



**UNIVERSIDAD CENTRAL
VICERRECTORÍA ACADÉMICA**

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD DE TRES SISTEMAS
CONSTRUCTIVOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN
DISEÑO PROTOTIPO PARA ZONAS INUNDABLES**

**MODALIDAD DE TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIATURA EN
INGENIERÍA CIVIL**

ESTUDIANTE: XAVIER GÓMEZ RODRÍGUEZ

TUTOR: JOSÉ ALONSO MURILLO

SEDE ARANJUEZ

AGOSTO, 2021

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por la oportunidad de la vida y por permitirme concluir mi carrera profesional como licenciado en Ingeniería Civil, carrera que inicié con el apoyo incondicional de mis padres, a quien también les agradezco haberme permitido estudiar y prepararme para un mejor futuro.

Agradezco al ingeniero Roger Martínez por mostrarme el problema o limitante existente en el tema de infraestructura educativa dándome la oportunidad de desarrollar este tema de tesis.

A mi amada esposa, licenciada Diana Hernández Navarro, por su ayuda incansable en todo este proceso, dándome el apoyo necesario para concluir con éxito este episodio de nuestras vidas y a nuestro amado o amada bebé en camino.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo final de graduación para la obtención del título de licenciado en Ingeniería Civil, a mi señora madre, licenciada Laura Rodríguez Carrillo y a mi señor padre, don Franklin Gómez Arce.

Ambos son motivos inspiracionales para mi búsqueda por salir adelante y superar las adversidades de la vida, por medio de la preparación profesional y el trabajo honrado y honesto.

CONTENIDO

1	CAPÍTULO I. PROBLEMA.....	14
1.1	Planteamiento del problema.....	15
1.2	Antecedentes	18
1.2.1	Construcciones livianas en zonas inundables	18
1.3	Objetivos	22
1.3.1	General.....	22
1.3.2	Específicos	22
1.4	Justificación.....	23
1.5	Proyecciones.....	24
1.5.1	Alcances	24
1.5.2	Limitaciones	24
2	CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	25
2.1	Sistemas constructivos.....	26
2.1.1	Definición de sistema constructivo	26
2.2	Sistemas constructivos livianos.....	29
2.2.1	Sistema Estructural de Panel Insulado.....	31
2.2.2	Sistema constructivo Emmedue - M2	32
2.2.3	Sistema prefabricado de columnas y baldosas horizontales	33
2.3	Ministerio de Educación Pública (MEP)	34
2.3.1	Definición, visión y misión	34
2.4	Dirección de Infraestructura y Equipamiento Educativo (DIEE)	35
2.4.1	Reseña histórica.....	35
2.5	Juntas de educación	35

2.5.1	Desarrollo de escuelas públicas en Costa Rica	35
2.6	Diseños prototipo del MEP-DIEE para escuela públicas.....	38
2.6.1	Diseños prototipo.....	38
2.6.2	Diseños prototipo del MEP-DIEE.....	38
2.7	Definición de subestructura y superestructura	39
2.7.1	Subestructura	39
2.7.2	Superestructura.....	41
2.8	Capacidad de carga del suelo.....	42
2.8.1	Definición.....	42
2.8.2	Falla por corte general.....	42
2.8.3	Falla por punzonamiento	42
2.8.4	Falla por corte local	43
2.9	Asentamientos diferenciales	43
2.10	Aislación térmica	44
2.11	Sostenibilidad y análisis de sostenibilidad.....	45
2.11.1	Definición huella de carbono y su relevancia en Costa Rica	45
2.11.2	Sostenibilidad social y el confort como impacto social en la educación	46
2.11.3	Sostenibilidad económica y su relevancia en los fondos públicos.....	47
3	CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.....	48
3.1	Enfoque de la investigación	49
3.2	Tipo de investigación.....	50
3.3	Sujetos y fuentes de información	51
3.3.1	Sujetos	51
3.3.2	Fuentes de información	51
3.3.2.1	Fuentes primarias	51

