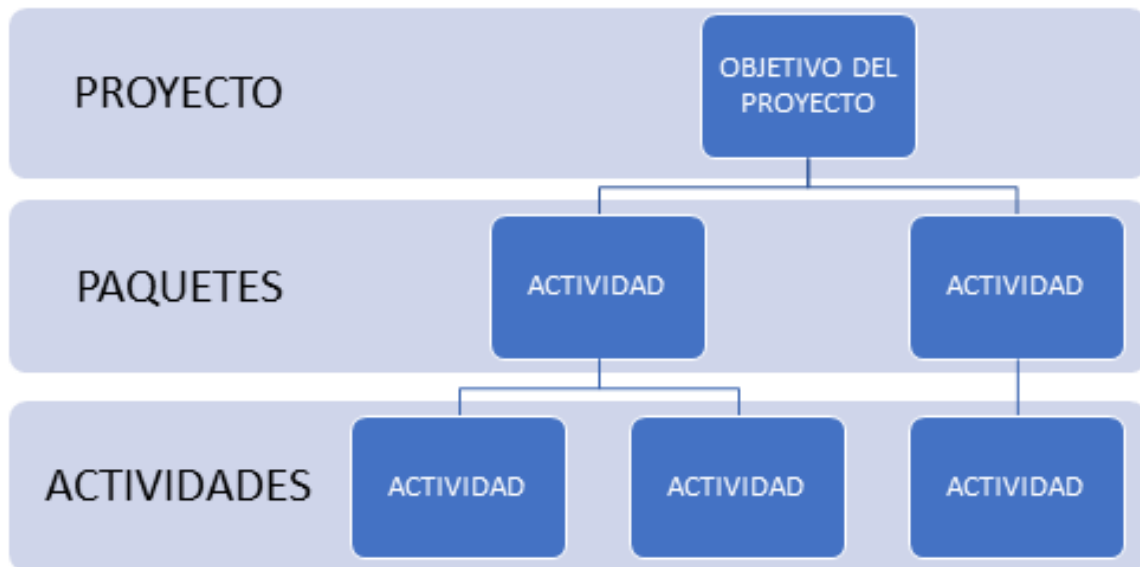


Figura 175. Diagrama organizacional de la obra. *Elaborado por el autor (2019).*

Para lograr un presupuesto adecuado debe conocerse muy bien el proyecto, con base en planos y especificaciones, sin dejar de lado el conocimiento de las leyes, reglamentos y normas que aplican al medio.

Se hace necesario conocer los costos que se han de generar en cuanto a mano de obra, materiales, equipos, insumos, maquinaria y herramientas, entre otros.

Preparar y revisar el presupuesto es primordial y para mantenerlo al día se debe utilizar un software o programa informático que facilite dichas tareas y la comunicación con los involucrados, con el fin de mantener el proyecto dentro de los costos, el plazo y la calidad comprometida.

6.9 Presupuesto

ITEM	PARTIDA	CANTIDAD	UNIDAD	TOTAL ACTIVIDAD	% AVANCE
Proyecto: AUDITORIO Y TALLERES					
Propietario: CENTRO EDUCATIVO NUEVA GENERACIÓN					
Localización: SAN RAFAEL DE HEREDIA					
Área de construcción: 1200 m2					
Costo/m2				\$1 407	
Costo Total				\$1 688 300	
1	BODEGA Y TRABAJOS PRELIMINARES			\$33 950	
	Cerramiento Perimetral Temporal	125	ml	\$2 400	
	Limpieza Externa del Edificio Existente	1	glb	\$800	
	Demolición	1	glb	\$27 150	
	Bodega Provisional	1	glb	\$3 600	
2	MOVIMIENTO DE TIERRA			\$95 000	
	Corte de losa existente de concreto	300	m3	\$41 000	
	Relleno lastre para placas	100	m2	\$54 000	
3	OBRA CIVIL			\$804 170	
	Placas aisladas	10,4	m3	\$51 300	
	Viga fundaciones	13,6	m3	\$19 800	
	Pedestales	4	m3	\$22 500	
	Reparación concreto Contrapiso	60	m3	\$14 000	
	Placa corrida muro mampostería	10,5	m3	\$12 650	
	Viga Corona	3	m3	\$3 020	
	Mampostería 12 x 20 x 40 cms	174	m2	\$14 100	
	Estructura marcos de nave principal	52	tons	\$410 000	
	Estructura de entrepiso y pasillos	30	tons	\$116 000	
	Concreto de entrepiso	48	m3	\$16 000	
	Clavadores	6	tons	\$36 000	
	Estructura de escaleras	1	tons	\$26 000	
	Cubierta de Techo	660	m2	\$35 800	
	forro perimetral en fachada	141	m2	\$14 000	
	Canoas	100	ml	\$6 000	
	Hojalatería	150	ml	\$7 000	
4	ARQUITECTÓNICA			\$428 880	
	Piso del auditorio	220	m2	\$29 000	
	piso del escenario	76	m2	\$15 000	
	Enchape de madera teca en escenario	84	m2	\$15 000	
	Cielo Acústico	220	m2	\$32 000	
	Piso de concreto lujado	42	m2	\$8 000	
	piso del vestíbulo	90	m2	\$9 000	
	piso del taller	250	m2	\$12 000	
	Acabado piso de cancha multiuso (Gimnasio)	600	m2	\$12 500	
	Concreto escobillado en aceras exteriores	90	m2	\$9 350	
	Recubrimientos cementicios	1660	m2	\$36 500	
	pintura exterior	680	m2	\$17 000	
	pintura interior	980	m2	\$23 800	
	puertas aluminio doble vidrio	1	glb	\$2 300	
	puertas corta fuego en salidas de emergencia	1	glb	\$4 500	
	puertas cuarto eléctrico	1	glb	\$4 500	
	puertas salida vestíbulo	1	glb	\$980	
	ventanería general	50	m2	\$21 000	
	parasoles	50	m2	\$33 200	
	barandás en escaleras	1	glb	\$8 000	
	mamparas verdes en fachada a cancha	50	m2	\$40 000	
	división entre salones del taller	1	glb	\$25 500	
	butacas del auditorio	230	un	\$62 000	
	cerrajería general	1	glb	\$4 750	
5	VENTILACIÓN			\$81 000	
	sistema de extracción mecánica	1	glb	\$58 000	
	sistema de ventilación pasiva	1	glb	\$23 000	
6	SISTEMA CONTRA INCENDIO			\$45 250	
	Canalización	60	un	\$17 800	
	cableado	600	ml	\$23 000	
	detector de humo	20	un	\$600	
	estación manual	8	un	\$350	
	luz estroboscópica	8	un	\$200	
	señalización	12	un	\$3 300	
7	EVACUACIÓN PLUVIAL			\$22 800	
	Bajantes pluviales				
	tubería horizontal	140	ml	\$20 000	
	cajas de registro pluvial	12	un	\$2 000	
	accesorios	1	glb	\$800	
8	EQUIPO ELÉCTRICO ESPECIAL			\$23 600	
	UPS	1	un	\$23 600	
9	INSTALACIONES ELÉCTRICAS			\$24 050	
	Canalización subterránea y alimentación				
	Canalizaciones	1	glb	\$8 000	
	puesta a tierra (cable 3/0 desnudo)	18	ml	\$600	
	Puesta a tierra (barrá de cobre y tornillos doble ojo)	4	un	\$300	
	Varillas Cooperwell 19 mmD	9	ml	\$3 000	
	Soldadura exotérmica	1	un	\$150	
	Tableros de potencia	3	un	\$12 000	
10	TOMACORRIENTE			\$8 000	
	Sistema de tomacorriente				
	Canalización	750	ml	\$3 000	
	Cableado	1500	ml	\$3 000	
	accesorios	1	glb	\$2 000	
11	ILUMINACIÓN			\$43 000	
	Canalización	450	ml	\$3 000	
	Cableado	1600	ml	\$12 000	
	Luminarias	100	un	\$22 000	
	Accesorios	1	glb	\$6 000	
12	SISTEMA DE VOZ Y DATOS			\$29 000	
	Acometida de voz y datos				
	canalización	12	ml	\$8 000	
	cableado	600	ml	\$3 000	
	rack voz y datos	1	glb	\$18 000	
13	SISTEMA CONTRA ROBO			\$12 250	
	Canalizaciones	125	ml	\$750	
	cableado	75	ml	\$2 300	
	equipos	1	glb	\$9 200	
14	SISTEMA DE SONIDO			\$48 350	
	Canalización	75	ml	\$9 450	
	cableado	350	ml	\$16 900	
	Equipos	1	glb	\$22 000	
TOTAL CONTRATADO					
TOTAL A FACTURAR				\$1 688 300	
ADELANTO INICIAL		\$300 000		18%	
AMORTIZACIÓN DEL ADELANTO					
TOTAL A CANCELAR DE ESTA FACTURA					

7. Conclusiones

7.1 Hallazgos

Descripción comparativa entre lo construido y la propuesta de mejora, para el edificio del Auditorio Nueva Generación.

CRITERIO FISICO AMBIENTAL	MODELO BASE	MODELO MEJORADO
<p>CONTEXTO</p> <p>1</p>	<p>La propiedad se encuentra inmersa en zona de desarrollo semi urbano de baja densidad, frente a carretera de acceso a la zona alta de las faldas del volcán Barva, sitio de atractivo turístico.</p>	<p>Dada la escasa disponibilidad de terreno para crecimiento, esparcimiento y mejora de la planta física, se propone la adición de terreno en verde que rodea a la propiedad, con fácil integración.</p>
CRITERIO FISICO AMBIENTAL	MODELO BASE	MODELO MEJORADO
<p>TERRENO</p> <p>2</p>	<p>No existe más disponibilidad de terreno para construcción</p>	<p>Se aprovecha y mejoran las áreas verdes que rodean a la instalación, para mejorar el desempeño medio ambiental y sostenibilidad del proyecto. Además de la incorporación de árboles nuevos para ofrecer sombreado y albergue a especies nativas.</p>

CRITERIO FISICO AMBIENTAL	MODELO BASE	MODELO MEJORADO
<p>3</p> <p>HUELLA</p>	<p>El complejo educativo en su desarrollo ha ocupado el límite del CAS, ubicando edificios de poca altura, hasta tres niveles, para aprovechar el terreno sin dejar más área para crecimiento y cobertura vegetal.</p>	<p>Para no sobrepasar el límite de huella CAS, se reutiliza la huella del gimnasio existente y sobre este se edifica la renovación del gimnasio, con la ubicación en segunda planta del Auditorio y talleres. Se aumenta la disponibilidad de facilidades deportivas y culturales, sin alterar la capacidad de ocupación del suelo, ni aumentar la huella.</p>
CRITERIO FISICO AMBIENTAL	MODELO BASE	MODELO MEJORADO
<p>4</p> <p>IMPACTO</p>	<p>Terreno modificado por nivelación</p>	<p>Se aprovecha la condición actual modificada del terreno y se edifica sobre huella existente. No se interviene el terreno, se aprovecha la nivelación existente.</p>
CRITERIO SOCIO CULTURAL	MODELO BASE	MODELO MEJORADO
<p>5</p> <p>INVERSIÓN</p>	<p>Reducida interacción social</p>	<p>Se incorporan soluciones de espacios para actividades de participación comunitaria, en el tema de sostenibilidad, impacto ambiental y cultura de cambio climático.</p>

CRITERIO SOCIO CULTURAL	MODELO BASE	MODELO MEJORADO
DESARROLLO 6	Reducido enfoque social	Accesibilidad a diversos grupos sociales a los espacios de reunión, deporte y cultura, estableciendo convenios abiertos para promoción social.
CRITERIO SOCIO CULTURAL	MODELO BASE	MODELO MEJORADO
SÍMBOLO 7	Icono de la conformación edilicia en el conjunto para orientar hacia la sostenibilidad.	Promueve el ideal de implementación y proyección hacia la cultura de bienestar social y comunitario.
CRITERIO SOCIO CULTURAL	MODELO BASE	MODELO MEJORADO
INTEGRACIÓN 8	No se proyecta hacia la comunidad	Facilita la cohesión social al abrir espacios de participación a la comunidad en el desarrollo de la salud mental y física.
CRITERIO ECONÓMICO FINANCIERO	MODELO BASE	MODELO MEJORADO
INVERSIÓN 9	Superior al millón de USD dólares	Superior a los dos millones de USD dólares, con la incorporación de espacios y facilidades para la interacción social y cultural, promoviendo vivencias dirigidas a la sostenibilidad ambiental.

CRITERIO ECONÓMICO FINANCIERO	MODELO BASE	MODELO MEJORADO
10 GENERACIÓN	Crea nuevas oportunidades laborales especializadas en la formación deportiva y cultural, además de tecnologías de audio y video.	Supera la oferta institucional e integra necesidades locales de formación, educación y nuevas competencias en disciplinas deportivas, culturales y técnicas.
CRITERIO ECONÓMICO FINANCIERO	MODELO BASE	MODELO MEJORADO
11 DESARROLLO	Implementación inmediata	Amplia la inversión y plazo de ejecución, con mayor aplicación de técnicas modernas de construcción e implementación tecnológica.
CRITERIO ECONÓMICO FINANCIERO	MODELO BASE	MODELO MEJORADO
12 CERTIFICACIÓN	Baja posibilidad de certificación, por poco interés del promotor, al desconocer el tema y sus ventajas.	Alta posibilidad de certificación, por interés del desarrollador, al incorporar análisis y evaluación hacia la sostenibilidad en el ciclo de vida del proyecto.

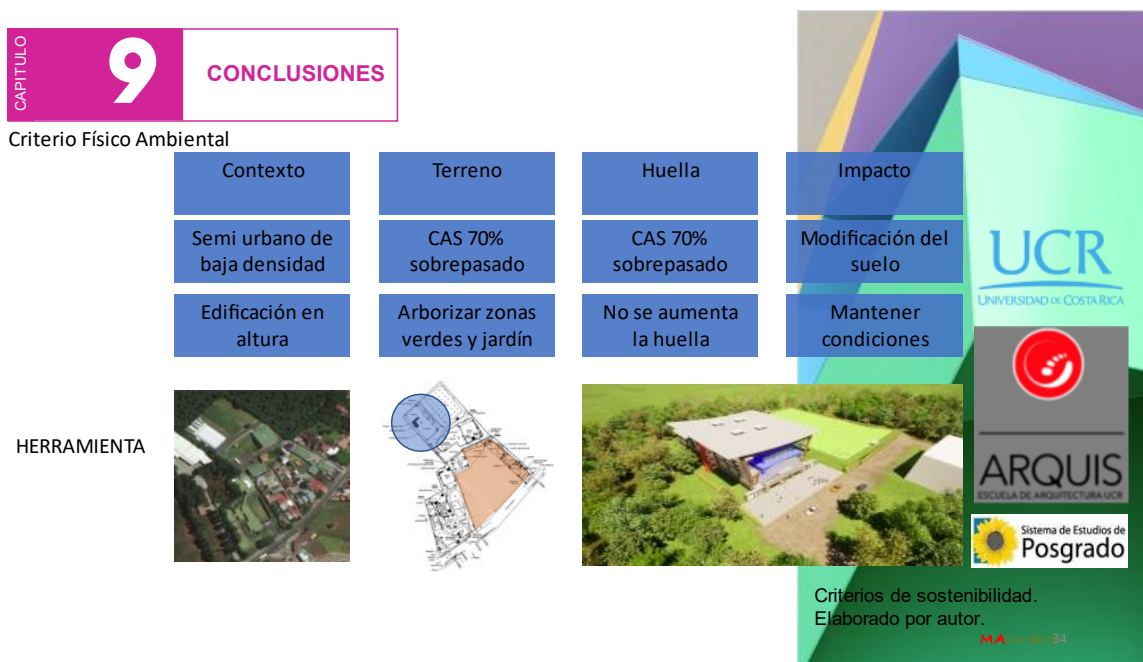


Figura 176. Primera sección conclusiones de análisis multicriterio. *Elaborado por el autor (2019).*



Figura 177. Segunda sección conclusiones de análisis multicriterio. *Elaborado por el autor (2019).*



Figura 178. Tercera sección Conclusiones de análisis multicriterio. *Elaborado por el autor (2019).*

7.2 Conclusiones y recomendaciones

Proyecto Auditorio Nueva Generación.

Al preparar la propuesta de diseño y construcción del proyecto para el Auditorio en el Colegio Nueva Generación, de San Rafael de Heredia, se establece como requisito principal el control del presupuesto para una obra atípica al ser construida sobre otra instalación existente, en este caso un gimnasio techado para la práctica de deporte.

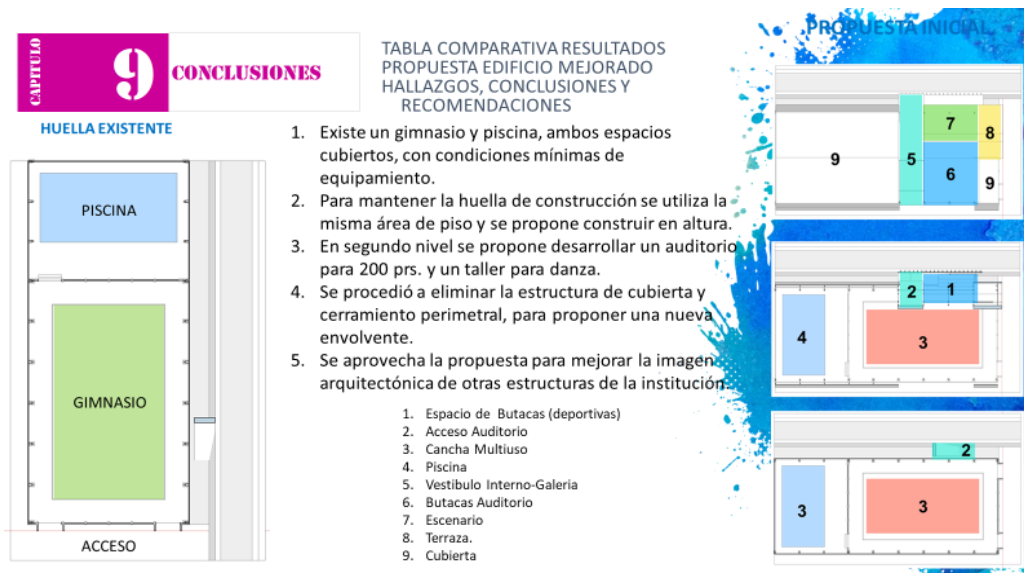


Figura 179. Diagrama de conclusiones. *Elaborado por el autor (2019).*

Así, la ubicación ya está dada, las dimensiones de la estructura existente delimitan la intervención por realizar y se establecen los intereses del promotor, la institución educativa.

Por facilidad de construcción, limpieza en el sitio, mejor conocimiento del constructor se ha decidido por una estructura metálica de marcos flexibles que se superponen a la estructura existente, la cual se puede preparar en taller y transporta al sitio de izado para su instalación final. Sobre los materiales de envolventes, se especifica cubierta aislada que permita controlar el ruido por lluvia hacia adentro de las instalaciones. En fachadas se proponen materiales aislantes de calor, humedad y lluvia, de mantenimiento bajo y sobre todo brindar un nuevo modelo en figura arquitectónica, que sea punta de lanza en la mejora de todo el complejo educativo, a futuro.

	AUDITORIO NG BASE	IGLESIA CRISTO DE LA LUZ	AUDITORIO NG AJUSTADO
SOSTENIBILIDAD			
	58%	87%	83%
FISICO AMBIENTAL	49%	91%	82%
SOCIO CULTURAL	78%	95%	86%
ECONÓMICO FINANCIERA	84%	76%	81%

Figura 180. Diagrama de conclusiones. Elaborado por el autor (2020).

La evaluación inicial, al aplicar el modelo multicriterio, arroja como resultado nota de evaluación 58%, con muy baja oportunidad de éxito hacia la sostenibilidad; así se abordará para el mejoramiento en los rubros de sostenibilidad físico ambiental, estrategia, tratamiento del entorno; socio cultural: estrategia, aumentar la inversión social y simbólica; y económico financiero: estrategia, considerar la inclusión de generación de empleo de calidad, para aumentar hasta una nota de 83% o superior a fin de incluir el proyecto en el rango de mejor posibilidad de sostenibilidad.



Figura 181. Diagrama de conclusiones. *Elaborado por el autor (2020).*

La estructura metálica existente para la envolvente del gimnasio no es apta para el soporte del Auditorio sobre esta, por lo cual su intervención es parte de la readecuación del edificio base donde se remueve la estructura de cubierta o techo y las columnas existentes, al igual que el cemento, para dar paso a la construcción de una nueva propuesta de estructura. Como resultado de la evaluación multicriterio para la sostenibilidad se promueve el cambio de estructura con perfiles de acero, por una estructura menos convencional en su forma y el material se cambia hacia madera técnica estructural, por sus características de menor peso, flexible para caso de sismo, y comportamiento de resistencia ante el fuego, entre otros.



Figura 182. Proceso de construcción en año 2019. *Fotografías realizadas por el autor (2019).* Se muestra parte de la estructura que cubija al gimnasio y sus columnas, en la segunda Figura se muestra la estructura preexistente que se ha demolido, la cual consistía en marcos de acero para la cubierta del gimnasio.



Figura 183. Propuesta arquitectónica del proyecto para la mejora, *elaborado por el autor (2020)*.

Al intervenir el edificio preexistente, en más del 80% de lo que hoy es, se considera replantear y construir nuevas instalaciones eléctricas, mecánicas y de comunicación, para actualizar materiales y aplicación de la normativa vigente, lo que ampliará la vida útil de las instalaciones y del edificio en sí.