3.4	Metodología e instrumentación	52
4	53	
5	53	
6	53	
7	53	
8	CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	53
8.1	Descripción de fichas técnicas de sistemas constructivos livianos de cerramiento	54
8.1.1	Descripción del sistema constructivo de panel insulado.....	55
8.1.1.1	Composición	56
8.1.1.2	Modulación.....	57
8.1.1.3	Dimensiones	59
8.1.1.4	Peso.....	60
8.1.1.5	Incorporación de sistemas electromecánicos.....	60
8.1.1.6	Limitaciones de uso	62
8.1.1.7	Aislación térmica	62
8.1.1.8	Aislación sonora.....	63
8.1.1.9	Aislación de humedad.....	63
8.1.1.10	Instalación y acabado.....	64
8.1.2	Descripción del sistema constructivo Emmedue - M2	72
8.1.2.1	Composición	73
8.1.2.2	Modulación.....	73
8.1.2.3	Dimensiones	74
8.1.2.4	Peso.....	74
8.1.2.5	Incorporación de sistemas electromecánicos.....	74
8.1.2.6	Limitaciones de uso	76
8.1.2.7	Aislación térmica	76
8.1.2.8	Aislación sonora.....	76
8.1.2.9	Aislación de humedad.....	76
8.1.2.10	Instalación y acabado.....	76

8.1.3	Descripción del sistema prefabricado de columnas y baldosas horizontales.....	83
8.1.3.1	Composición	84
8.1.3.2	Modulación y dimensiones.....	86
8.1.3.3	Peso.....	88
8.1.3.4	Incorporación de sistemas electromecánicos.....	88
8.1.3.5	Limitaciones de uso	88
8.1.3.6	Aislación térmica.....	89
8.1.3.7	Aislación sonora.....	89
8.1.3.8	Aislación de humedad.....	90
8.1.3.9	Instalación y acabado	90
8.1.4	Descripción del sistema constructivo DEFS	93
8.1.4.1	Composición	94
8.1.4.2	Modulación.....	97
8.1.4.3	Dimensiones	98
8.1.4.4	Peso.....	98
8.1.4.5	Incorporación de sistemas electromecánicos.....	98
8.1.4.6	Limitaciones de uso	99
8.1.4.7	Aislación térmica.....	99
8.1.4.8	Aislación sonora.....	99
8.1.4.9	Aislación de humedad.....	99
8.1.4.10	Instalación y acabado.....	100
8.2	Estudio comparativo de sistemas constructivos livianos de cerramiento	104
8.2.1	Determinación de variables comparativas.....	104
8.2.1.1	Cuadro comparativo de sistemas constructivos SIP y M2 (no prototipos DIEE)	107
8.2.1.2	Análisis de resultados de comparativa entre sistemas constructivos SIP y M2 (no prototipos DIEE).....	108
8.2.1.3	Cuadro comparativo de sistemas constructivos SIP y prefabricado de columnas y baldosas horizontales (no prototipos DIEE).....	111
8.2.1.4	Análisis de resultados de comparativa entre sistemas constructivos SIP y prefabricado de columnas y baldosas horizontales (no prototipos DIEE)	112

8.2.1.5	Estudio comparativo entre sistema constructivo liviano prototipo DIEE y sistema constructivo liviano recomendado	114
8.2.1.6	Análisis de resultados de comparativa entre el sistema de constructivo liviano prototipo DIEE y sistema constructivo recomendado	115
8.3	Evaluación de impacto social mediante el nivel de confort desempeñado por el sistema recomendado	119
8.4	Selección y caracterización del caso modelo para análisis de sistemas de cimentación	121
8.4.1	Caso modelo	121
8.4.1.1	Ubicación geográfica y ubicación en mapa de amenazas de CNE	121
8.4.1.2	Datos de la obra	124
8.4.1.3	Diseño arquitectónico	125
8.4.1.4	Estudio geotécnico del sitio	129
8.4.1.5	Estratigrafía y valores de N_{SPT}	130
8.4.1.6	Recomendaciones del laboratorio	132
8.4.2	Revisión y análisis del diseño de cimentaciones del sistema constructivo prototipo del MEP-DIEE y del sistema constructivo del caso modelo	133
8.4.2.1	Sección del caso modelo a analizar	133
8.4.2.2	Descripción del sistema de cimentaciones según planos prototipo del DIEE	136
8.4.2.3	Descripción de sistema de cimentaciones del caso modelo no prototipo DIEE	140
8.5	Evaluación de impacto ambiental por medio de huella de carbono de los sistemas de cimentación	143
8.6	Evaluación de impacto económico cimientos y cerramientos en liviano para la sección a analizar del caso modelo	149
9	CAPÍTULO V. CONCLUSIONES	153
9.1	Conclusiones de: Objetivo específico A	154
9.2	Conclusiones de: Objetivo Específico B	154
9.3	Conclusiones de: Objetivo específico C	154

10	CAPÍTULO VI. RECOMENDACIONES.....	155
10.1	Recomendaciones de: Objetivo específico A.....	156
10.2	Recomendaciones de: Objetivo específico B.....	156
10.3	Recomendaciones de: Objetivo específico C.....	156
11	CAPÍTULO VII. REFERENCIAS	157
11.1	Libros	158
11.2	Páginas Web.....	159
11.3	Manuales Técnicos o Manuales Constructivos	160
11.4	Planos constructivos o informes técnicos.....	160

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Mapa de amenazas Quepos - CNE, 2006.	15
Ilustración 2. Cuencas vulnerables a inundaciones - La Nación, 2008.	19
Ilustración 3. Casa elevada, Limón - Cruz, 2018.....	20
Ilustración 4. Comportamiento de flujo de los ríos - CNE, 1993.....	21
Ilustración 5. Sistema constructivo en adobe - Cartín, 2018.	26
Ilustración 6. Sistema Constructivo en Mampostería confinada con refuerzo integral - La Prensa, 2016.	27
Ilustración 7. Sistema de Estructura de Madera - Desconocido.....	28
Ilustración 8. Sistema en Acero tipo Marco Rígido - Desconocido.....	28
Ilustración 9. Sistema de Concreto Reforzado - Elaboración propia, 2019.	29
Ilustración 10. Sistema Liviano DEFS - Revista Construir, 2019.....	30
Ilustración 11. Entrepiso liviano en acero - Desconocido.....	30
Ilustración 12. Sistema Estructural de Panel Insulado (SIP).....	31
Ilustración 13. Sistema Constructivo M2 - Cassaforma, 2019.....	32
Ilustración 14. Sistema prefabricado - PC, 2021.....	33
Ilustración 15. Final del proceso DIEE/Juntas de Educación - DIEE.....	37
Ilustración 16. Catálogo Prototipos - DIEE, 2018.	38
Ilustración 17. Placa Aislada - Nielsen, 2014.	39
Ilustración 18. Placa Combinada - Elaboración propia, 2019.....	40
Ilustración 19. Placa Corrida - Desconocido.	40
Ilustración 20. Losa de Cimentación - Elaboración propia, 2018.....	41
Ilustración 21. Materiales aislantes - Ordoñez, 2018.....	44
Ilustración 22. Sistema SIP - Panacor.....	55
Ilustración 23. Ejemplo de planta arquitectónica de modulación de proveedor con panel SIP - Panacor.	58
Ilustración 24. Imagen ampliada del dormitorio y S.S., de ejemplo de planta arquitectónica de modulación de proveedor con panel SIP - Panacor.	58
Ilustración 25. Vista isométrica y superior de panel SIP - Panacor.....	59
Ilustración 26. Inclusión de canalización eléctrica - Panacor.....	60
Ilustración 27. Instalación de flashing e hilo de sellador - PANACOR.....	63
Ilustración 28. Espaciamiento para trazado - Panacor.....	64
Ilustración 29. Anclaje de perfil tipo canal en piso - Panacor.	65
Ilustración 30. Unión lineal entre paneles - Panacor.	66
Ilustración 31. Unión lineal en colindancia cerrada - Panacor.....	67
Ilustración 32. Unión esquinera entre paneles SIP - Panacor.....	67
Ilustración 33. Unión esquinera en colindancia cerrada - Panacor.....	68
Ilustración 34. Unión tipo T entre paneles SIP - Panacor.....	68
Ilustración 35. Unión entre paneles de pared y panales tipo cargador para puertas y ventanas - Panacor.	69
Ilustración 36. Aplicación de sellado de juntas - Panacor.	70