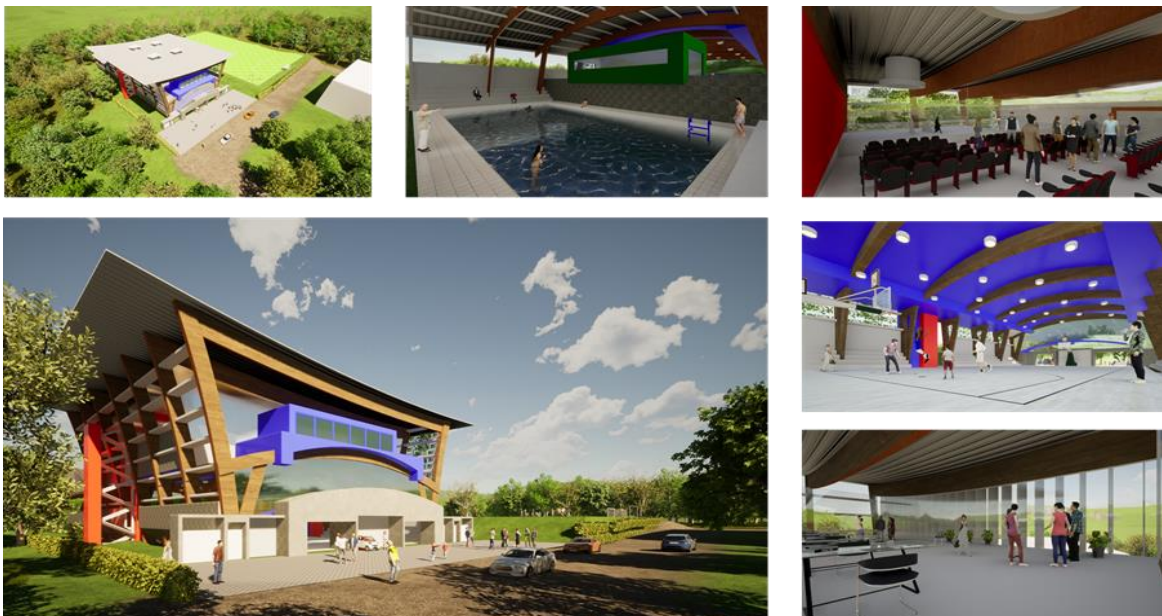


Figura 184. Aplicación de materiales. Modelo de propuesta de mejora. 2020. Elaborado por el autor (2020).

Con base en lo estudiado e investigado en otros cursos de estudios de posgrado, se establecen parámetros objetivos para la selección de los materiales de estructura y acabados arquitectónicos, como valor agregado en la solución integral de los proyectos para la edificación sostenible.

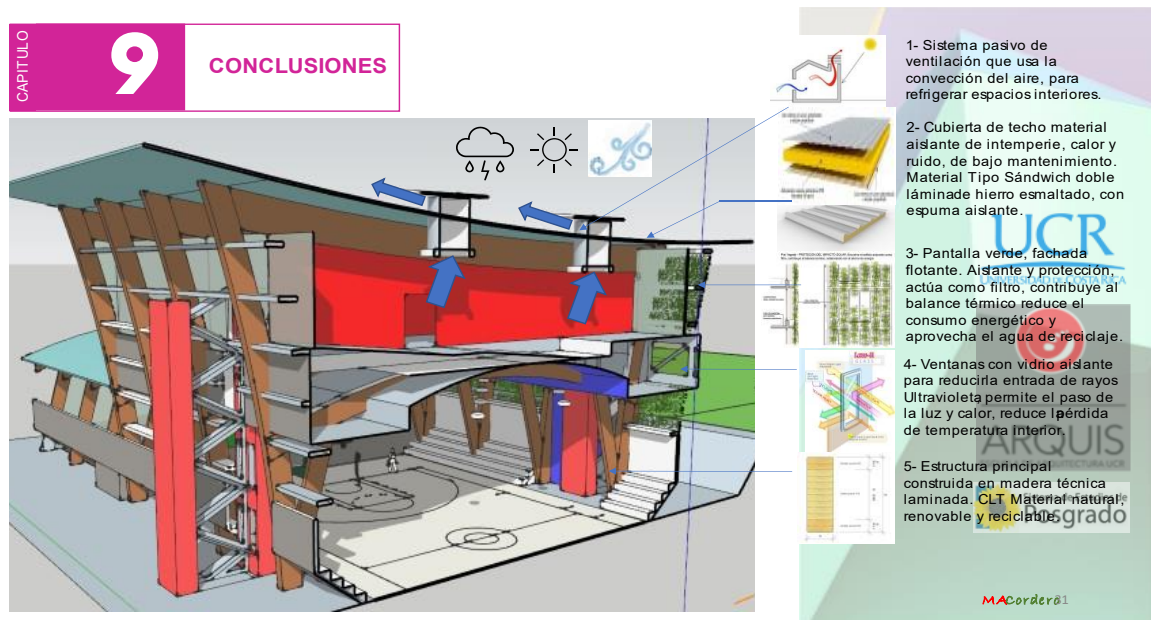


Figura 185. Aplicación de materiales. *Elaborado por el autor (2020).*

La selección de materiales se debe segregar y se deben establecer los parámetros ideales de acústica, privacidad, calidez, estética, durabilidad, sostenibilidad y mantenimiento entre otros con los cuales se pueda establecer y valorar la mejor selección de los materiales de acabado en pisos, paredes y cielos, además de los sistemas complementarios, como es el caso de los electromecánicos, con alta dosis de brindar seguridad al usuario regular.

Incluir soluciones pasivas para lograr el confort térmico y acústico en todos los lugares o ambientes de los edificios; se incorporan principalmente la ventilación e iluminación natural, mediante el uso de elementos de regulación manual para el control del acceso de la iluminación natural y de la ventilación; para eliminar o reducir el uso de mecanismos de ventilación y aire acondicionado, el cual se debe restringir a solo aquellos sitios que por condiciones técnicas deben utilizarlo, y en ese caso recurrir al apoyo de autogeneración en el lugar de un alto porcentaje de la electricidad, a partir de medios naturales no contaminantes.

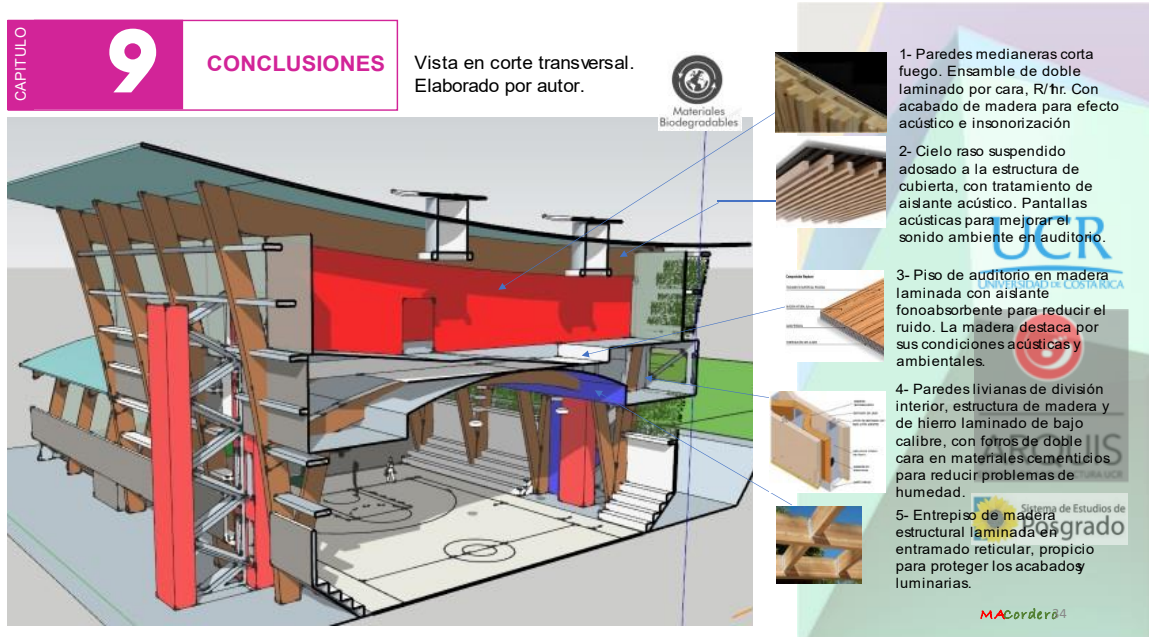


Figura 186. Aplicación de materiales. *Elaborado por el autor (2020).*



Figura 187. Vistas del edificio propuesto para la mejora. *Elaborado por el autor (2019).*

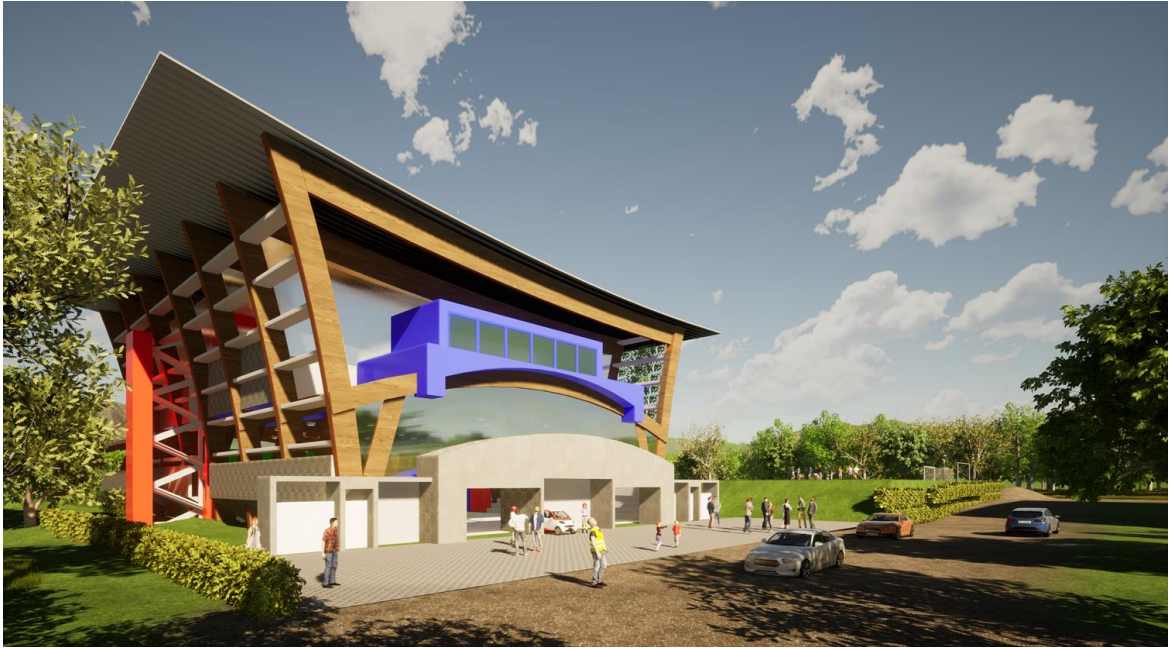


Figura 188. Vistas del edificio propuesto para la mejora. Preparado por el autor (2019).



Figura 189. Vistas del edificio propuesto para la mejora. Preparado por el autor (2019).



Figura 190. Vistas del edificio propuesto para la mejora. Preparado por el autor (2019).



Figura 191 Vistas del edificio propuesto para la mejora. Preparado por el autor (2019).



Figura 192. Vistas del edificio propuesto para la mejora. Preparado por el autor (2019).



Figura 193. Vistas del edificio propuesto para la mejora. Preparado por el autor (2019).



Figura 194. Vistas del edificio propuesto para la mejora. Preparado por el autor (2019).

8. Bibliografía

- Abarzúa, T. (2 de 2013). Obtenido de https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTbnVDdS9wcX-9g3X_28lOiwNp1qXgcsJfNSg&usqp=CAU
- Acciona. (2020). *Sostenibilidad para todos*. Obtenido de <https://www.sostenibilidad.com/construccion-y-urbanismo/aprendesostenibilidad-casas-pasivas/>
- Acero y madera. (2018). *Taller de construcción*. Obtenido de https://issuu.com/tallerdeconstruccion3/docs/acero___madera
- AIDIMA. (6 de 9 de 2011). *Noticias habitat*. Obtenido de <http://www.noticiashabitat.com/2011/innovacion-en-madera-en-construccion-y-arquitectura-2/>
- Amancecer y atardecer. (2020). Obtenido de https://www.sunrise-and-sunset.com/es/sun/costa-rica/san-rafael__04
- Arau, A. (2004). Obtenido de https://www.arauacustica.com/files/publicaciones_relacionados/pdf_esp_351.pdf
- Archdaily, H. (21 de 3 de 2016). *Archdaily*. Obtenido de <https://www.archdaily.com/783965/world-trade-center-transportation-hub-santiago-calatrava>
- Arenas, F. (2007). *Estudios*. Obtenido de https://huespedes.cica.es/gimadus/17/03_materiales.html
- Arquidia. (4 de 6 de 2010). *Arquidia*. Obtenido de <http://arquidia.blogspot.com/2010/04/el-circulo-bioclimatico.html>
- Arquitectura sostenible. (11 de 9 de 2018). *Arquitectura Sostenible*. Obtenido de <https://arquitectura-sostenible.es/la-arquitectura-bioclimatica-disenar-edificios-en-funcion-de-las-condiciones-del-entorno/>
- Arquitectura y diseño. (2 de 9 de 2019). *Arquitectura y diseño*. Obtenido de Otro pájaro de Calatrava que echa a volar: https://www.arquitecturaydiseno.es/arquitectura/otro-pajaro-calatrava-echa-volar_340
- Becerra, M. J. (17 de 7 de 2018). *Axxis*. Obtenido de <https://revistaaxxis.com.co/especiales/un-nuevo-paradigma-especial-sostenibilidad-revista-axxis/>
- Bermejo, J. (30 de 1 de 2015). *Arquitectura y construcción*. Obtenido de <https://www.interempresas.net/Construccion/Articulos/132409-Sostenibilidad-en-la-arquitectura.html>
- Betancourt, M. C. (6 de 2012). *Reserachgate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Rodrigo-Garcia-Alvarado/publication/279685837_Aplicacion_de_inteligencia_artificial_para_el_diseno_sostenible_de_vanos_en_el_tropico/links/56fffa4a08ae650a64f80a57/Aplicacion-de-inteligencia-artificial-para-el-diseno-s
- Building. (2020). Obtenido de <https://cpd.building.co.uk/courses/cpd-5-2020-natural-ventilation-the-principles-benefits-and->

- practicalities/#:~:text=Principles%20of%20natural%20ventilation%3A%20Natural%20ventilation%20utilises%20the,non-domestic%20buildings%E2%80%99%20is%20a%20useful%2
- Calatrava, S. (2016). *Plataforma arquitectura*. Obtenido de <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/784010/world-trade-center-transportation-hub-santiago-calatrava>
- Carrión, I. (2020). *Arquitectura pura*. (E. D. Catalunya, p. edición, 1998, & B. España., Edits.) Obtenido de <https://www.arquitecturapura.com/diseno-acustico-de-espacios-arquitectonicos-antoni-carrion-isbert/>
- Castillo, L. (28 de 1 de 2016). *Issuu*. Obtenido de https://issuu.com/luisfernandocastillo/docs/1._tesis_arquitectura_verde
- CCSS. (2013). *Radioterapia Hospital México*. Obtenido de <https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=O6C0RoB2&id=0BCB04064F79188E24DF8D5CD9D13CBE1D7AABAB&thid=OIP.O6C0RoB23R6fE3CTWmhi7AHaE7&mediaurl=https%3a%2f%2fwww.nacion.com%2fresizer%2f0mf6DRGWC3T1zy7iRcSKVh0hpW8%3d%2f600x0%2fcenter%2fmiddle%2ffil>
- CIENTEC. (2020). *CIENTEC*. Obtenido de <https://www.cientec.or.cr/archivo/astronomia/equinoccios.html>
- Construmática. (2020). *Construpedia*. Obtenido de https://www.construmatica.com/construpedia/Categor%C3%ADa:Pr%C3%A1cticas_de_Sostenibilidad_en_la_Edificaci%C3%B3n
- CR, C. (2020). *Construpanel*. Obtenido de <http://construpanelcr.com/>
- Cradle to Cradle. (10 de 9 de 2013). *inhabitat*. Obtenido de <https://inhabitat.com/meet-the-ten-finalists-in-the-cradle-to-cradle-product-innovation-challenge/>
- Díaz, O. (2012). Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/16662/DiazOsttuhentFM.pdf>
- Eco Habitar. (2020). *Eco Habitar*. Obtenido de <https://ecohabitar.org/aislamientos-termicos-sostenibles-para-la-arquitectura-aislamiento-de-celulosa/>
- Eco home essentials. (2020). *eco home essentials*. Obtenido de <https://www.eco-home-essentials.co.uk/loft-ventilation.html>
- EDGE. (2020). *EDGE Buildings*. Obtenido de <https://edgebuildings.com/certify/costa-rica/?lang=es>
- egoing. (2020). Obtenido de <https://egoing.com/estructuras-de-madera-laminada-de-grandes-luces/>
- Elegir ventanas. (2020). Obtenido de <https://www.efficientwindows.org/>
- Entre Nos, A. (1 de 12 de 2014). Obtenido de <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/758214/centro-de-capacitacion-indigena-kapaclajui-entre-nos-atelier>
- Esencial Costa Rica. (2020). *Esencial Costa Rica*. Obtenido de <https://www.esencialcostarica.com/empresas-licenciatarias/turismo/centro-convenciones-costa-rica/>

- Extralum. (2020). Obtenido de <https://www.extralum.com/vidrio/>
- Forestal Maderero. (13 de 6 de 2017). *Forestal Maderero*. Obtenido de <https://www.forestalmaderero.com/articulos/item/revolucion-de-la-maderamaciza.html>
- Gastélum, C. (3 de 10 de 2016). *S.04 Helio Arquitectura*. Obtenido de <https://www.slideshare.net/cegiaguga/s04-helio-arquitectura>
- Gibson, E. (6 de 9 de 2020). *Dezeen*. Obtenido de <https://www.dezeen.com/2020/09/06/no-footprint-house-a-01-costa-rica-zero-carbon/>
- Go Visit, C. (2020). *Paisajes de Costa Rica*. Obtenido de <https://www.govisitcostarica.co.cr/>
- González, M. (2019). *Asociación Sostenibilidad y arquitectura*. Obtenido de <https://www.sostenibilidadyarquitectura.com/>
- Google, N. (2019). *Google maps*. Obtenido de <https://www.google.com/maps/@10.0252025,-84.0974192,476m/data=!3m1!1e3>
- Guillén, C. (2020). *Arquitectura y sostenibilidad*. (U. d. Barcelona, Ed.) Obtenido de <http://arquitecturaysostenibilidad.com/>
- Hartman, C. (2008). *Diseño. Vip*. Obtenido de <https://xn--diseo-rta.vip/catedral-del-cristo-de-la-luz-el-diseno/>
- Hernández, P. (2017). *Arquitectura eficiente*. Obtenido de <https://pedrojhernandez.com/category/arquitectura-bioclimatica/>
- Hightex. (2006). *Archiexpo*. Obtenido de <https://www.archiexpo.es/prod/hightex/product-58335-1442033.html>
- Hildebrandt. (21 de 12 de 2015). *Hildebrandt*. Obtenido de <http://www.hildebrandt.cl/que-rol-cumple-la-madera-laminada-en-la-arquitectura/>
- Holtza. (2020). *Promateriales*. Obtenido de <https://promateriales.com/pdf/pm2503.pdf>
- iArc Architects. (18 de 12 de 2013). *aasarchitecture*. Obtenido de <https://aasarchitecture.com/2013/12/seoul-new-city-hall-by-iarc-architects.html/>
- iiarquitectos. (19 de 7 de 2014). *iiarquitectos*. Obtenido de <http://www.iiarquitectos.com/2014/07/recordando-randall-stout-arquitecto-de.html>
- IMN. (2020). *Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica*. Obtenido de <https://www.imn.ac.cr/web/imn/inicio>
- INTECO. (2020). *Inteco*. Obtenido de <https://www.inteco.org/event/divulgacion-de-la-norma-tecnica-reset-2020-2020-01-30-23/register>
- INTECO, M. (2018). *INTECO*. Obtenido de <https://www.inteco.org/blog/noticias-2/pais-cuenta-por-primera-vez-con-normas-para-identificar-madera-de-calidad-171>
- Jewel, N. (2002). *Cumbre de la tierra*. Obtenido de <https://www.un.org/es/>

- Kemuel, M. (18 de 12 de 2012). *eoi*. Obtenido de <https://www.eoi.es/blogs/mintecon/2012/12/18/la-edt-como-herramienta-de-gestion-del-alcance-de-proyectos/>
- Kerl, Y. (13 de 12 de 2013). *Plataforma arquitectura*. Obtenido de <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-317648/ayuntamiento-de-seul-iarc-architects>
- Langdon, D. (12 de 11 de 2014). *Plataforma arquitectura*. Obtenido de <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/757050/clasicos-de-arquitectura-edificio-del-parlamento-escoces-enric-miralles>
- Lanname UCR. (12 de 2015). *Revistas UCR*. Obtenido de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/materiales/article/view/29704/30367>
- LEED. (2020). *Arquitectura Sostenible*. Obtenido de <https://arquitectura-sostenible.es/certificados/>
- Lomholt, I. (9 de 5 de 2019). Hugo Boss Suiza: Edificio Coldrerio. *e-architect*. Obtenido de <https://www.e-architect.com/switzerland/hugo-boss-coldrerio>
- López, M. (2020). *CONAMA*. Obtenido de Congreso Nacional del Medio Ambiente: http://www.conama9.conama.org/conama9/download/files/CTs/2618_ML%F3pez.pdf
- madera, E. e. (22 de 4 de 2014). *Espacios de madera*. Obtenido de <http://espaciosdemadera.blogspot.com/2014/04/catedral-del-cristo-de-la-luz-en-oakland.html>
- Maderamen. (25 de 9 de 2017). *Todo MAdera*. Obtenido de <https://maderamen.com.ar/todo-madera/2017/09/25/cradle-to-cradle/>
- Mapa tu tiempo. (2020). *tu tiempo*. Obtenido de <https://mapa.tutiempo.net/#40;-3;5>
- Marsh, A. (2020). Obtenido de <http://andrewmarsh.com/software/>
- Meteolube. (2020). *Meteoblue*. Obtenido de https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/alaju_ela_costa-rica_3624955
- Mettant, J. (2020). *James*. Obtenido de <https://www.james.fr/galerie-image-james/>
- Ministerio de Salud, C. (2019). *Guía de diseño para captación de agua de lluvia*. Obtenido de <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/investigacion-y-tecnologia-en-salud/inventarios/inventario-tecn-de-agua-de-consumo-humano/captacion-de-agua-para-consumo-humano/captando-agua-de-la-lluvia/presentacion-power-point/1853-captacion-de-agua/file>
- Miralles, E. (4 de 10 de 2004). *El País*. Obtenido de https://elpais.com/diario/2004/10/05/cultura/1096927207_850215.html
- Miralles, E. (16 de 8 de 2012). *Espacios de madera*. Obtenido de <http://espaciosdemadera.blogspot.com/2012/08/parlamento-escoces-en-edimburgo-enric.html>
- Morant, A. (13 de 4 de 2021). Obtenido de *Arquitectura y empresa*: <https://arquitecturayempresa.es/noticia/arquitectura-de-economia-circular-iniciativas-para-ponerla-en-marcha>