Ilustración 37. Aplicación de "base coat" posterior al tratamiento de juntas - Panacor.....	71
Ilustración 38. Panel M2 - Emmedue, 2008.....	72
Ilustración 39. Instalación eléctrica en panel - Panelco, 2009.....	75
Ilustración 40. Instalación mecánica en panel - Panelco, 2009.....	75
Ilustración 41. Refuerzo vertical saliente para amarre con panel - Emmedue, 2008.	77
Ilustración 42. Inicio de instalación de paneles desde las equinas - Grupo Sur....	78
Ilustración 43. Vista en elevación del diseño de modulación de paredes - Emmedue, 2008.	79
Ilustración 44. Malla de refuerzo tipo RG1 - Emmedue, 2008.....	79
Ilustración 45. Colocación de malla RG1, vista en planta - Emmedue, 2008.	80
Ilustración 46. Malla de refuerzo tipo RG2 - Emmedue, 2008.....	80
Ilustración 47. Malla de refuerzo tipo RU - Emmedue, 2008.....	81
Ilustración 48. Colocación de malle tipo RG2 y RU, vista frontal - Emmedue, 2008.	81
Ilustración 49. Apuntalamiento en cara opuesta al lanzado de mortero - Grupo Sur.	82
Ilustración 50. Aplicación del mortero lanzado - Emmedue, 2008.....	83
Ilustración 51. Dosificación recomendada por m3 del mortero lanzado - Emmedue, 2008.	83
Ilustración 52. Casa en sistema prefabricado de columnas y baldosas horizontales - PrefaCR, 2021.	84
Ilustración 53. Sistema prefabricado de columnas y baldosas horizontales - CSCR, 2021.	85
Ilustración 54. Dimensiones de comercialización de columnas – Prefa PC - 2021.	86
Ilustración 55. Tañamos de baldosas - Prefa PC, 2021.....	87
Ilustración 56. Baldosas tipo tapichel - Prefa PC, 2021.....	87
Ilustración 57. Tamaños y pesos de baldosas - PrefaPC, 2021.....	88
Ilustración 58. Construcción elevada en sistema Prefa PC - Prefa PC, 2021.	89
Ilustración 59. Detalle de juntas entre baldosas - Prefa PC - 2021.....	90
Ilustración 60. Fundación para columnas - CSCR, 2010.....	91
Ilustración 61. Colocación de baldosas - PrefaCR, 2021.....	92
Ilustración 62. Detalle de solera - Prefa PC, 2021.....	92
Ilustración 63. Sistema DEFS DUROCK - USG, 2016.....	93
Ilustración 64. Canal de amarre - USG, 2016.....	94
Ilustración 65. Perfil vertical y otros componentes metálicos - USG, 2016.	94
Ilustración 66. Tornillería - USG, 2016.....	95
Ilustración 67. Cinta malla para juntas - USG, 2016.....	95
Ilustración 68. Compuesto "base coat" - USG, 2016.....	96
Ilustración 69. Membrana impermeable - USG, 2016.	96
Ilustración 70. Accesorios plásticos - USG, 2016.....	97

Ilustración 71. Incorporación de sistemas electromecánicos - USG, 2016.....	98
Ilustración 72. Instalación tipo Muro Cortina - USG, 2016.....	102
Ilustración 73. Instalación Losa a Losa - USG, 2016.....	103
Ilustración 74. Pasos de instalación de sistemas - Elaboración propia, 2021.	109
Ilustración 75. Pasos de instalación de sistemas - Elaboración propia, 2021.	116
Ilustración 76. Sistema EIFS - USG, 2016.	118
Ilustración 77. Energía consumida en su producción - ANAPE, 2019.....	119
Ilustración 78. Fórmula resistencia térmica - Elaboración propia, 2021.	120
Ilustración 79. Ubicación Geográfica, Escuela de Venecia - Martínez, 2019.	121
Ilustración 80. Mapa de Amenazas y Peligros Naturales del Cantón de Matina - CNE.....	122
Ilustración 81. Simbología de Mapa de Amenazas y Peligros Naturales del Cantón de Matina - CNE.....	122
Ilustración 82. Vista ampliada con ubicación de Escuela de Venecia - Elaboración propia, 2020.	123
Ilustración 83. Planta de sitio existente a demoler - Martínez, 2019.	125
Ilustración 84. Planta arquitectónica primer nivel - Martínez, 2019.	126
Ilustración 85. Planta arquitectónica segundo nivel - Martínez, 2019.....	127
Ilustración 86. Planta estructural de cimientos y columnas de Escuela Venecia - Martínez, 2019.	128
Ilustración 87. Perfil Estratigráfico Escuela Venecia - PROGETSA, 2019.	131
Ilustración 88. Valores N_{SPT} Escuela Venecia - PROGETSA, 2019	131
Ilustración 89. Sección de planta estructural a analizar - Martínez, 2019.	133
Ilustración 90. Planta de distribución Aula Académica - Martínez, 2019.....	134
Ilustración 91. Elevación principal - Martínez, 2019.	135
Ilustración 92. Elevación posterior - Martínez, 2019.....	135
Ilustración 93. Sección A-1 - Martínez, 2019.....	136
Ilustración 94. Planta estructural de cimentaciones - DIEE, 2017.....	137
Ilustración 95. Placa aislada tipo PA-1 de Planos Prototipo - DIEE, 2017.	138
Ilustración 96. Placa aislada tipo PA-2 de Planos Prototipo - DIEE, 2017.	138
Ilustración 97. Placa aislada tipo PA-3 de Planos Prototipo - DIEE, 2017.	139
Ilustración 98. Detalle de sustituciones - DIEE, 2017.....	140
Ilustración 99. Planta estructural de cimentaciones - Martínez, 2019.	141
Ilustración 100. Detalle típico de placas corridas - Martínez, 2019.	142
Ilustración 101. Tabla de dimensionamiento de placas corridas - Martínez, 2019.	142
Ilustración 102. Formula general de esfuerzos - Desconocido.....	144
Ilustración 103. Equivalencia de esfuerzos - Elaboración propia, 2021.	145
Ilustración 104. Factores de emisión de CO_{2e} de materiales - Vega, 2014.	146
Ilustración 105. Cálculo de huella de carbono sistema prototipo DIEE - Elaboración propia, 2021.	146
Ilustración 106. Cálculo de huella de carbono sistema caso modelo - Elaboración propia, 2021.	146