- naturally wood*. (2020). Obtenido de <https://www.naturallywood.com/products/cross-laminated-timber/>
- Naturally, W. (2020). Obtenido de <https://www.naturallywood.com/products/cross-laminated-timber/>
- Noguera, J. (6 de 2011). *Universidad politécnica de Catalunya*. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/12795/Memoria.pdf?...1..>
- Noticias de arquitectura. (2011). *arq.com.mx*. Obtenido de <https://noticias.arq.com.mx/Detalles/12583.html#.YHTtHqziuM9>
- ODS , C. (2020). *Objetivos de desarrollo sostenible Costa Rica 2020*. Obtenido de https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/26797VNR_2020_CostaRica_Report_Spanish.pdf
- Oficina Nacional Forestal . (2020). *ONFCR*. Obtenido de <https://onfcr.org/>
- Olatek, M. (2020). *Olatek*. Obtenido de <https://olatek.es/madera-laminada/>
- Panel Sandwich CR. (2020). *Grupo Panel Sandwich Costa Rica*. Obtenido de <https://panelsandwich.cr/>
- Plataforma Arquitectura. (13 de 11 de 2019). *Plataforma arquitectura*. Obtenido de <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/tag/madera-laminada>
- Porras, S. (2013). *SIBDI*. Obtenido de <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/2110>
- Ramírez, E. (2012). Modelo multicriterio. *Arquis UCR*, 10-16.
- Ramírez, F. (2011). *SIBDI UCR*. Obtenido de <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/3579>
- RESET. (2020). *INTECO*. Obtenido de https://www.inteco.org/en_US/shop/intec170-2014-reset-requisitos-para-edificaciones-sostenibles-en-el-tropico-729
- Rivas, P. (10 de 2 de 2020). Obtenido de <https://instalacionesyeficienciaenergetica.com/calefaccion-por-geotermia/>
- Rodríguez, C. (2010). *REvista de Ingeniería de Cosntrucción*.
- Rodríguez, F. (8 de 2010). *SCielo*. (U. P. ESPAÑA, Ed.) Obtenido de Revista Ingeniería de Construcción: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732010000200001
- Rodríguez, M. (2009). Obtenido de <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/22219/Anexo.pdf>
- Rubio, C. (2011). *Madera 21*. Obtenido de <https://www.madera21.cl/project-view/catedral-de-cristo-de-la-luz/>
- Rudin, M. (1 de 8 de 2017). *Espacio*. Obtenido de <https://espacio.co.cr/certificacion-edificios-sostenibles/>
- Rus, C. (22 de 2 de 2019). *XATAKA*. Obtenido de <https://www.xataka.com/ecologia-y-naturaleza/noruega-estan-construyendo-rascacielos-madera-sera-edificio-madera-alto-mundo>
- S.O.M. (2008). *SOM arquitectos*. Obtenido de https://www.som.com/projects/cathedral_of_christ_the_light

- Salazar, M. (5 de 8 de 2011). *Ecosistemas*. Obtenido de <http://ecosystems-ecosistemas.blogspot.com/2011/08/zonas-de-vida-de-costa-rica.html>
- Salida y puesta de sol. (2020). *Salida y puesta de sol*. Obtenido de <https://salidaypuestadelsol.com/sun/heredia>
- Semanario Universidad. (2 de 9 de 2009). Obtenido de <https://historico.semanariouniversidad.com/opinion/la-alta-vulnerabilidad-ssmica-de-costa-rica/>
- Serrano, J. M. (9 de 9 de 2012). *Revistas Tec*. Obtenido de <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/370>
- Storaenso. (2020). *storaenso*. Obtenido de <https://www.storaenso.com/>
- Stout, R. (19 de 7 de 2014). *iiarquitectos*. Obtenido de <http://www.iiarquitectos.com/2014/07/recordando-randall-stout-arquitecto-de.html>
- Stout, R. (30 de 12 de 2014). *Slideshare*. Obtenido de <https://pt.slideshare.net/visualarq/visual-arq-randallstoutalbertaartgalleryarchitecturerhino/5>
- SunEarth Tools. (2020). *Sun Earth Tools*. Obtenido de <https://www.sunearthtools.com/>
- Thun, M. (2006). *matteothun*. Obtenido de <http://www.matteothun.com>
- Timber. (2020). *Archdaily*. Obtenido de <https://www.plataformaarquitectura.cl/catalog/cl/products/12480/estructuras-de-madera-laminada-timber>
- Ventanas eficientes. (2020). *Efficiente Windows*. Obtenido de <https://www.efficientwindows.org/>
- Villareal, C. (4 de 4 de 2018). *ecocamquijos*. Obtenido de <https://ecocamquijos.blogspot.com/2018/04/compreesion-del-clima-desde-sus.html>
- Weather , S. (2020). *Weather Spark*. Obtenido de <https://es.weatherspark.com/y/15511/Clima-promedio-en-San-Rafael-Costa-Rica-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- WGBC. (2021). *World Green Building Council*. Obtenido de <https://www.worldgbc.org/>
- Zigurat. (2020). *Global Institute of Technology*. Obtenido de <https://www.e-zigurat.com/blog/es/edificacion-sostenible-certifiacion-leed-negocio/>
- Zurcher, A. (2013). *Archdaily*. Obtenido de <https://www.archdaily.com/596331/andaz-hotel-zurcher-arquitectos>

9. Anexos

9.1 Estudios adicionales

Parte de la investigación realizada para este proyecto conlleva acercarse a áreas específicas y especializadas del desarrollo arquitectónico con relevancia para la construcción, tal cual es el caso del estudio sobre la madera técnica, material especializado que tiene auge en el uso y aplicación en el país con formato pequeño e industrializado. Para su aplicación en estructuras de mayor envergadura se realiza el contacto con la industria chilena por su accesibilidad y facilidad de comunicación, así como por su desarrollo.

Otro estudio relevante ha sido el de los aspectos climatológicos, necesarios para lograr el manejo de los parámetros de confort al interior de las edificaciones y la necesaria aplicación de técnicas pasiva de control del clima.

De igual manera se abordó la certificación de edificaciones y el análisis de selección de materiales como parte de los criterios para lograr mayor calificación del proyecto desde la perspectiva de la sostenibilidad hacia la descarbonización.

A continuación se presentan a continuación los temas de interés desarrollados.

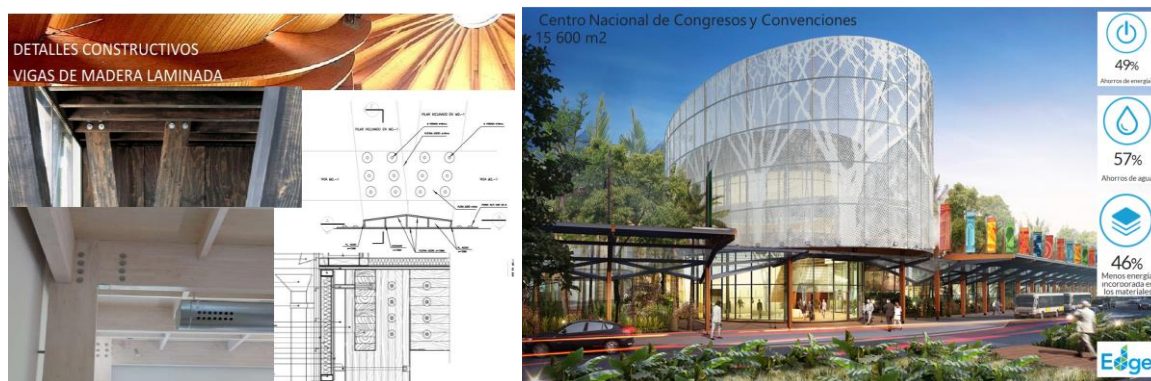


Figura 195. Vigas de madera laminada (Plataforma Arquitectura, 2019), Centro Convenciones de Costa Rica. (Esencial Costa Rica, 2020).

9.2 Madera estructural laminada

El arquitecto modela en su mente las particularidades de la edificación que aborda, con el cometido de resolver un propósito: servir para la utilidad planteada. Para el caso que nos ocupa, resolver las instalaciones deportivas y culturales para un centro educativo de estudios de primaria y secundaria, o escuela y colegio.

Una premisa establecida será el crear una figura edilicia renovada para incidir en el conjunto de edificios que componen el campus, donde diversos edificios individuales forman parte de las instalaciones para ofrecer aulas y otros usos de apoyo.

El proceso constante entre investigación y uso de la tecnología constructiva en el clima tropical hace necesario revisar cada vez más la aplicación de materiales y su desempeño, lo que impulsa la innovación en la industria de la arquitectura y la construcción en Costa Rica.



Figura 196. Hotel Papagayo y Hotel Andaz en Costa Rica, Guanacaste. Zurcher Arquitectos. (Zurcher, 2013).

El uso de la madera para construcción en Costa Rica crece día a día, por esto se ha integrado un capítulo en el Código Sísmico CSCR-10 sobre especificaciones para estructuras de madera que forman parte del sistema sismorresistente de edificaciones; inclusive, INTECO crea un subcomité de maderas para elaborar las normas relacionadas con productos de madera para la construcción, (INTE C270:2018, INTE C100:2011). De esta forma se plantea paliar la reducción del conocimiento técnico y tecnológico, hasta vernacular del uso de la madera en la construcción. Más información consultar en: (INTECO M. , 2018) y (Lanname UCR, 2015).

El uso del concreto y el acero brinda por sus características físicas, facilidad plástica y resistencia estructural ante el clima local, por lo que ha sido ampliamente utilizado en

construcciones recientes, sin embargo, son productos en su mayoría importados y por ende con una creciente huella ecológica que se debe considerar con vistas al Plan Nacional de Descarbonización, entre otros. El acero tiene diversos usos, aplicaciones y perfiles o secciones de fabricación que permiten construir diferentes tipos de obra. En la construcción de estructuras para edificios se utilizan en columnas, vigas, cerchas, reticulados para paredes, pisos y cubierta, así como el acero laminado, para múltiples cerramientos y acabados.

La madera ha sido utilizada en la construcción; por un periodo prolongado ha pasado a ser un material de segunda categoría como elemento estructural y en la actualidad retoma protagonismo incrementando su valor como sistema constructivo, estructural y que brinda además acabados arquitectónicos sobresalientes, así como amplio valor entre las estrategias por rescatar el ecosistema, reducir la huella ecológica, entre otros. (Serrano, 2012).

La madera se ha retomado para la construcción estructural en desarrollo de columnas, vigas y cerchas, cada vez con mayores demandas estructurales por lo que se ha desarrollado la madera técnica o estructural laminada, según sea el tipo, que considera las virtudes del material para brindar mejores condiciones para el desarrollo de estructuras con el objetivo de que pueda soportar grandes cargas y luces entre apoyos. Además, se produce madera para estructuras medianas y sobre todo destaca en acabados para paredes, cielos y pisos, entre otros. Es pertinente revisar el tema desarrollado en el Instituto Tecnológico de Costa Rica: las vigas laminadas estructurales: aspectos a considerar para su fabricación en Costa Rica.

“Mediante la madera técnica, pueden superarse las limitaciones de la madera aserrada para estructuras de grandes dimensiones y formas arbitrarias, y pueden desarrollarse mediante nuevos productos y técnicas”. (AIDIMA, 2011).

Es por el desarrollo tecnológico actual que la madera, como materia prima estructural y de cerramiento, pasa a ser un producto mejorado y técnicamente transformado en dimensiones y características que superan al producto natural que se obtiene del simple aserrío.

Ante el auge del uso y aplicación de la madera tecnificada, que se mejora a través de la industrialización y el estudio y valoración en laboratorio de materiales, se propone superar las edificaciones regulares de una y dos plantas, para realizar edificaciones cada vez más altas y de mayor envergadura; esto de la mano con el pensamiento de utilizar estándares sustentables y así reducir la huella ecológica del concreto y aceros importados.



Figura 197. En Noruega, se construye un rascacielos de madera. (Rus, 2019).

Entre las propiedades físicas de la madera (Acero y madera, 2018), para su aplicación en la construcción se consideran:

Flexibilidad: permite ser moldeada en curva o doblar, mediante aplicación mecánica, aplicación de calor o por corte, esta característica le brinda seguridad en el uso y aplicación ante el movimiento al cual se somete una edificación, por sismo, viento o esfuerzo mecánico.

Dureza: se clasifica la madera según tipos de dureza, de más blandas a más duras y así se utiliza según la necesidad. Se divide en maderas suaves, de mediana densidad o semiduras y maderas duras. Los tres tipos se utilizan en construcción según sea su aplicación, en estructura o en forros y decoración.

Aislante: sus propiedades térmicas y acústicas son parte de las características en la estructura celular de la madera, en parte por la densidad de sus partículas, así como por las cámaras de aire que se producen al secar el material. Aislante tanto del ruido como del frío y del calor, reduce los gastos de energía sin recurrir a aislamiento adicional.

Plasticidad: facilidad de moldearla, tallar y modificar, por lo que es fácilmente modificable según el uso.

Ecológica: la madera es un material orgánico, reproducible por siembra, con capacidad de fijar el carbono el cual es secuestrado de la atmósfera. También se considera el menor gasto energético en su producción e industrialización, es reciclable y no tóxica, es la materia prima de preferencia para obtener puntaje en certificación de sostenibilidad en el ciclo de vida de los materiales y de la edificación.

Durabilidad: es un material natural y biodegradable, la exposición a agentes nocivos reduce la vida de la madera, por ataque de insectos y bacterias, hongos, el medio ambiente (UNE 56.417) Apta para toda clase de ambientes, salinidad, lluvia ácida, humedad relativa ambiental del trópico.

Compresión: es cuando el material es sometido a una fuerza que tiende a aplastar las fibras en un sentido axial o perpendicular a estas, donde la resistencia es mayor para el primer caso.

Tracción: es uno de los valores más altos, cuando se somete el material a esfuerzos contrarios que tienden a romper la pieza de madera en dirección paralela a las fibras y es la menor en sentido perpendicular.

La combinación de las características estructurales de la madera como material para la construcción de edificaciones de gran tamaño han dado como resultado el desarrollo tecnológico de la madera estructural laminada, que consiste en la aplicación de madera sólida, aserrada, tratada para la preservación y preparada para juntarse mediante la aplicación de pegamento, como láminas que se unen y forman un nuevo elemento de madera con fibras encontradas que proporciona al material mejor comportamiento estructural de mayor aplicación técnica desde postes de sección cuadrada, tablas estructuradas, composiciones de alma abierta, láminas contrachapadas para formar vigas de alma llena de dimensiones mayores a lo que regularmente se encuentra en las

plantaciones, superando los 30 metros de largo y aplicaciones de hasta 100 metros entre apoyos, en estructuras compuestas. La fabricación de madera laminada es un proceso que consiste en producir elementos macizos de resistencia incrementada, constituidos por tablas de menor espesor unidas entre sí, solidariamente de forma que no se puede separar el aporte estructural entre ellas.



Figura 198. Sección de madera estructural laminada, y aplicación en un modelo de cubierta con apoyos a los extremos. (Holtza, 2020).

En la madera estructural laminada, los pegamentos cumplen función estructural, por lo que es importante su confiabilidad y durabilidad, a esto se debe la continua investigación y desarrollo para su perfeccionamiento, sin dejar de lado el concepto medioambiental. Actualmente los más utilizados son la Melamina-Urea-Formaldehido (MUF) y el Poliuretano (PU). (Holtza, 2020).

A finales del siglo XX que resurge el uso de la madera laminada para la construcción de grandes luces entre apoyos, en Europa y Estados Unidos de América con mayor auge y reconocimiento del desempeño de la madera para construcción de estructuras cada vez más sofisticadas y en edificios cada vez más altos en la época presente.

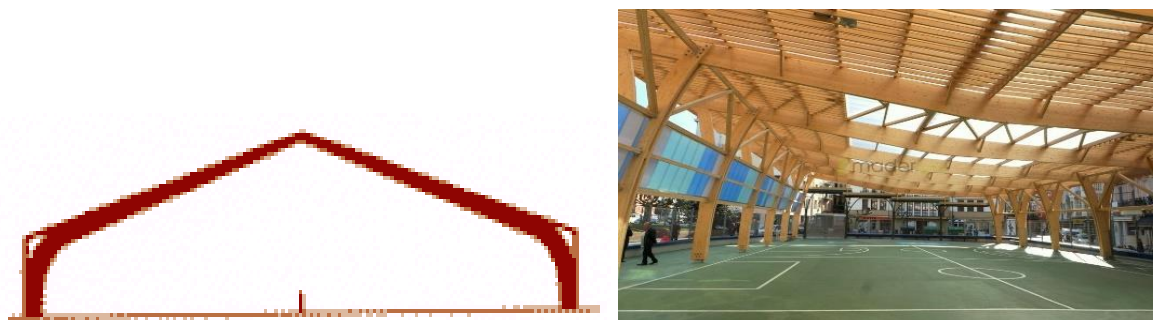


Figura 199. Sección de estructura de grandes luces entre apoyos. (Forestal Maderero, 2017).

“El progreso técnico ha devuelto al punto de mira el material de construcción más antiguo de la humanidad. El origen de todo hay que buscarlo en el bosque, que provee el material.” (Hildebrandt, 2015).

Al iniciar el siglo XXI se vuelve a valorar aquellos materiales más sostenibles, naturales, renovables y ambientalmente amigables, así como bajas emisiones de gases de efecto invernadero, reutilizables, reciclables, y reducida huella de carbono. Se valoran las condiciones técnicas de la madera industrializada, alternativa con condiciones que aventajan al uso del concreto y el acero entre otros.



Figura 200. Vigas curvas de madera laminada. (Olatek, 2020).



Figura 201. Modelado de la madera estructural realizando una curva en planta de proceso. (Maderamen, 2017).

El empleo de madera estructural laminada posee ventajas sobresalientes:

- **Ligereza y estabilidad:** Posee menor peso que el concreto y el acero, es ideal para soluciones de cubiertas en espacios amplios. En igualdad de peso, es cuatro veces más resistente que el hierro.

- Rapidez de instalación: Al ser un producto prefabricado, se reducen considerablemente los tiempos de producción, así en sitio de obra solo se debe realizar la colocación o instalación y fijarlos.
- Durabilidad: Presenta un bajo mantenimiento en ambientes agresivos para los metales, especialmente en los que la humedad es muy alta.
- Versatilidad: Posibilita la fabricación de piezas de gran peralte, longitud y con formas curvas y contra curva si fuera necesario.
- Comportamiento ante el fuego: Aunque es un material combustible, su comportamiento supera al del acero y el aluminio, ya que es posible calcular el tiempo durante el cual la estructura seguirá cumpliendo sus funciones. Las estructuras de madera se catalogan como de comportamiento previsible en caso de incendio, no colapsan y su destrucción es progresiva. La superficie expuesta al fuego se inflama creando una capa carbonizada aislante que incrementa su protección natural.
- Estética: Es un material que genera un ambiente cálido y acogedor, por lo que es idóneo, por ejemplo, para la restauración de edificios históricos y en edificios modernos brinda esa calidez propia del material natural.
- Material sostenible: Los recursos necesarios para su obtención y transformación son muy bajos, solo los supera el adobe; la madera es un recurso renovable, en un plan de manejo adecuado.

Para los técnicos y calculistas de estructuras, el aspecto más importante por considerar es la clase resistente de la madera laminada, que lleva aparejada toda una serie de valores característicos de resistencia, densidades y módulos de elasticidad, que van a ser los que determinen finalmente el dimensionamiento de las piezas y de las uniones.



Figura 202. Detalle constructivo nudos en madera laminada. (Laname UCR, 2015).

Para madera laminada se encuentran 8 clases resistentes, pertenecientes a dos grandes grupos (GL24h, GL28h, GL32h, GL36h, GL24c, GL28c, GL32c y GL36c). Las dos letras iniciales (GL) indican que se trata de madera laminada encolada (del inglés “Glue Laminated”), el número indica la resistencia de la pieza a flexión, en Mega-Pascales (N/mm²) y la letra final indica si se trata de una composición homogénea de las láminas (h), es decir, que todas las láminas son de la misma clase resistente, o una composición combinada (c) con las láminas exteriores de una clase resistente superior.



Figura 203. Madera laminada cruzada CLT. (Storaenso, 2020).

La abreviatura en alemán BSP (paneles de madera contra laminada) o CLT (por sus siglas en inglés, cross laminated timber) es un concepto superior empleado en el sector de la construcción para designar tableros de madera maciza compuestos de varias capas de tablas, por lo general, con las fibras dispuestas en ángulo recto, colocadas de forma plana en cruz, una sobre otra.



Figura 204. Estructura de entramados en madera laminada. (Timber, 2020).

En comparación con el acero, la viga laminada permite una distancia mayor con elementos de menor peso y número de soportes verticales. Además, las herramientas o elementos de sujeción utilizados con viga laminada son fáciles de encontrar en el lugar de trabajo al igual que con la madera dimensional estándar. (Timber, 2020).

La viga laminada puede soportar madera, hormigón o acero y se puede conectar mediante el uso de placas de acero, escuadras, estribos o tirafondos.

Sobre la parte superior de las vigas se puede soportar pisos y entrepisos a base de tarimas y entramados de tableros de madera, así como, pisos mixtos de concreto-madera, etc.



Figura 205. Marcos estructurales para grandes luces en madera laminada.

Es también muy habitual confiar a las vigas laminadas estructuras de techados y cubiertas, muy ligeras respecto a los de hormigón, con lo cual se pueden reducir dimensiones en los apoyos. (Mettant, 2020).



Figura 206. Centro de Capacitación Indígena Kăpäclăjui / Entre Nos Atelier. 2014. situado en la reserva Indígena de Tayutic de Grano de Oro, cantón de Turrialba, en la provincia de Cartago, Costa Rica. (Entre Nos, 2014).

“Los productos de madera en masa son los componentes básicos que hacen posible la construcción de madera más alta. Los productos de la familia de la madera maciza incluyen *madera laminada cruzada (CLT)* (Naturally, 2020) (*Madera laminada cruzada (CLT)*, 2020), *madera laminada con pasadores (DLT)*, *madera laminada encolada (glulam)*, *madera laminada de torones (LSL)*, *madera laminada enchapada*

(LVL), madera de torones paralelos (PSL)) y madera laminada con clavos (NLT). La madera maciza y los productos de madera de ingeniería se pueden utilizar en una variedad de aplicaciones y es la base de los sistemas de construcción de madera más altos". (Naturally, 2020).



Figura 207. Estructura en madera laminada. (Naturally, 2020).

Apoyos

Costa Rica es un país de alta sismicidad, debido a la interacción entre placas, (Semanario Universidad, 2009), por lo cual es importante la protección sísmica de los edificios que se construyen con madera, donde las uniones estructurales cobran especial interés para los diseñadores y constructores. La investigación moderna se orienta hacia modelar edificios con tal flexibilidad que la energía del sismo o del viento se disipe en la estructura debidamente preparada y así se experimente el menor daño en las edificaciones. Nudos, apoyos, ensambles, adquieren mayor importancia como parte de la solución técnica.

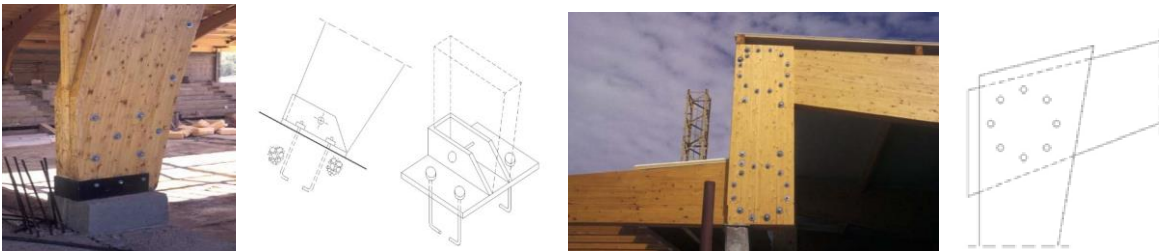


Figura 208. Apoyos y nudos en madera laminada. (Lanname UCR, 2015).

Las uniones en la estructura de madera son importantes, complejas y críticas por lo que es necesario apoyarse en el análisis y calculo estructural para resolverlas. Su objetivo principal es el de dar continuidad a los esfuerzos en la estructura y ofrecer estabilidad

estructural en las uniones entre diferentes elementos. Se clasifican las uniones como de empalme, ensamble y acoplamiento, así como unión de carpintería, mecánica y encoladas.



Figura 209. Estructura en madera laminada. (Naturally, 2020).

En la fabricación de elementos estructurales de madera técnica laminada, se utilizan herramientas mecanizadas operadas por computadora, mediante control numérico de precisión, donde las universidades y laboratorios de materiales han desarrollado el Método de Elementos Finitos que permiten conocer con precisión el comportamiento mecánico de las uniones, ofreciendo productos de mayores prestaciones finales, mayor estabilidad dimensional, mayor variedad en tamaños, proveyendo al mercado de un producto confiable, para el diseño arquitectónico de montaje rápido y limpio, apoyados además por certificados de la materia prima y del producto al cumplir con normas de producción, cosecha, tratamiento, diseño, acabado, postproceso, entre otros.

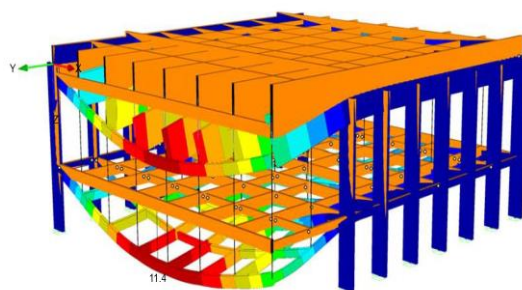


Figura 210. Fabricación en taller de elementos estructurales de madera laminada. (egoing, 2020).

9.3 Análisis Bioclimático

Información general

Este caso de investigación (Auditorio NG) se aplica en las edificaciones existentes y propuestas para educación primaria y secundaria, directamente a un edificio que inicialmente albergara instalaciones deportivas, y cuyo objetivo se destina para ampliar los servicios de educación formal en primaria y secundaria. La estructura existente consiste en un gimnasio techado y una piscina cubierta. Los edificios son en construcción de metal, en estructura principal de tubos de hierro, con forros de lámina de cubierta HG ondulado, con puertas y marcos en perfiles metálicos, construcción típica de la época de mediados de los años 90.

El objetivo

- a. Selección de la base de datos sobre la información bioclimática pertinente del lugar de implementación del conjunto de edificios que conforman el área de enseñanza primaria y secundaria, áreas verdes, de recreación y deporte.
- b. Análisis de la configuración arquitectónica y evaluación de las oportunidades de mejora para la ventilación natural con técnicas pasivas.
- c. Ofrecer recomendaciones pertinentes para el grupo profesional en el manejo de criterios de sostenibilidad en la gestión, diseño, puesta en marcha y fase de operación del proyecto.

La oportunidad

- A partir de la configuración arquitectónica de los edificios existentes realizar el análisis de incidencia del clima local en los edificios para establecer parámetros de mejora para el confort de las personas en la ocupación de los espacios interiores de práctica para el deporte, cultura y formación académica.

La solución

- Recolección de datos bioclimáticos para el proyecto según su ubicación.
- Construcción de cuadros de variables y criterios de manejo para las principales características bioclimáticas.
- Recomendaciones para la propuesta con técnicas pasivas para el confort, reducir el impacto local en el suelo, aire, el agua y el consumo de energía eléctrica.

- Cálculo y análisis de la incidencia del viento y asoleamiento en las edificaciones para los criterios de intercambio del volumen interior de aire, según la normativa vigente.

Resultados esperados

Se espera que la solución propuesta proporcione los siguientes resultados:

Beneficios técnicos

- Análisis del asoleamiento: análisis del comportamiento del sol en el sitio donde se encuentran las estructuras existentes.
- Análisis del viento: análisis del comportamiento del viento en el predio donde se encuentra la estructura. Se deben analizar aspectos como: Velocidad, dirección y temperatura, con el fin de aprovechar el recurso natural en las infraestructuras.
- Análisis de la lluvia: análisis de precipitación, volumen, épocas del año, etc., en el área donde se implantará la infraestructura, con el objetivo de identificar su intensidad y determinar el aprovechamiento y canalización de las aguas pluviales.
- Análisis de la vegetación: análisis de la vegetación existente del predio donde se implantará la infraestructura para aprovechar el recurso natural y dar soluciones sostenibles al PROYECTO de arquitectura.
- Análisis de los materiales: análisis de materiales disponibles, con el fin de recomendar el uso de materiales resistentes a temperaturas máximas y oscilaciones térmicas, que cuenten con un diseño adecuado para el clima de la zona y que aseguren temperaturas de confort.

Desarrollo de la investigación

Datos del sitio

En Finca propiedad del Colegio Nueva Generación, ubicado en San Rafael de Heredia, se encuentra la edificación por evaluar y junto a ella se proyecta el crecimiento para albergar tanto primaria como secundaria.

Ubicación y localización

Provincia:

02 San Rafael de Heredia

Cantón:

01 San Rafael de Heredia

Distrito:

San José

Coordenadas CR05

Lat:10.0128 Lon: - 84.2280

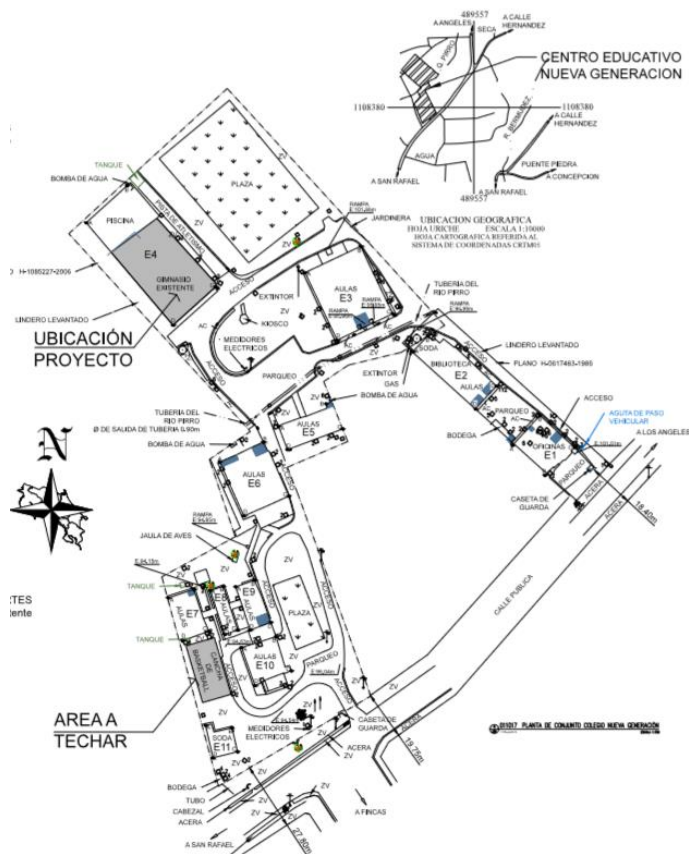


Figura 211. Ubicación en Hoja URICHE 1:10000, Fuente: catastro 2018.

Planta de conjunto



Figura 212. Planta de Conjunto. (Google, 2019). Preparadas por el autor (2019).

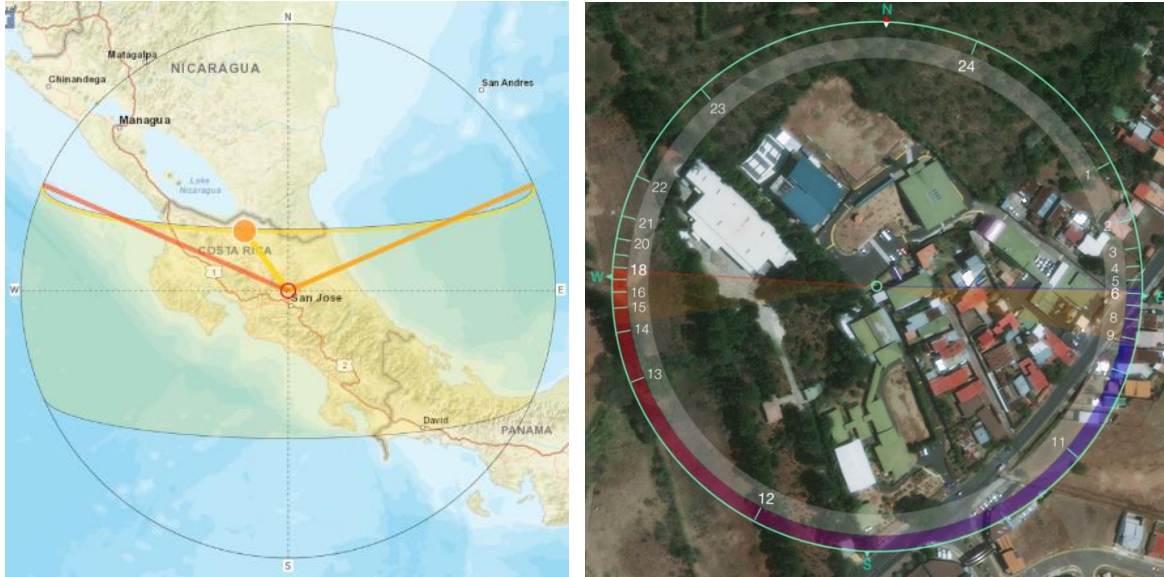


Figura 213. Vista de conjunto de las instalaciones. Realizada por el autor (2019). Con base en datos (Google, 2019).

Edificios en estudio

Para la latitud 10° el recorrido del sol se proyecta hacia el sur durante la mayor parte del año, con lo cual se obtiene mayor asoleamiento sobre estas paredes y las del este y oeste, por lo que se hace necesario realizar el modelado de sombras para determinar la carga térmica y la incidencia del sol.

Para las actividades en el rango horario de 7:00 am a 6:00 pm la orientación hacia el norte, donde la inclinación solar es menor a lo largo del año con respecto al sur, haciendo que esta ubicación sea más fresca. Además, las alturas solares se mantienen cerca de los 90° , facilitando el control solar a las horas de mayor ocupación de los espacios. La orientación este es válida en tanto la incidencia del sol se da con bajo impacto de radiación por ser las horas de menor temperatura a inicio de la mañana.

La orientación hacia noroeste o sur oeste es propicia para espacios de descanso, al complementarse con estrategias pasivas para evitar la ganancia de calor, cuando al no disponerse totalmente hacia el oeste el control solar es manejable al integrar elementos arquitectónicos constructivos de proyección horizontal que bloqueen la incidencia directa a esta ubicación o la ubicación estratégica de árboles con cobertura vegetal amplia.

Planta de conjunto

Los edificios para educación física, deportes y cultura destinada a los estudiantes de secundaria se ubican hacia el fondo de la propiedad conformando un conjunto con otras instalaciones deportivas y de facilidades para la atención y formación de los educandos.

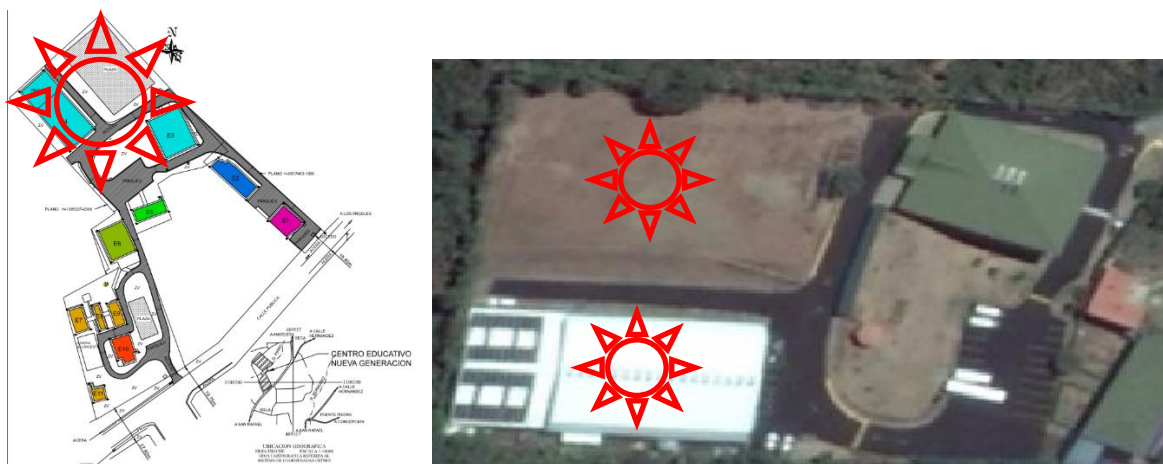


Figura 214. Planta de conjunto. Instalaciones deportivas existentes. Autor: Arq. Marco Cordero, 2019. Ubicación con base en (Google, 2019).

Datos del clima

Existe una estación meteorológica en el Aeropuerto Internacional Juan Santamaría, la cual se encuentra a una distancia de 13.2 km; otra estación meteorológica en la Estación experimental de la Universidad Nacional, en Barva de Heredia, ubicada a una distancia de 6.8 km, otra estación meteorológica se ubica en San José, Barrio Aranjuez, a 10 km y otra estación meteorológica se ubica en Coronado a 11.3 km. Se presentan los datos de estas ubicaciones cercanas.



Figura 215. Estaciones meteorológicas cercanas al sitio de proyecto. (IMN, 2020).

Para fines de este documento, las coordenadas geográficas de San Rafael son latitud: 10,013°, longitud: -84,100°, y elevación: 1.235 m.

La topografía en un radio de 3 kilómetros de San Rafael tiene variaciones muy grandes de altitud, con un cambio máximo de altitud de 413 metros y una altitud promedio sobre el nivel del mar de 1.270 metros. En un radio de 16 kilómetros contiene variaciones muy grandes de altitud (2.177 metros). En un radio de 80 kilómetros también contiene variaciones extremas de altitud (3.489 metros).

El área en un radio de 3 kilómetros de San Rafael está cubierta de pradera (49 %), árboles (33 %) y tierra de cultivo (13 %), en un radio de 16 kilómetros de árboles (44 %) y pradera (42 %) y en un radio de 80 kilómetros de árboles (57 %) y pradera (17 %). según se indica en la fuente Weatherspark (2019). <https://es.weatherspark.com/y/15525/Clima-promedio-en-Heredia-Costa-Rica-durante-todo-el-a%C3%B1o>



Figura 216. Paisaje cercano y lejano en las inmediaciones de la instalación (2019), por el autor.

Incidencia solar

Para conocer el recorrido solar sobre la localización del sitio de proyecto se encuentra información importante en la página de internet http://www.sunrise-and-sunset.com/es/sun/costa-rica/san-rafael_04 ; así como en la página de internet https://salidaypuestadelsol.com/costa_rica/heredia_3980.html para obtener datos preliminares y actualizados. Consultado y revisado en 2018 a 2020.

HEREDIA

02 octubre 2018 martes, noche Hora exacta: 18:03:49

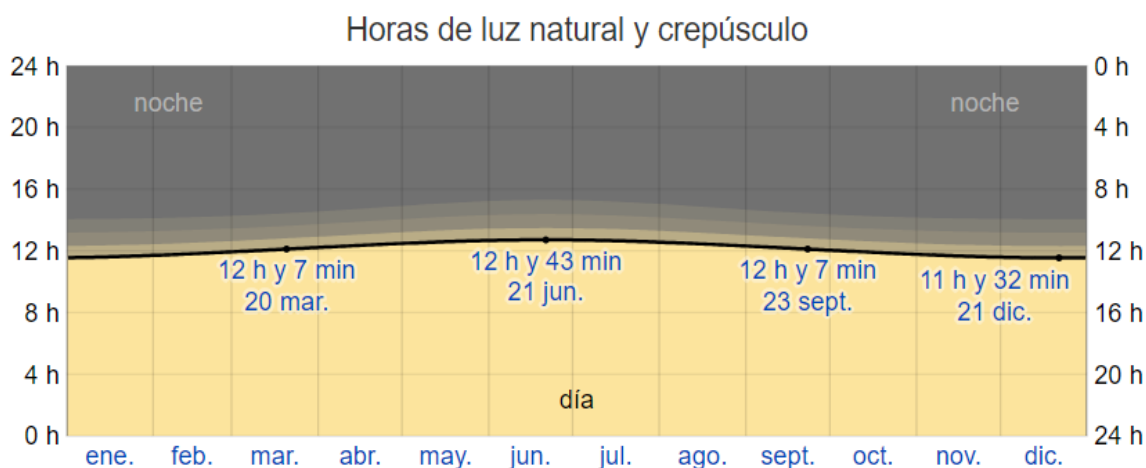
UTC-6, MSK-9 América/Costa Rica Salida del sol: 05:26:11

Puesta del sol: 17:27:49 Clima: +20 °C, lluvia moderada

Presión: 694 mmHg Humedad: 96% Nubosidad: 92%

Velocidad del viento: 0.82 m/s Destino: Norte

La duración del día en San Rafael de Heredia no varía considerablemente durante el año, solamente varía 42 minutos de las 12 horas en todo el año. En 2019, el día más corto es el 21 de diciembre, con 11 horas y 32 minutos de luz natural; el día más largo es el 21 de junio, con 12 horas y 43 minutos de luz natural.

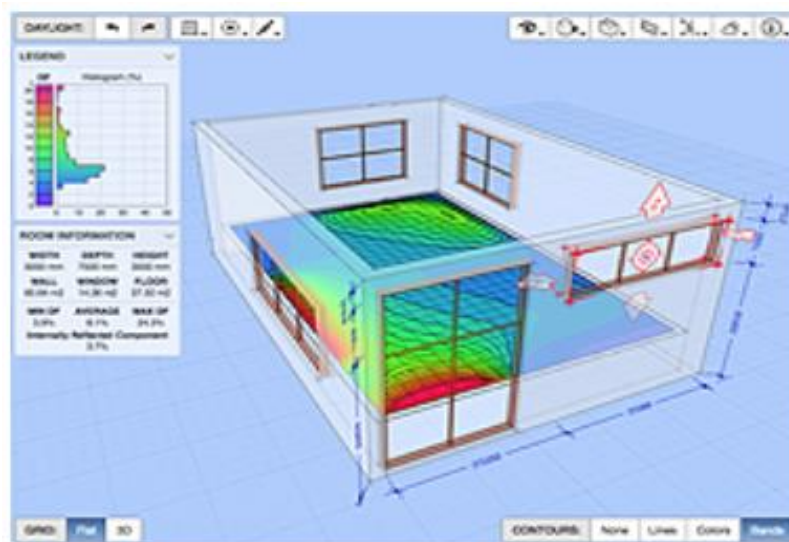


La cantidad de horas durante las cuales el sol está visible (línea negra). De abajo (más amarillo) hacia arriba (más gris), las bandas de color indican: luz natural total, crepúsculo (civil, náutico y astronómico) y noche total.

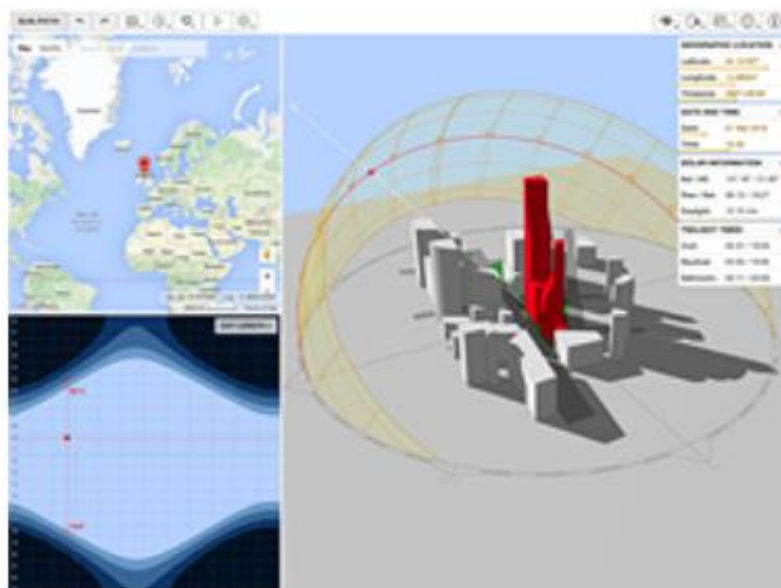


Figura 217. Carta solar Costa Rica, (Weather , 2020).

El análisis solar, sobre recorridos durante el año, se obtienen modelando el edificio y procesando la información en software como por ejemplo Sketchup, Revit, y otros, como el caso de página de internet <http://andrewmarsh.com/software/> en la cual se puede elaborar diagramas en diversas aplicaciones en línea para análisis. (Marsh, 2020).



Dynamic Daylight



3D Sun-Path

Figura 218. Software de análisis solar. (Marsh, 2020).

Con base en el estudio de incidencia solar, se prepara el análisis y estudio de sombras para analizar el comportamiento del edificio propuesto con respecto a su ubicación en el terreno y preparar los detalles arquitectónicos de respuesta bioclimática integral.

Seguidamente se presenta la diagramación y el resultado de análisis de incidencia solar y sombras en la edificación propuesta, para gestionar el diseño bioclimático con soluciones pasivas para mitigar las acciones directas del clima sobre las instalaciones. Elaborado en Sketchup (2019), con ubicación geográfica correspondiente al sitio de implantación.

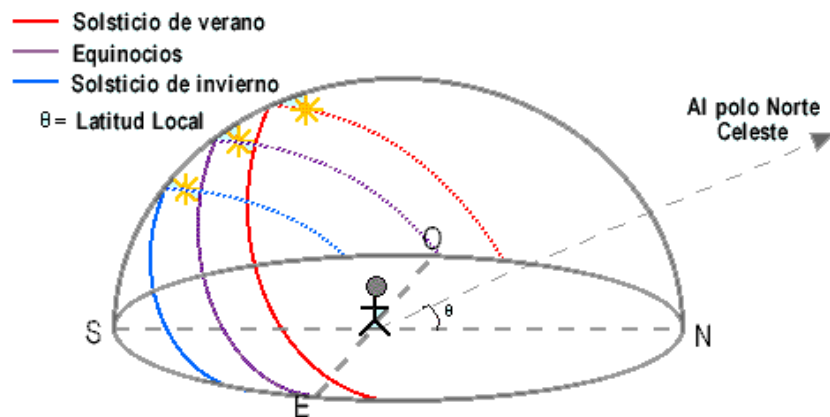


Figura 219. Diagrama del movimiento aparente del sol. (Marsh, 2020)

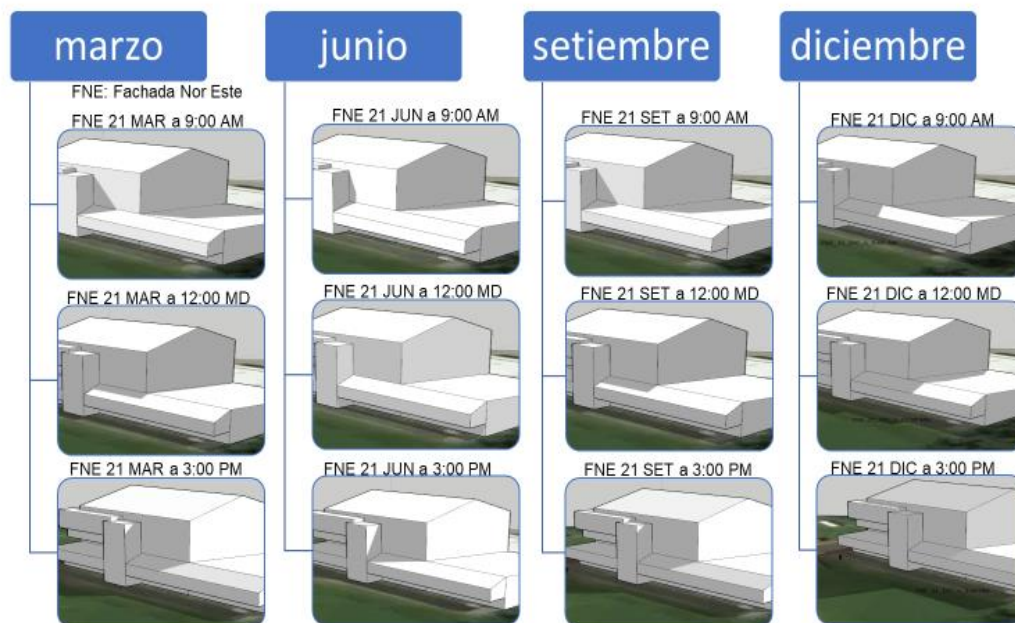
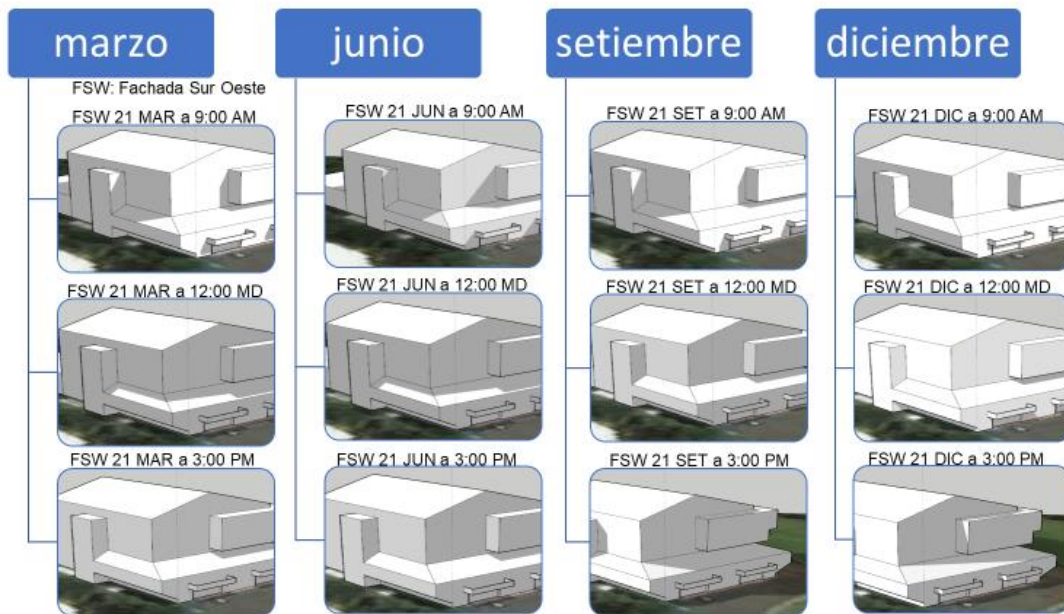


Figura 220. Proyección de Sombras fachada noreste. Fuente: análisis Sketchup 2019.



Proyección de sombras fachada suroeste. Fuente: análisis Sketchup (2019). Autor.

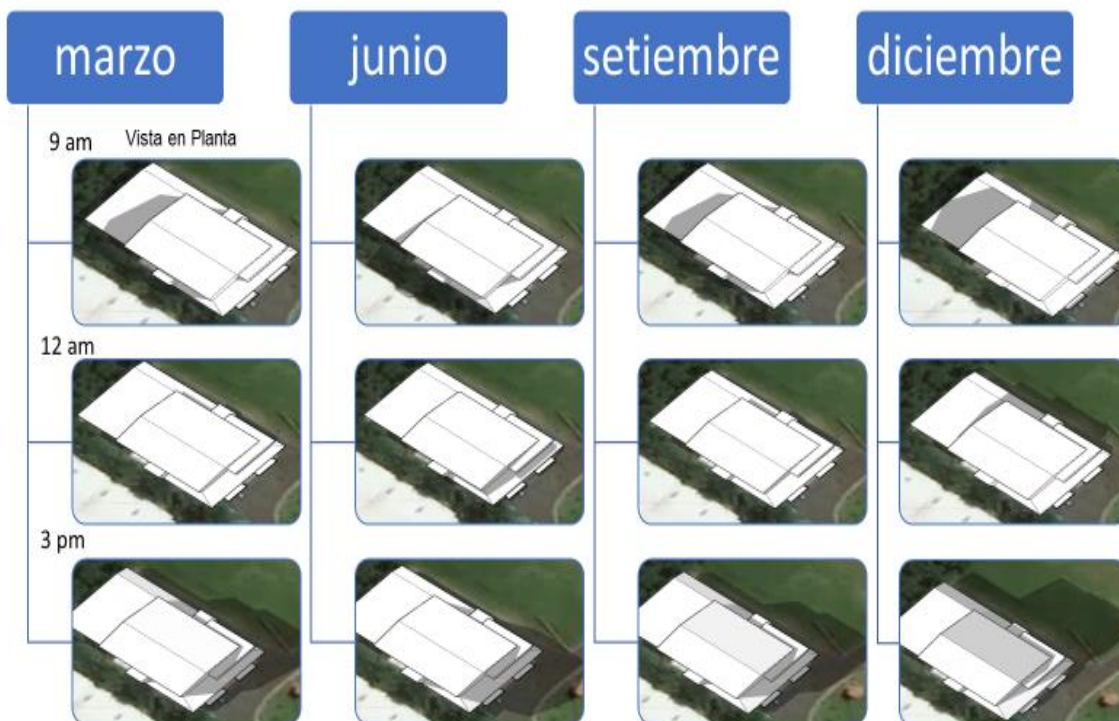


Figura 221. Proyección de sombras, vista superior. Fuente: análisis Sketchup (2019).

Con base en la observación del comportamiento de las sombras, según la incidencia solar en el sitio y sobre el edificio de acuerdo con la orientación que tiene, se logra evidenciar que durante las mañanas el sol incide sobre las fachadas con orientación al este, noreste y sureste, por lo que se debe brindar protección para evitarlo por medio de aleros extendidos, parasoles, vegetación que proporcione sombra u otros elementos que interfieran en la incidencia hacia pisos y paredes interiores, sin que se obstruya la iluminación natural, uno de los elementos que se busca conservar en el diseño bioclimático con soluciones pasivas.

Durante las horas del mediodía la incidencia de los rayos del sol, en perpendicular, recaen principalmente sobre las cubiertas por lo que se debe considerar elementos arquitectónicos constructivos que colaboren en la reducción de la acumulación de calor, preferiblemente reflectantes, de color liso y claro, con incorporación de materiales aislantes, que no observen el calor por radiación y que los techos sean ventilados para que el calor no incida sobre los espacios abajo protegidos. Las paredes con disposición hacia el norte y el sur pueden tener incidencia de los rayos del sol durante las horas del mediodía, por lo que se recomienda su protección.



Figura 222. Instalaciones educativas existentes y propuesta preliminar para Auditorio. Fotografías y Figura preparadas por el autor (2019).

Es recomendable el uso de espacios intermedios que protejan las paredes de los espacios de trabajo en clase, para aumentar la capacidad de obtener el confort interior; se ha propuesto hacer uso de parasoles adosados a las paredes, para proporcionar sombra sobre las paredes.

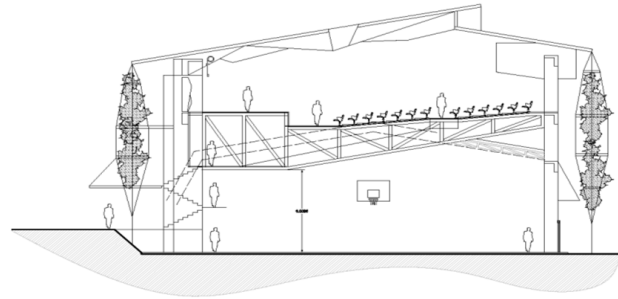


Figura 223. Protección con árboles en patio interno para brindar sombra, ajustar la temperatura y humedad. Fuente: propuesta por el autor (2019).

Protección de fachada este y oeste con adición de parasoles con cobertura vegetal viva, superpuesta a la fachada, separada, no adosada. Lo que permite la producción de sombra y reducción de la velocidad de la brisa a la vez que reduce la temperatura del aire incorporando humedad.

Durante las horas de la tarde, la mayor incidencia de los rayos del sol es sobre las paredes con orientación hacia el sur, sureste y suroeste, por lo que se debe brindar protección similar a la que se propone para la orientación este en las mañanas, y tomar en cuenta que la inclinación menor hacia la horizontal, hace que sea necesario contar con elementos que bloqueen el ingreso de los rayos solares y el calor hacia el interior de los espacios protegidos. Para esto se utiliza adicional la estrategia de integrar árboles altos que interrumpen la incidencia directa del sol sobre el material de las paredes.

Viento predominante

El vector de viento promedio por hora del área, velocidad y dirección a 10 metros sobre el nivel del suelo, depende también de la rugosidad del terreno o su topografía; donde para el área específica del terreno donde se ubican estas edificaciones se debe contemplar la ondulación del mismo y la presencia de una colina más alta en el mismo, al igual se debe contemplar que San Rafael de Heredia se encuentra en las faldas de la Cordillera Volcánica Central, parte agua de las vertientes Atlántico y Pacífico, lo que modifica y modela las corrientes predominantes de los vientos planetarios que afectan a la región y en particular a Costa Rica.

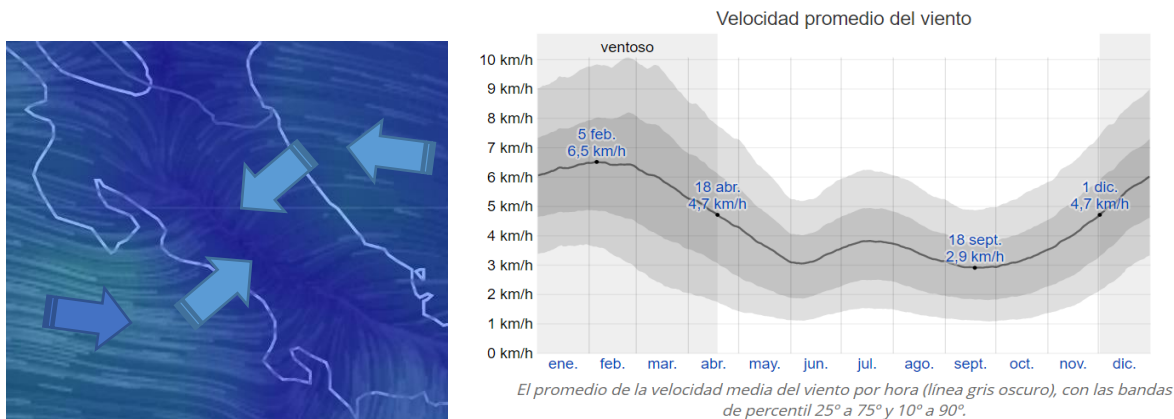
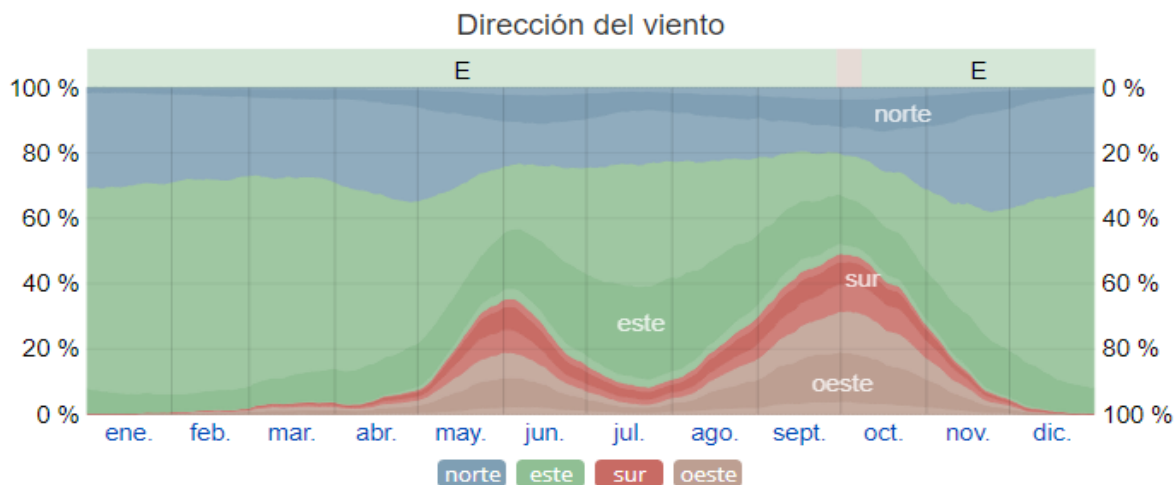


Figura 224. Dirección general del viento continental y mundial sobre Costa Rica. (Mapa tu tiempo, 2020).

La velocidad promedio del viento por hora en San Rafael de Heredia tiene variaciones estacionales leves en el transcurso del año, como se puede apreciar en el gráfico anterior de velocidad del viento. (Weather , 2020).



El porcentaje de horas en las que la dirección media del viento viene de cada uno de los cuatro puntos cardinales, excluidas las horas en que la velocidad media del viento es menos de 1,6 km/h. Las áreas de colores claros en los límites son el porcentaje de horas que pasa en las direcciones intermedias implícitas (noreste, sureste, suroeste y noroeste).

Figura 225. Dirección predominante del viento desde el noreste hacia el sur oeste, con variaciones durante el día al pasar de las horas, debido a la variabilidad de la temperatura, la topografía local inmediata y la cercanía con la Cordillera Central. (Weather , 2020).

El viento con más frecuencia viene del oeste durante 1,3 semanas, del 29 de septiembre al 8 de octubre, con un porcentaje máximo del 32 % en 3 de octubre. El viento con más

frecuencia viene del este durante 12 meses, del 8 de octubre al 29 de septiembre, con un porcentaje máximo del 69 % en 1 de enero.

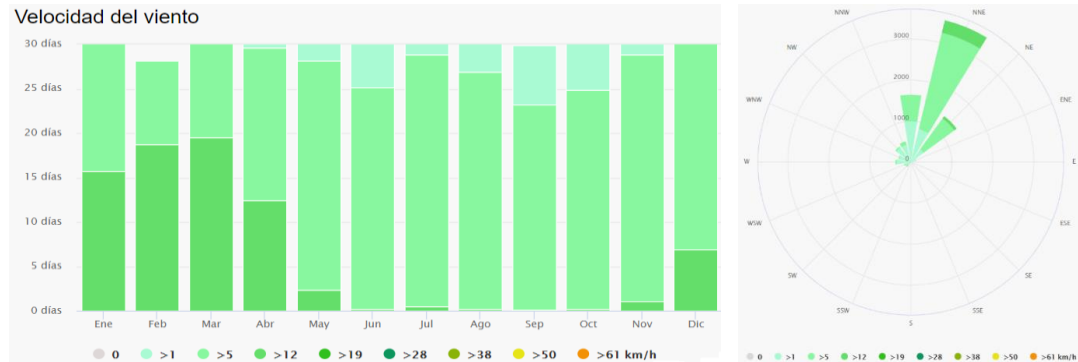
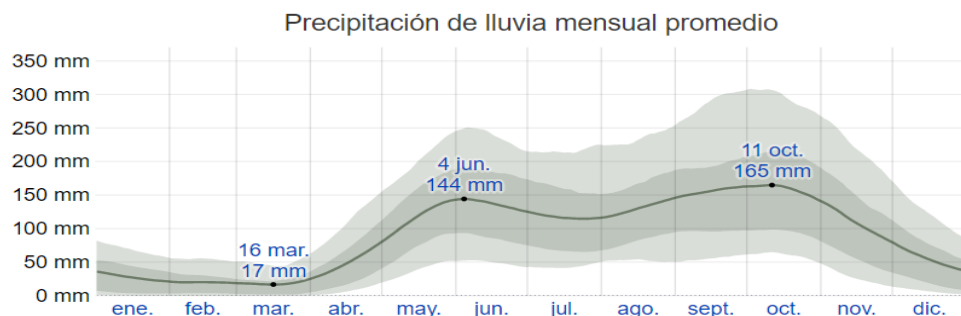


Figura 226. Frecuencia y dirección del viento. (Weather, 2020).

En el modelo mejorado se consideran los datos obtenidos de la investigación sobre el clima, para incorporar elementos de cubierta, envolventes y cerramiento, que protejan a la edificación y brinden a los usuarios confort en el uso de las instalaciones, al permitir la entrada de luz natural y controlar el ingreso del calor hacia el interior del edificio; se debe forzar la ventilación cruzada y renovación inteligente del aire en los espacios de mayor uso con mecanismos pasivos alternativos y manipulables por los usuarios en todo momento.

Precipitación pluvial

En promedio todo el año llueve en San Rafael de Heredia, la mayor cantidad de lluvia cae durante el mes de octubre con acumulación mensual de 166 milímetros. La menor cantidad de lluvia se da en marzo con un promedio total mensual de 17 milímetros.



La lluvia promedio (línea sólida) acumulada en un periodo móvil de 31 días centrado en el día en cuestión, con las bandas de percentiles del 25° al 75° y del 10° al 90°.

El área de San Rafael de Heredia durante la temporada seca se presenta con nubosidad parcial y de temperatura caliente a lo largo del año, y en temporada de lluvia la temperatura

es bochornosa y nublada, con temperaturas que varían desde 18°C donde rara vez baja a menos de 17°C, y sube en promedio hasta 29°C, pero no supera los 31°C. (Weather , 2020).

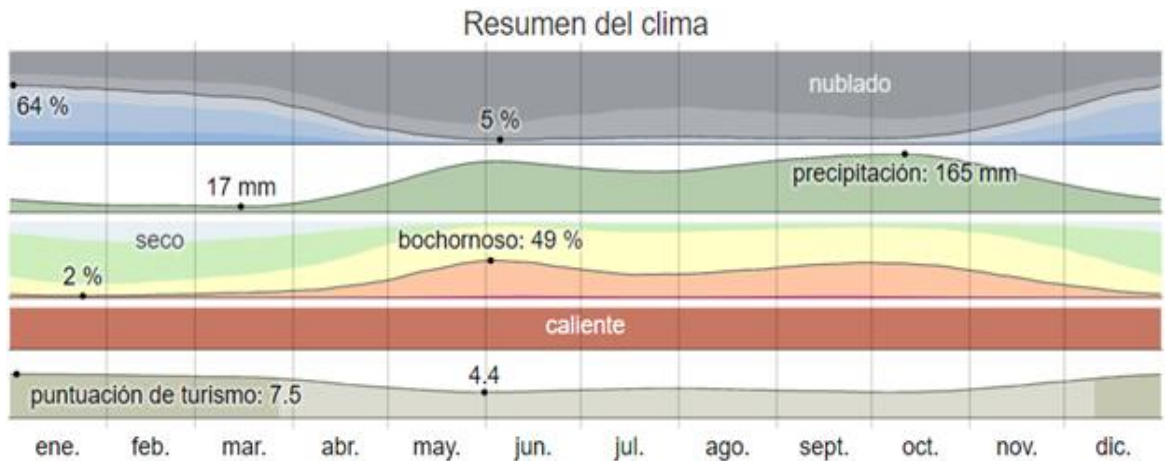
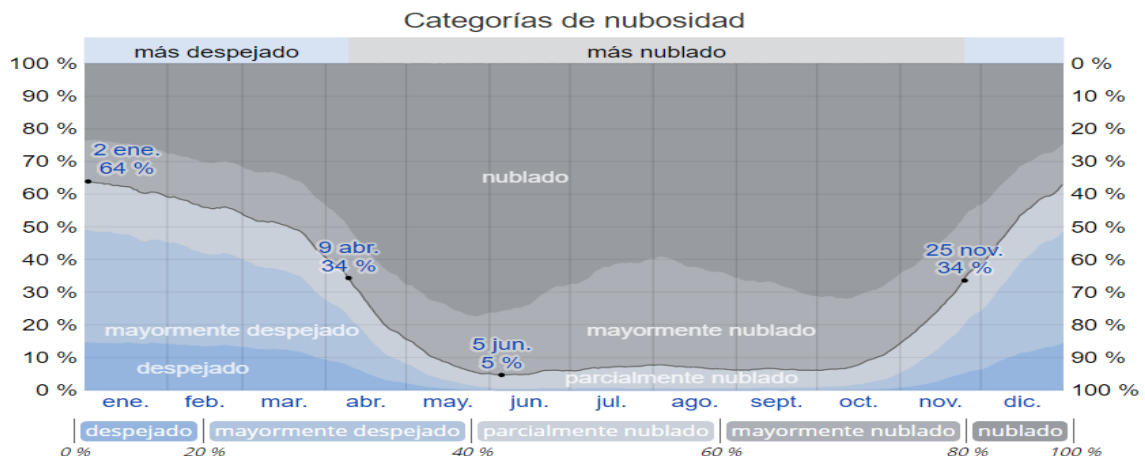


Figura 227. Diagrama resumen del clima 2020, (Weather , 2020).

Nubosidad

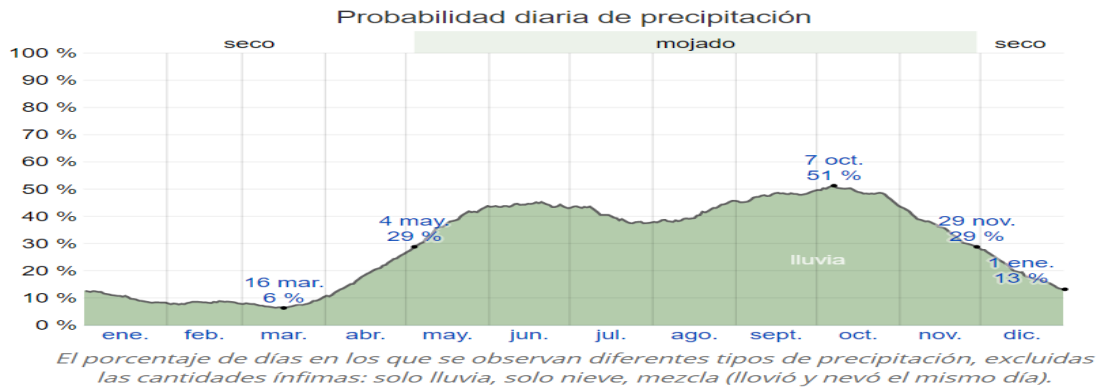
En promedio el cielo se mantiene cubierto de nubes, iniciando la etapa más despejada del año el 24 de noviembre, dura 4.5 meses y finaliza el 9 de abril. El 1 de enero, el día más despejado del año el cielo puede presentarse despejado, mayormente despejado o parcialmente nublado el 64% del tiempo, y nublado o mayormente nublado el 36% del tiempo.



El porcentaje de tiempo pasado en cada banda de cobertura de nubes, categorizado según el porcentaje del cielo cubierto de nubes.

La etapa de mayor presencia de nublados inicia a partir del 9 abril, dura 7.5 meses y se termina aproximadamente el 24 de noviembre. El día más nublado, 5 junio, el cielo se

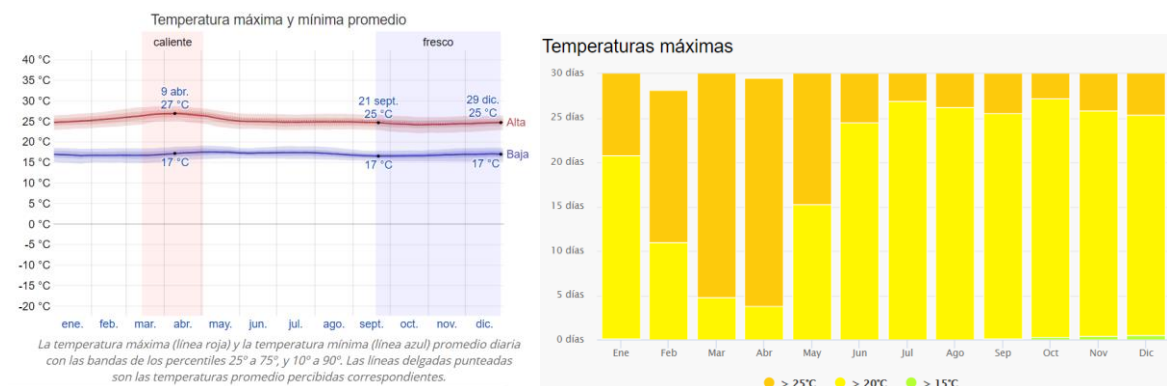
presenta nublado, mayormente nublado el 95% del tiempo y despejado, mayormente despejado o parcialmente nublado el 5% del tiempo. (Weather , 2020).



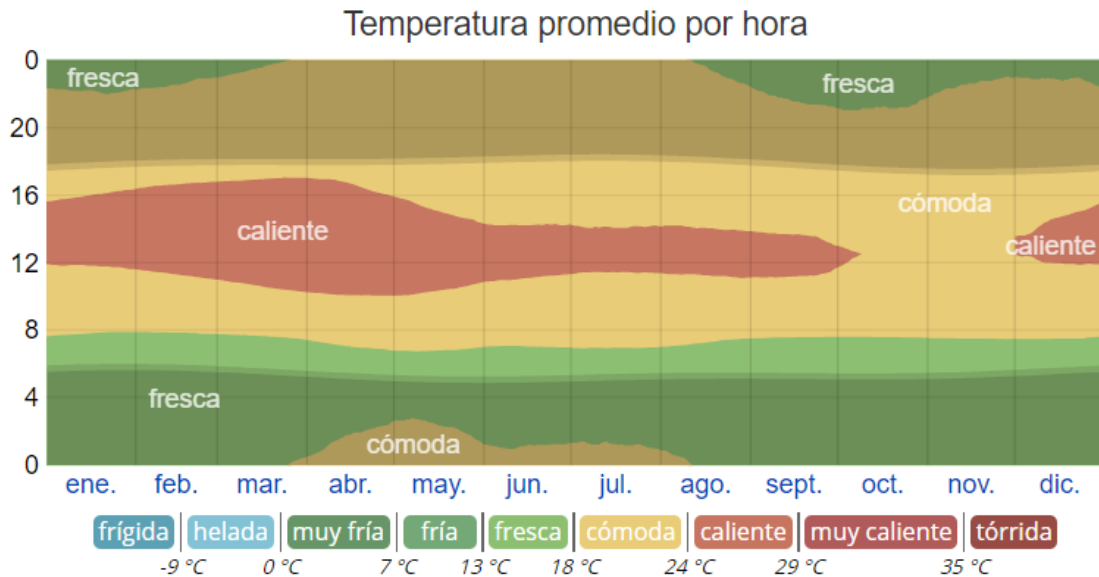
La temporada de lluvia se estima dura 6.8 meses, desde el 4 mayo al 29 noviembre, con probabilidad mayor al 29% de que llueva, con probabilidad de 51% el 7 octubre. La temporada más seca dura aproximadamente 5.4 meses, desde noviembre hasta mayo.

Temperatura

La temperatura promedio diaria es de 26°C en temporada templada, la cual dura 1.6 meses desde el 13 marzo al 2 mayo. La temperatura máxima promedio es de 25°C y mínima de 17°C, para el día más caluroso del año, sea el 9 de abril.



La temperatura máxima promedio diaria es de menos de 27°C en la temporada fresca, que dura 3 meses del 19 setiembre al 30 diciembre. La temperatura mínima promedio es de 17°C y máxima promedio de 25°C. (Weather , 2020).



La temperatura promedio por hora, codificada por colores en bandas. Las áreas sombreadas superpuestas indican la noche y el crepúsculo civil.

La figura anterior muestra la ilustración compacta de las temperaturas promedio por hora de todo el año. El color muestra la temperatura promedio para cada día y hora. (Weather , 2020).

La zona tiene niveles de brillo solar similares a los presentes en zonas más cálidas como la Costa del Pacífico, con rangos desde 7 a 9.5 horas de brillo por día.

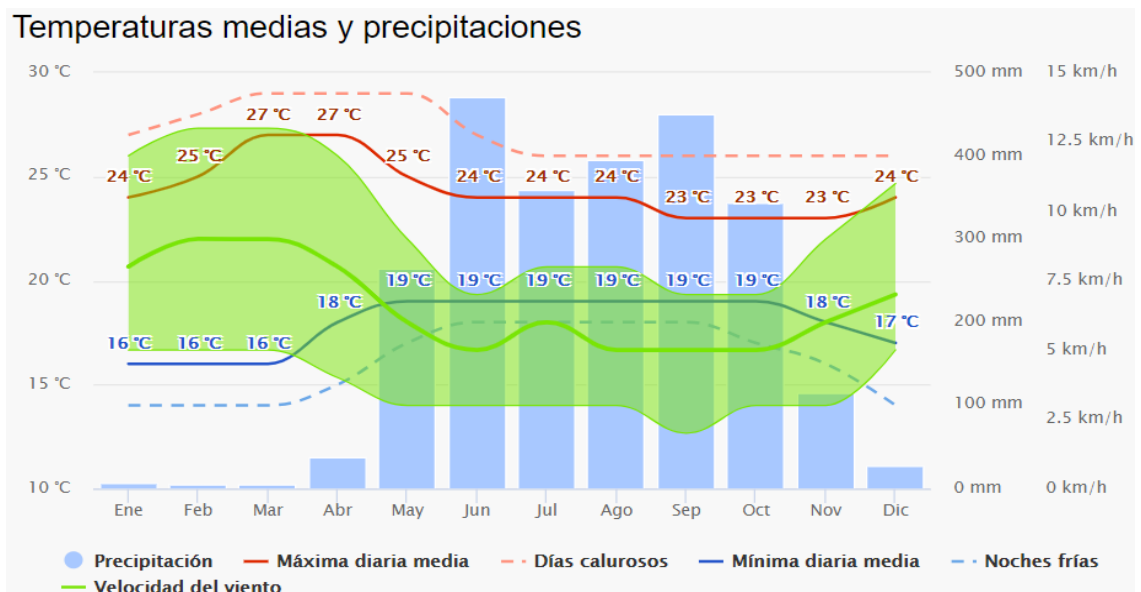


Figura 228. Diagramas de datos meteorológicos. (Meteolube, 2020).

Vegetación

Costa Rica se encuentra en la zona climática tropical con condiciones térmicas similares durante el año, con influencia de las montañas que modifican el tiempo climático local y afectación por el clima monzónico, vientos alisios y efecto del Niño.

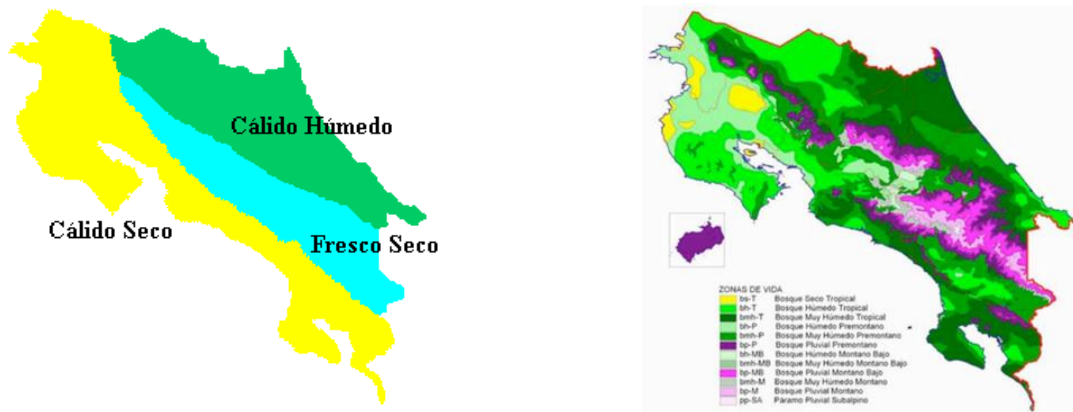


Figura 229. Mapa: tipos de clima en Costa Rica. Recuperado en netmaps.es; 2019.

Mapa: Distribución geográfica de las zonas de vida en Costa Rica. (Salazar, 2011).

Al existir dos estaciones definidas como seca con presencia de los vientos alisios y lluviosa que se extiende desde principio de mayo hasta finales de noviembre, aunado a las características de clima, topografía y localización en América Central, su situación es privilegiada desde el punto de vista ecológico, considerando que alberga el 5% de la biodiversidad del planeta.



Figura 230. Tratamiento vegetal ornamental en el sitio. Fotografías por autor (2019).

Según se establece en la metodología de Holdridge, al ubicarse este conjunto educativo sobre los 1200 msnm, se encuentra en el piso altitudinal Premontano Bosque Húmedo; donde por las condiciones climáticas propias de la zona, el principio fundamental para tener en cuenta es mantener el calor dentro de la envolvente así garantizar un espacio interior confortable para el usuario.



En la cobertura vegetal en la zona central o valle Inter montano y ladera de la cordillera central, donde se ubica San Rafael de Heredia, crecen menos árboles, predomina el bosque en transición entre húmedo y seco, característica del bosque tropical húmedo, con presencia de gramíneas y plantas herbáceas.

El uso de elementos naturales como plantas, árboles y césped contribuyen a mejorar la calidad y el confort de los espacios construidos. Consultado en Guía de diseño bioclimático, UCR. (Porrás, 2013).

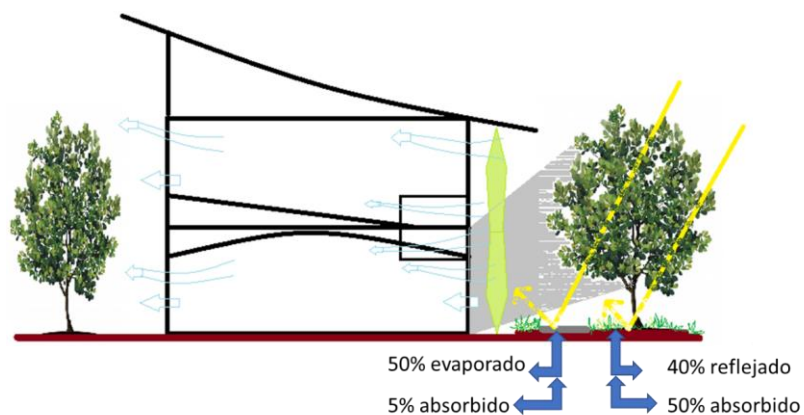


Figura 231. Diagrama evaluación de la conveniencia de colocar vegetación cercana al edificio. Propuesta elaborada por el autor (2019).

En la propiedad donde se encuentra la edificación en estudio, se han desarrollado las áreas verdes de césped y algunos conjuntos de plantas pequeñas y medianas; allí se conservan pocos árboles que proporcionan sombra.

Propiedades de la superficie del suelo y sus implicaciones en el edificio. En las zonas del piso premontano se recomienda rodear el edificio de vegetación, tanto como estrategia de control solar como de enfriamiento del aire y absorción de radiación.

Se debe realizar el plan de rearborización del entorno, para provocar mayor cobertura, así como reducir las áreas de césped con poca sombra; además la plantación estratégica de árboles y arbustos que puedan redireccionar el viento de modo que contribuya a la mejor ventilación de los espacios y aperturas, así como aprovechar la sombra y humedad de baja temperatura que se provoca con la vegetación para mejorar el confort hacia los espacios más cerrados.

Se recomienda colocar barreras vegetales en la orientación este y oeste, principalmente como medida para evitar que el sol acumule calor sobre las paredes y volúmenes del edificio, y así refrescar los espacios de acuerdo con la dirección de los vientos predominantes.

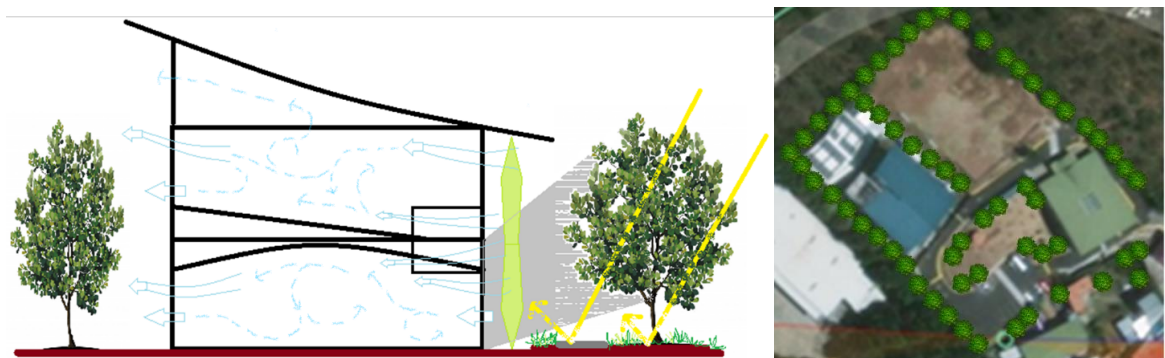


Figura 232. Incorporar vegetación en el diseño. Elaborado por el autor (2019).

Incorporar vegetación en el diseño provoca efectos en el control de la dirección y velocidad del viento de acuerdo con el planteamiento arquitectónico y bioclimático, donde la vegetación colabora a obstruir o desviar el paso del viento, encausando este dentro del volumen cuando así sea necesario, para corregir o aumentar la cantidad de aire deseado y obtener una apropiada ventilación cruzada.

La aplicación de vegetación permite obtener sombra, filtrar el polvo que viaja con el viento, sirve de pantalla al viento y favorece la ventilación cruzada al canalizar las corrientes de aire, limpia la atmósfera y proporciona humedad al aire, por lo que sirve como controlador de la temperatura, parte importante de las estrategias bioclimáticas del proyecto.

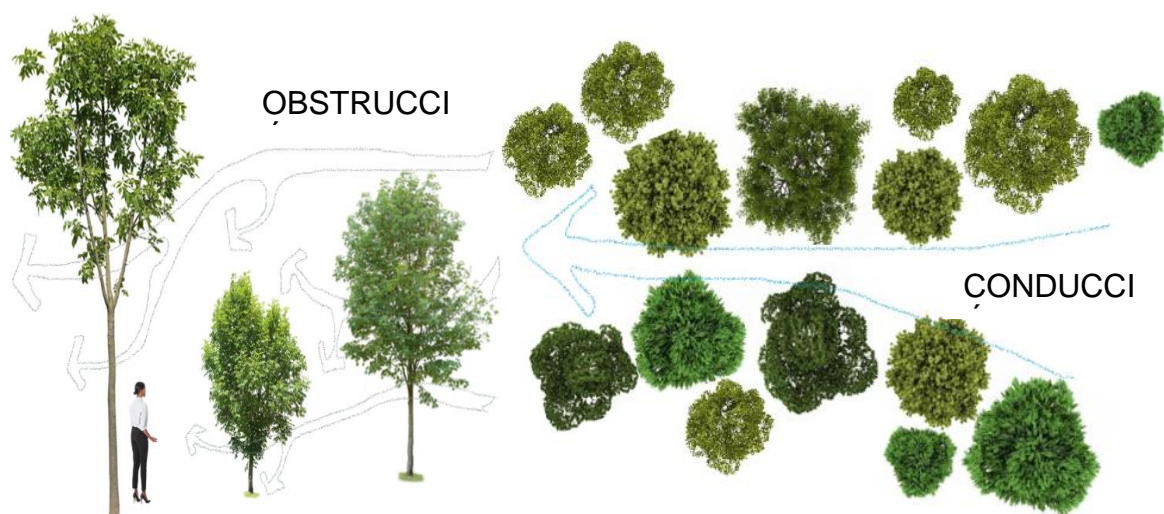


Figura 233. Moderación del viento con vegetación. Elaborado por el autor (2019).

De preferencia utilizar especies de plantas locales, resistentes a la radiación solar y de bajo mantenimiento, con alta reflexión de la radiación que permitan reducir las variaciones térmicas entre los extremos del clima local por lluvia o por exceso de sol.

Además de sombra, aportes de humedad por evotranspiración, sonido del follaje y otros, la arborización del paisaje reduce considerablemente la contaminación en áreas urbanas hasta en un 90%, con lo cual se obtiene un mejor ambiente cercano a las instalaciones.

Con la incorporación de vegetación además se logra mejorar el ambiente del conjunto educativo, a la vez que se reduce el deslumbramiento por reflejos indeseados de la luz solar que incide sobre materiales de las edificaciones y pavimentos o los vehículos que transitan por el lugar.

Materiales

En el conjunto de edificios que conforman el centro educativo, se encuentra mayoritariamente el uso de materiales de construcción típicos y aplicación de bloques de

concreto en acabado de concreto expuesto, en estructura principal, y cerramientos, con acabado de pintura en elementos estructurales como acento de color, además la cubierta se ha construido de hierro laminado instalado sobre estructura de acero laminado, tipo cerchas, con aleros y cielos en laminados de concreto.



Figura 234. Construcción de estructura metálica y envolventes de mampostería, que brinda a los espacios facilidad para la ventilación e iluminación natural, con elementos de control sobre el asoleamiento directo, facilita el paso del aire a través de ventanas y puertas, y otras aperturas superiores. Fotografías realizadas por el autor (2019).

Dadas las condiciones climáticas de la zona, el techo o cubierta, es definitivamente la que mayor cantidad de radiación solar recibe con respecto de las paredes, por lo que su configuración debe obedecer a los altos niveles de radiación, humedad y precipitación, y debe construirse como un elemento que responda efectivamente a dichas condiciones. Varias direcciones de pendiente proporcionan mayor cantidad de sombra en el edificio y permite que de la totalidad del área de techo la incidencia solar afecte de forma parcial, lo que resulta en menor ganancia de calor en la cubierta o techo, y por ende menor calor hacia los espacios inferiores.

Con base en observación de otras edificaciones dentro y fuera de la propiedad, la configuración más utilizada es de dos a cuatro aguas, simétricas entre sí, reduciendo el área de incidencia solar durante el ciclo solar anual a la mitad o menos del área. Por lo que construir aperturas en el techo colabora a refrescar el entre cielo y fomentar el movimiento interno del aire, con salidas para el aire caliente y entradas para el aire fresco de los vientos predominantes.

El uso de aleros extendidos, pérgolas, terrazas cubiertas, pasos peatonales con techos, reducen las ganancias solares y evitan el calentamiento de las paredes, lo que resulta en menos calor en los espacios internos y de transición interior exterior.

Cálculo de ventilación

Los edificios existentes destinados para impartir lecciones consisten en estructuras de mampostería, con cubierta de hierro galvanizado a dos y cuatro aguas; las paredes internas y externas igualmente son de mampostería expuesta, con puertas y ventanas que permiten el acceso controlado del viento y entrada de iluminación natural; no cuenta con suficiente protección de parasoles o aleros extendidos, ni monitor superior para la ventilación de la cubierta e iluminación cenital.

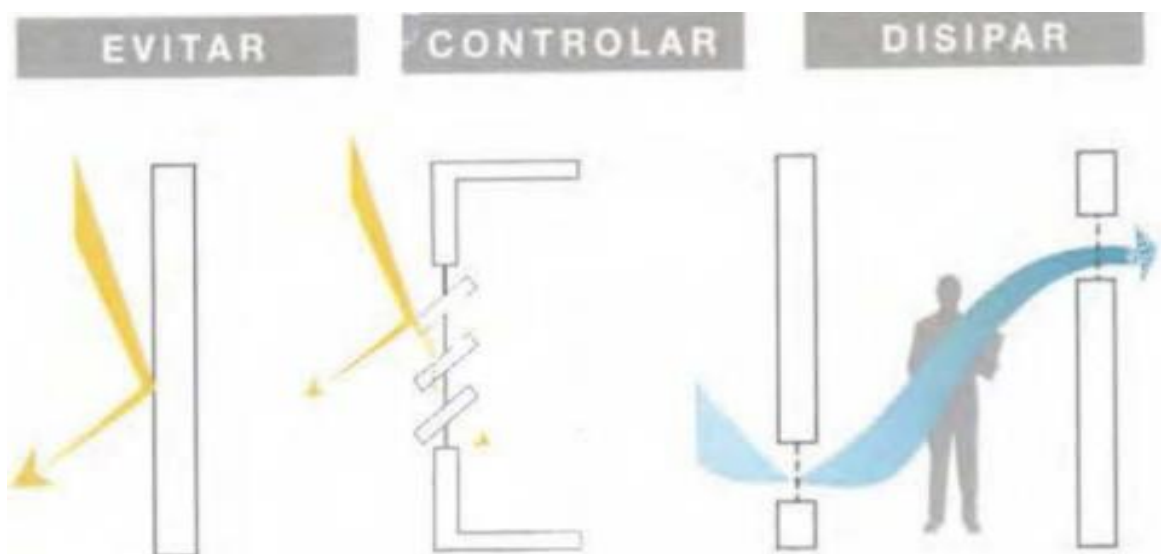


Figura 235. Control de la incidencia del sol y viento

La zona de confort para esta zona establece un límite superior que se encuentra entre los 21°C y los 25°C de temperatura bulbo seco y humedad entre 59% a 78% y un límite inferior que va de los 22.3°C a los 27.5°C y de 18% a 23% respectivamente. La zona tiene menor altitud e influencia de los vientos del sur oeste por lo que predominan temperaturas cálidas.

Existen diferencias significativas entre los meses de época seca y los de estación lluviosa, las bajas temperaturas se encuentran dentro de parámetros de confort, pero son desplazadas hacia arriba debido a los altos porcentajes de humedad que le acompañan.

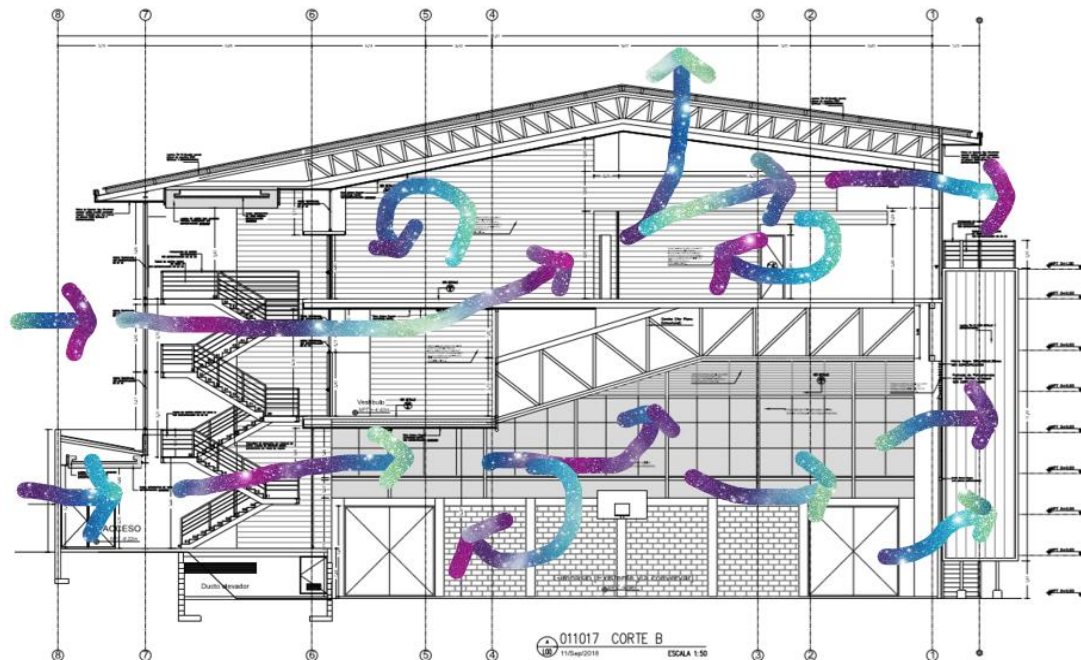


Figura 236. La ventilación natural es la estrategia más efectiva para cubrir gran parte de las temperaturas mínimas y medias a lo largo del año. Cuando existen temperatura y humedad altas, las estrategias pasivas son poco efectivas por lo que hay que reforzarlas con dispositivos de sombreado al edificio, parasoles, vegetación de protección solar que eviten el sobrecalentamiento de los espacios interiores; estrategias de masa térmica y enfriamiento por evaporación indirecta colaboran para lograr el confort.

La configuración arquitectónica del espacio interior habitable se determina con base en las relaciones con las características del clima local por los aportes de radiación, exposición al viento, y las superficies de intercambio térmico entre la edificación y el medio circundante.

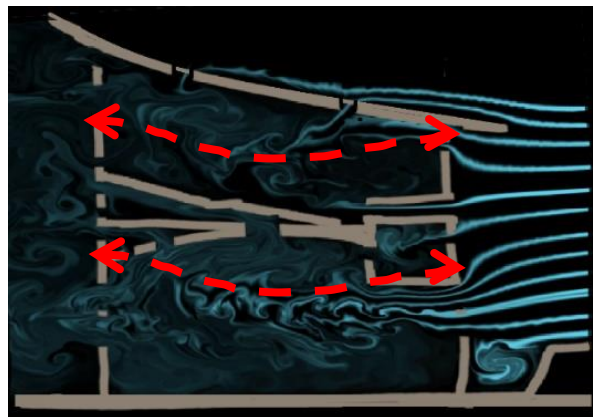


Figura 237. Modelo de respuesta a la ventilación cruzada. Modelado por el autor (2019).

Al aumentar el volumen de espacio interior, se calienta menos, concentrándose el aire caliente en la parte superior, cercana al cielo raso y cubierta, por tanto, alejándose de los usuarios, por lo que para el área del proyecto se recomienda una altura mínima de piso a cielo para 6 metros y mejora al aumentar esta, como estrategia para reducir la sensación térmica del calor.

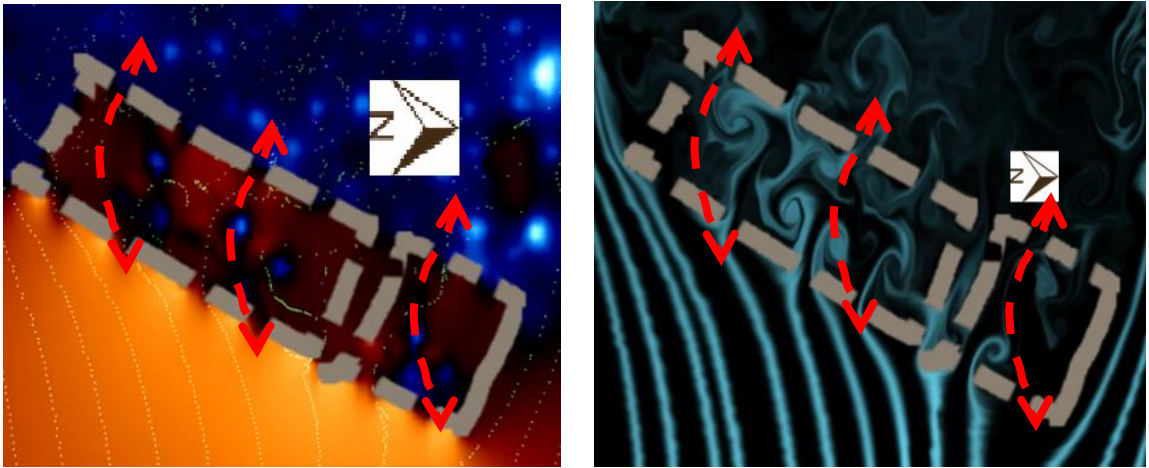


Figura 238. Vista en planta, modelo bioclimático, ventilación cruzada, elaborado por el autor (2019).

Para la localidad de San Rafael de Heredia, se recomienda que las paredes largas se orienten hacia el este y el oeste, con protección contra la radiación, parasoles y vegetación principalmente como alternativas, la construcción no debe ser masiva y las cubiertas brindar protección contra lluvia, sol y viento. Las divisiones internas, no deben obstruir el paso del viento ni obstruir la ruta para la ventilación cruzada, por lo que se debe controlar la ventilación individual de los espacios y mantener temperatura más constante y agradable.

Modelo

Se promueven soluciones de ventilación cruzada para el conjunto y las aulas, donde los espacios abiertos de patio interior provocan efecto de chimenea para la renovación del aire y la velocidad del viento. Además, los corredores exteriores sombreados por arboledas provocan cambios de presión que incorporan velocidad al viento para mejorar la ventilación entre pasillos y entre edificios, para mantener fresco y ventilado tanto los espacios exteriores, semi privados de trabajo y circulación, así como las aulas y sus espacios interiores.

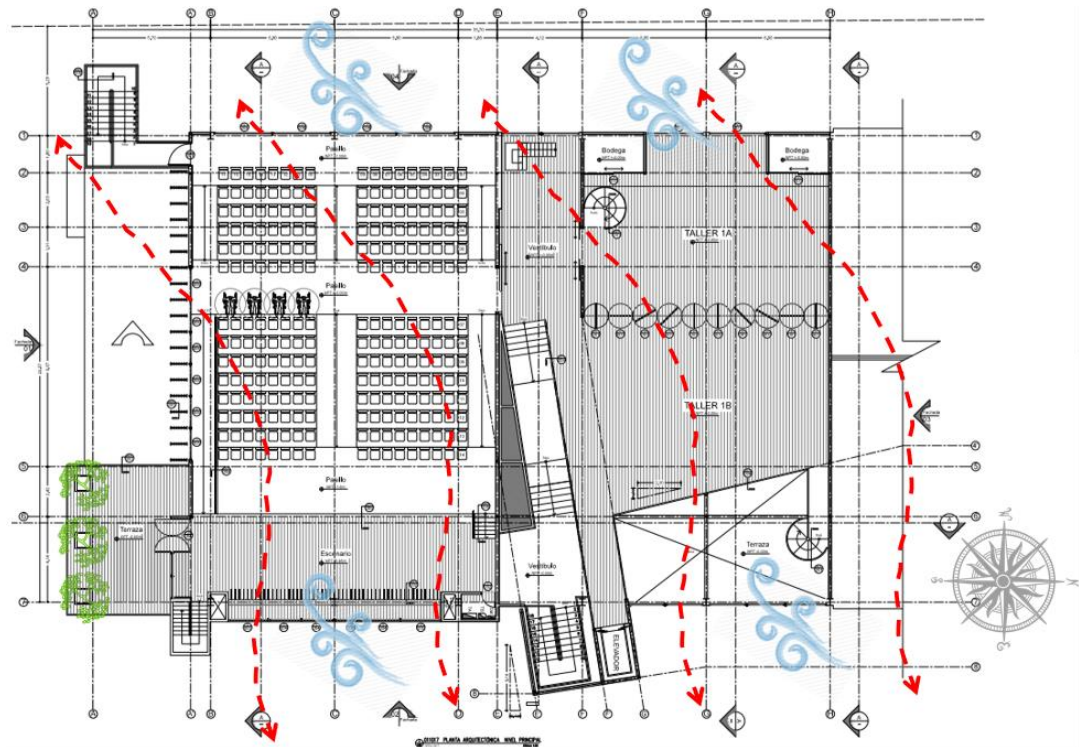
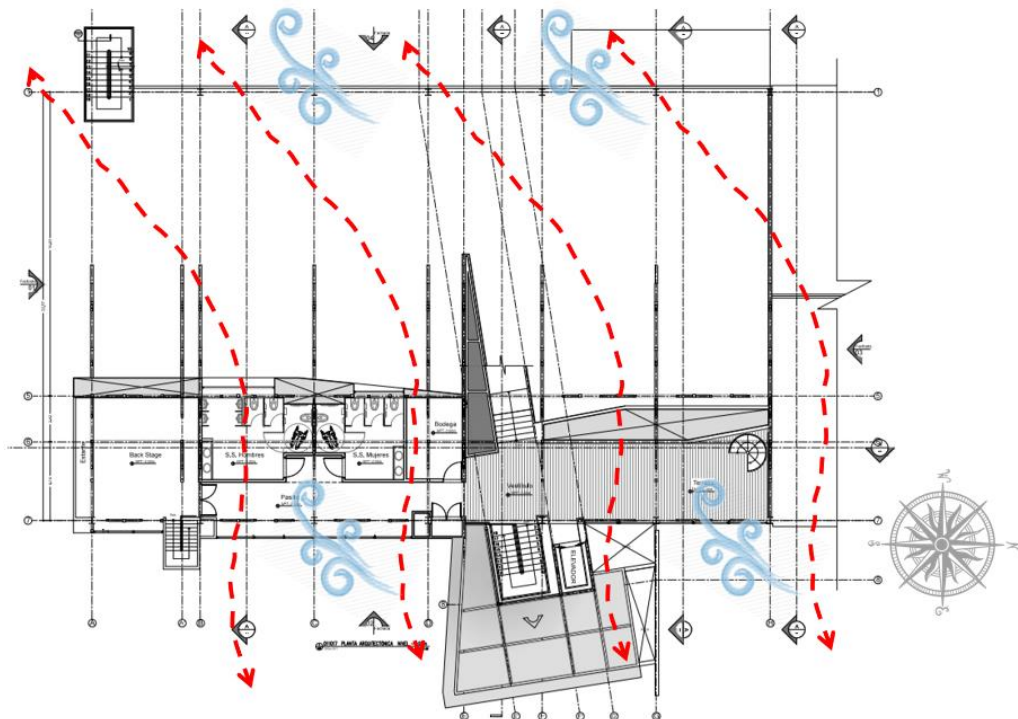


Figura 239. Planta de distribución arquitectónica, desarrollada por el autor (2019).



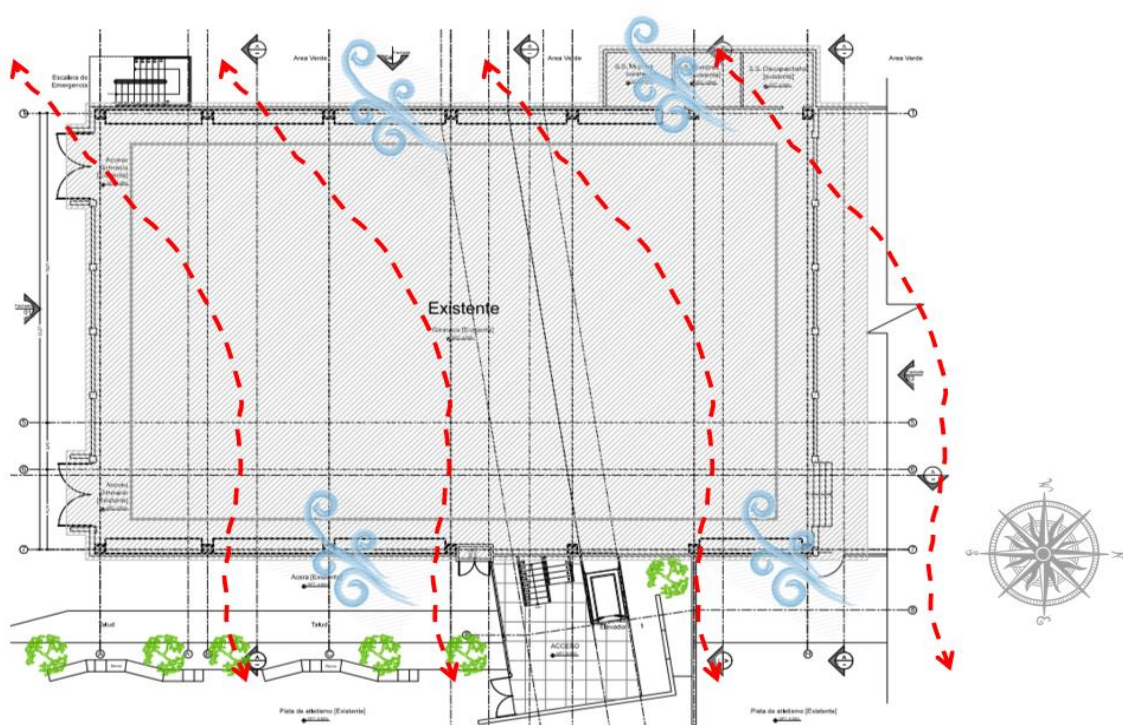


Figura 240. Plantas de distribución, se señalan las rutas de paso del viento predominante. Elaborado por el autor (2019).

Propuesta de mejora

Ventilación convectiva pasiva: permite la renovación total de la masa de aire del interior, sin perder la temperatura interior. El proceso se obtiene cuando el aire caliente asciende, es reemplazado por aire más frío y fresco proveniente del exterior, su operación se produce con base en diferencias de temperatura. Se induce la entrada de aire fresco desde el exterior.

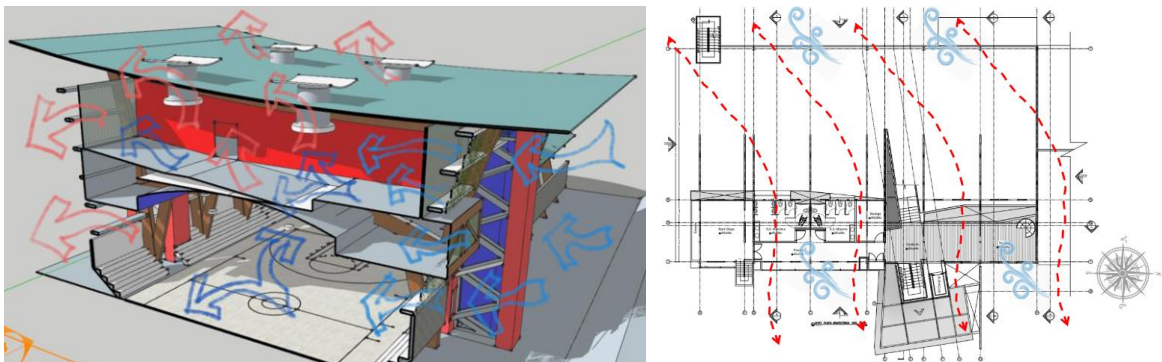


Figura 241. Sección arquitectónica propuesta, Gimnasio y Auditorio. Elaborado por el autor (2019).

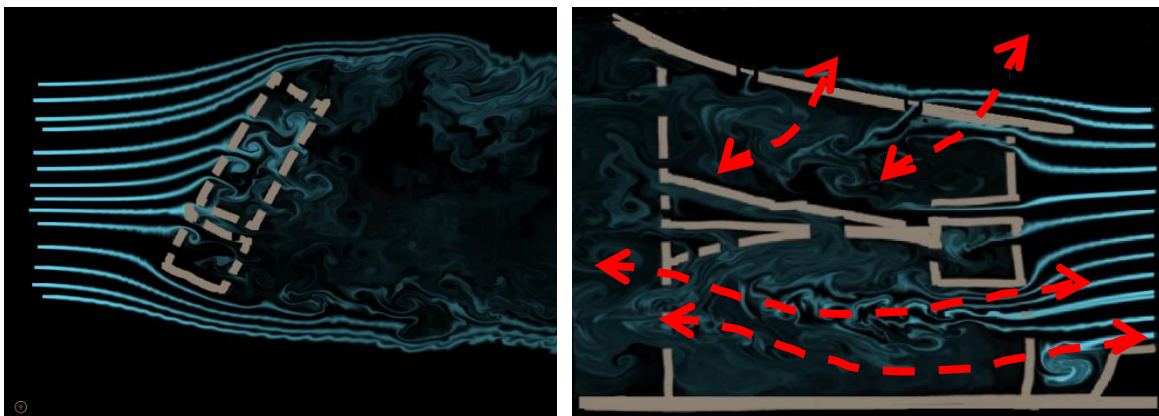


Figura 242. Análisis bioclimático, propuesta ventilación cruzada y monitor de techo. Preparado por el autor (2019).

La propuesta consiste en la adición de monitor central sobre la parte alta de la cubierta, coincide con el cuerpo central del Auditorio; con esto se obtiene el efecto de chimenea, por el cual el aire caliente sube y tiene salida al exterior, donde es barrido por la circulación natural del viento, lo que provoca renovar el aire interior de los salones de clase y aumentar el confort interior.

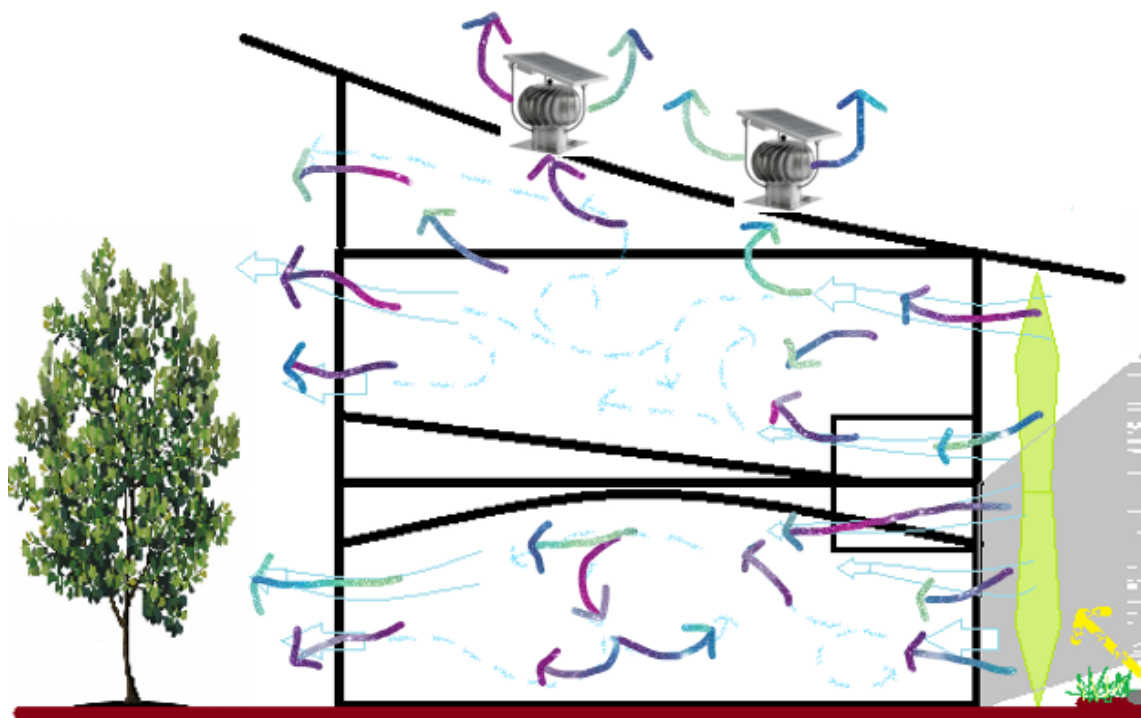


Figura 243. Sección arquitectónica propuesta, gimnasio y Auditorio, por autor (2019).

Para provocar mayor ventilación del entretecho, refrescar la cubierta, el espacio de entretecho y estimula la corriente de aire desde el interior hacia el exterior, para permitir la ventilación pasiva y la ventilación cruzada, al renovar el volumen de aire interior.



Figura 244. Detalle monitor propuesto sobre la sección más alta de la cubierta. Elaborado por el autor (2019).

El efecto que provoca el uso de monitor central es de interacción de presiones positivas y negativas provocadas por el paso del viento, el cual permite el desplazamiento de aire caliente del interior hacia el exterior y a la vez permite el ingreso de aire fresco que renueva la atmósfera interior de los salones y pasillos.

Ventanas

Las aperturas propias de las ventanas se utilizan primordialmente para dar entrada a la luz del día; sobre estas aperturas se debe considerar que las mismas deben tener entre el 40% y 80% del área de las paredes envolventes verticales y requieren contar con estrategias de protección solar que regule o impida la entrada del sol directo sobre los espacios internos, para evitar el sobrecalentamiento del aire y de los materiales de la edificación. Se recomienda el uso de parasoles, extensión adicional de aleros o volúmenes salientes que ofrezcan sombreado. Los materiales de estos elementos no deben acumular calor.

Indican los constructores de ventanas que según sea la configuración de estas, así se puede obtener mayor o menor fluidez del aire a través de las aberturas, lo cual debe ser considerado en el diseño, según sea la necesidad de controlar el ingreso del aire y viento al interior de los salones, por lo que es recomendable revisar el dimensionamiento y

composición de las ventanas para maximizar el efecto deseado en cuanto a ventilación e iluminación natural.

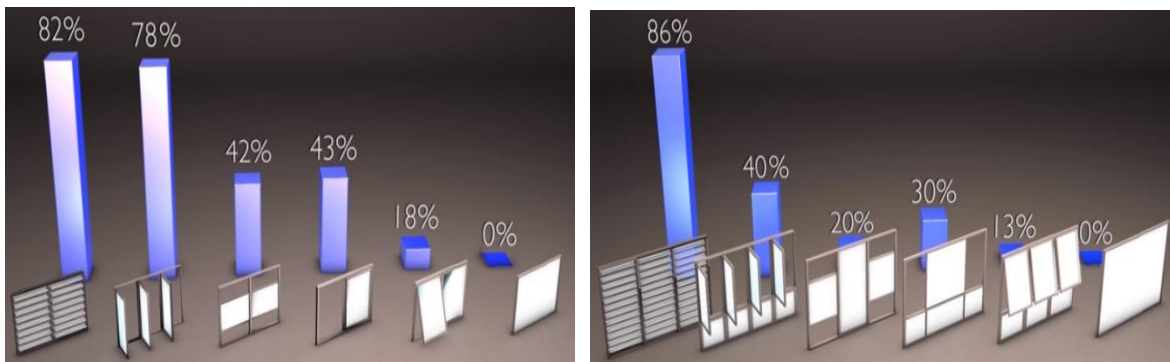
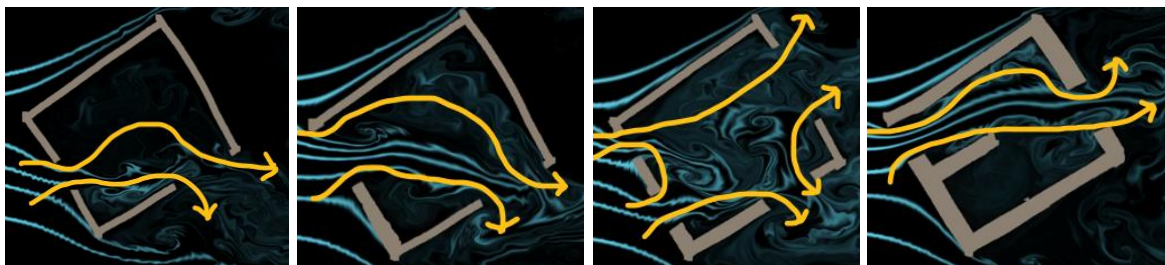


Figura 245. Porcentaje de ventilación según diferentes tipos de partición en ventanas. Consultado en <http://breezwayhq.com/>, consultado en 2019.

Además, es necesario evaluar la consideración de la disposición de las ventanas u otras aberturas para establecer el correcto flujo del aire, de manera que se establezca el mejor aprovechamiento de la ventilación natural cruzada, un elemento probado en las técnicas pasivas para lograr el confort en espacios interiores.



Dirección desviada del viento	Salida más grande que la entrada	Posición de la ventana perturba el aire	Paredes lejos de la ventana
-------------------------------	----------------------------------	---	-----------------------------

Figura 246. La ubicación de las ventanas no directamente opuestas provoca la mejor distribución del aire ventilando el área, refrescando con aire de mejor calidad. (Building, 2020).

Se debe medir la velocidad del viento que ingresa para que no provoque remolinos que pueden botar equipos y materiales de uso regular en un salón de clase o provocar

distracción del alumnado, lo cual además puede provocar la necesidad de reducir la apertura de ventanas y puertas, minimizando las posibilidades de contar con ventilación natural cruzada, un efecto que se quiere mantener y utilizar en todo momento para lograr el efecto de confort.

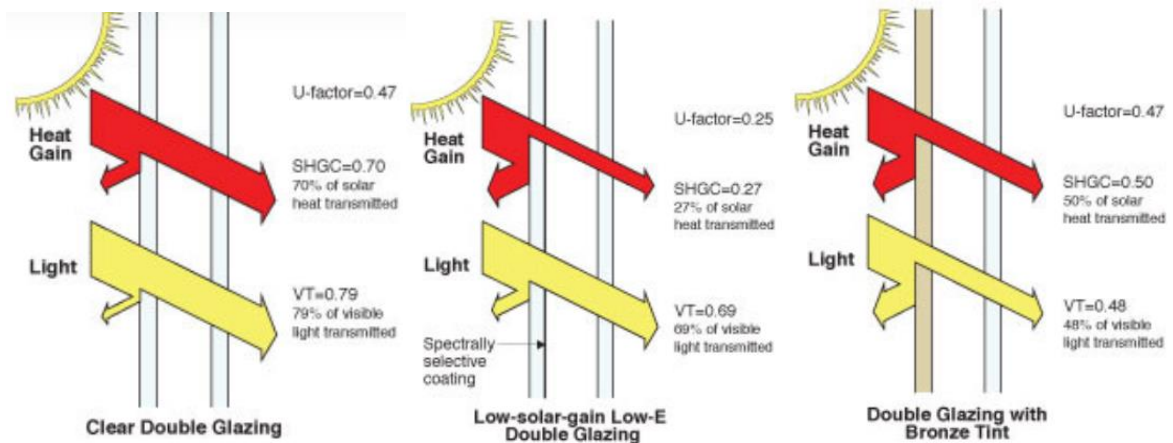


Figura 247. Ensemble de vidrio en ventanas para la protección solar. (Ventanas eficientes, 2020).

Las ventanas con vidrio y aperturas en las paredes son los puntos débiles en los edificios para el control del calentamiento interior, por constituirse en potenciales entradas para la radiación directa, por lo que deben evitarse, y para lo cual se motiva el uso y aplicación de estrategias pasivas de control bioclimático, como son entre otros los aleros extendidos, pérgolas, corredores cubiertos, vegetación, parasoles tomando en cuenta que la posición, distribución y dimensión de los elementos verticales y horizontales deben apoyar las soluciones que respondan a un cálculo previo de sombras y retiros como medidas para el control del brillo y el calor principalmente luego de las 9:00 am y hasta las 3:30 pm según sea la orientación del edificio, paredes, ventanas u otras aperturas a controlar.

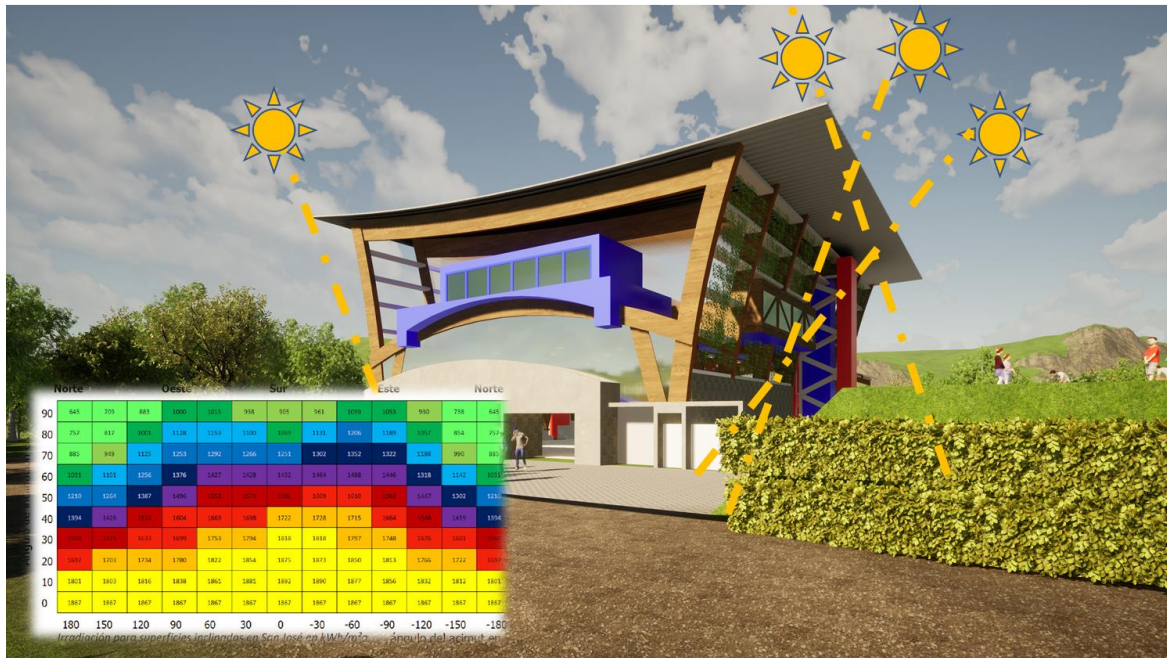


Figura 248. Protección de incidencia solar en fachadas. Elaborado por el autor (2019). (Abarzúa, 2013).

La cubierta de techo

Especial cuidado se debe considerar en el diseño construcción de la cubierta de techo, para que no se conviertan en elementos que distorsionan el confort al interior de los espacios de trabajo y estancia prolongada.

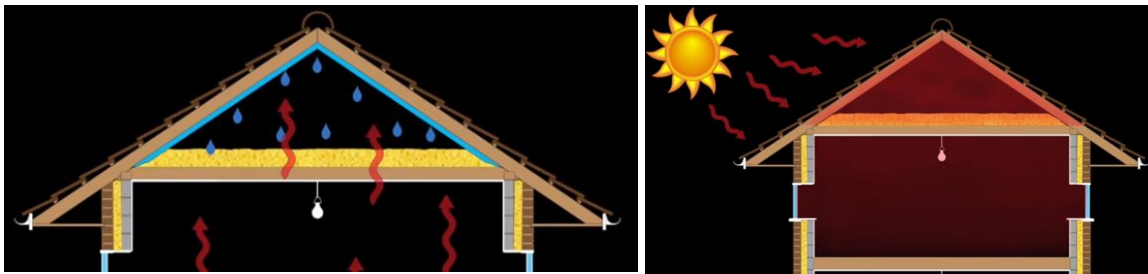


Figura 249. Un entre cielo cerrado. Sin ventilación, provoca acumular el calor y la condensación sobre este espacio daña el acabado del cielo raso, además de que traslada el calor acumulado en el techo y entre techo hacia el espacio interior que cubre. Consultado en Roof Vents & Loft Ventilation Techniques. 2019.

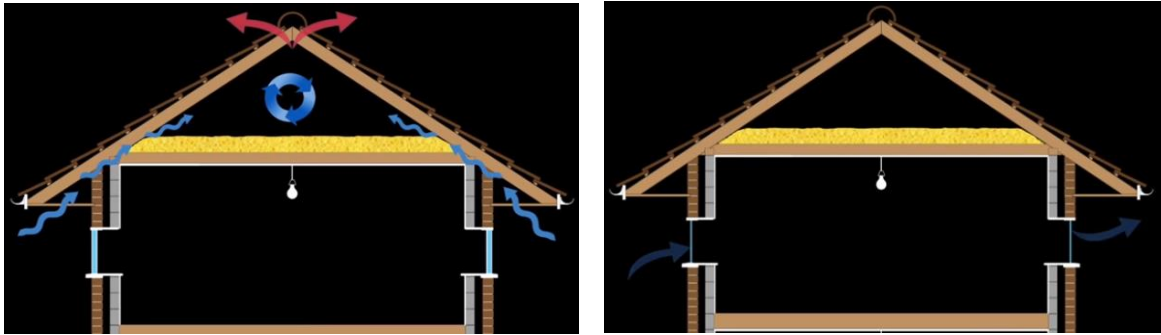


Figura 250. Es necesario provocar ventilación al interior del cielo raso, desde el exterior y con salida en la cumbrera para evitar la acumulación de calor y humedad en el entre cielo. Así se puede además utilizar la ventilación cruzada en la habitación, sin cargar estas con el calor y humedad que se podría acumular en el entre cielo. Consultado en Roof Vents & Loft Ventilation Techniques. (Eco home essentials, 2020).

El aire circulando constantemente a través de la cubierta, si bien no logra enfriar el entre cielo, sí logra mantener un flujo constante para evitar la transmisión térmica hacia los espacios inferiores. Se compone de la construcción de espacio de ventilación en la cumbrera para facilitar la salida del aire caliente por efecto de chimenea, donde la brisa exterior colabora para arrastrar el aire caliente del entre cielo.

El efecto de monitor es conducido por la diferencia de densidades y presión entre el aire externo y el interno, donde se trata de mantener fresco el espacio por medio del desplazamiento del aire caliente hacia arriba refrescando el área a nivel del usuario. El monitor bilateral se levanta de la cubierta permitiendo la ventilación fluida en diferentes direcciones, puede ser de dimensiones variadas y utilizarse como elemento de jerarquía en la distribución interna.

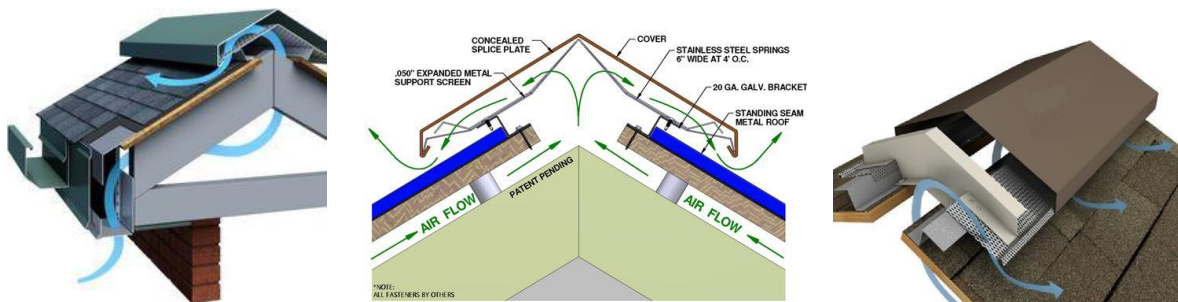


Figura: 251. Ventilación de entretecho.

La selección del material de techo, para el caso de estudio, se ha seleccionado la lámina ondulada de hierro galvanizado, debe combinarse con acabado de color claro en su cara exterior y al interior se debe colocar una capa de aluminio que colabore en la reflexión del calor hacia el espacio exterior, así se pueden enfriar efectivamente al redirigir los rayos solares y reducir la absorción del calor y la ganancia térmica hasta en 50% menos que otras soluciones similares sin colaboración de materiales y acabados reflectantes y de acción aislante.

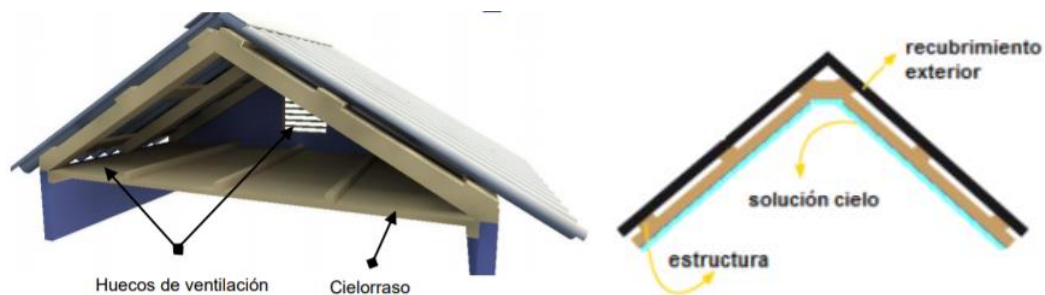


Figura 252. Ventilación de entretecho

Los techos con lámina ondulada de hierro es una solución muy extendida en su aplicación por sus ventajas económicas y facilidad en la construcción, pero su transferencia alta del calor y alta conductividad hay que combatirlas con estrategias de protección térmica complementarias como cámaras de ventilación y aislamiento, se recomienda el uso de cielo raso, aislante y pintura de color claro para reducir la carga térmica. (Díaz, 2012).

Conclusión

La investigación y evaluación del conjunto de edificios que componen primaria y secundaria o escuela y colegio, presentan características de ubicación y disposición por considerar en su mejor acondicionamiento, diseño y construcción para aulas de clase didáctica.

La configuración de conjunto donde los edificios se rodean de áreas verdes es una excelente propuesta para mantener la ventilación pasiva y fomentar la ventilación cruzada de los espacios interiores, la ubicación en el terreno aprovecha el impacto de la dirección del viento sobre las aberturas en ventanas y entre edificios, lo que logra la mejor distribución de la ventilación natural.

Se propone la mejora de provocar pasos de ventilación a través del entrecielo desde los aleros y se complementa con el monitor superior sobre el techo, el que además influirá en la apertura para provocar la entrada de luz indirecta y no de la radiación solar directa.



Figura 253. Soluciones alternativas de sombreado en corredores perimetrales. Fuente: Pinterest. (2019).

La ampliación de aleros en la estructura principal, apoyado además en la adición de corredores de techos extendidos y cubierta de pasillos para crear espacios de las aulas exteriores, permitirá obtener los beneficios de la propuesta de ventilación natural cruzada por aleros, cielos y entre techos, así como provocar la mayor protección de la incidencia solar directa sobre paredes expuestas y reducción de ganancia de calor por masa térmica, lo que redundará en mayor confort en los espacios interiores.

La distribución arquitectónica de los espacios de aulas y otros de apoyo permite la ubicación de corredores transversales que incorporan el paso del viento en su dirección predominante, lo que invariablemente podrá mantener la renovación del aire en los espacios de corredores y espacios abiertos internos.

La propuesta de diseño apuesta por la conservación del modelo constructivo original, con nuevos materiales, se consigue apropiarse del lenguaje arquitectónico prevalente y brinda una identidad a los edificios del lugar, además el uso de los materiales conserva las características principales de ventilación, respiración y calor que transmiten el uso de materiales y estructuras.

Si será necesario apoyarse en la instalación de un sistema de extracción mecánica que colabore en realizar la cantidad de 12 cambios del volumen de aire por hora, según se solicita por las autoridades del Ministerio de Educación, Costa Rica; para lo cual será necesario preparar la memoria de cálculo por el Ingeniero Mecánico, toda vez que el cálculo con base en la velocidad promedio del viento en la zona es de 5km/Hr, con lo que se obtiene muy poca posibilidad de provocar el intercambio de aire solicitado con base en aperturas en paredes y cubierta.