Ilustración 107. Aporte GEI de sistema prefabricado - Elaboración propia, 2021.	147
Ilustración 108. Aporte GEI del EPS del sistema SIP - Elaboración propia, 2021.	147
Ilustración 109. Estimación de costos cimentación DIEE aplicada en caso modelo, elaboración propia, mayo 2021.	149
Ilustración 110. Estimación de costos cimentación caso modelo - Elaboración propia, mayo 2021.....	150
Ilustración 111. Estimación de costos sistema DEFS - Elaboración propia, 2021.	150
Ilustración 112. Estimación de costos sistema EIFS - Elaboración propia, 2021.	151
Ilustración 113. Estimación de costos sistema SIP - Elaboración propia, 2021. .	151

RESUMEN EJECUTIVO

A continuación, se presenta el proyecto final de graduación que tiene como fin analizar un sistema constructivo integral para la implementación del Ministerio de Educación Pública (MEP), en subdivisión DIEE (Departamento de Infraestructura Educativa y Equipamiento), como diseño prototipo de subestructura y superestructura de cerramiento y compartimiento, para escuelas construidas de manera elevada, en zonas con potencial de inundación y con suelos de baja capacidad soportante. Se presenta este tema debido a la oportunidad existente de evaluar la inclusión de un sistema constructivo integral, tanto desde sus aspectos estructurales como también económicos, funcionales y ambientales, que actualmente no forman parte de los diseños prototipo del MEP-DIEE.

La síntesis principal de los objetivos específicos consistió en la presentación de tres sistemas livianos para cerramientos (que actualmente no son parte de los diseños prototipo del DIEE), para compararlos entre sí y escoger uno de ellos para someterlo a comparación con el sistema liviano que especifica el DIEE en sus planos prototipo y que esta segunda comparación refleje si existe un beneficio en la implementación del sistema liviano escogido en la primera iteración; de existir ese beneficio, se recomendaría para ser utilizado en lugar del sistema liviano especificado por el DIEE actualmente. Además, se comparó el sistema de cimentaciones prototipo del DIEE aplicado en pabellones elevados, contra un sistema de cimentaciones diseñado por el Ing. Roger Martínez, que actualmente no es parte de los diseños prototipo de cimentaciones del DIEE. Esta comparación se realizó considerando las condiciones de un caso modelo, de una escuela ubicada en una zona inundable y con bajas capacidades soportantes del suelo, con el fin de evaluar la aptitud tanto del diseño prototipo del DIEE o bien del sistema aplicado en el caso modelo.

Para concluir, se presentaron estimaciones económicas y resultados de impacto ambiental y social, de los diferentes sistemas. Se realizó un balance de los resultados obtenidos y, por último, en materia de sistemas, se hizo la sugerencia de que brindaran el mayor beneficio y fueran sostenibles.

CAPÍTULO I. PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

En Costa Rica existen diversas zonas con potencial de inundación previamente determinadas por la Comisión Nacional de Emergencias (CNE), mediante documentos llamados mapas de amenazas y peligros naturales, los cuales la CNE generaron para todos los cantones del territorio nacional.

Es muy común que estas zonas presenten suelos saturados compuestos por limos y arcillas de muy baja capacidad mecánica, entre 1 t/m² a 6 t/m².

Una de las principales afectaciones de interés nacional procede de las inundaciones y de las bajas capacidades de los suelos inundables es la construcción de obra pública. Además, como es el enfoque en este proyecto final de graduación, se hace referencia a la construcción de escuelas en zonas de inundación con baja capacidad soportante.

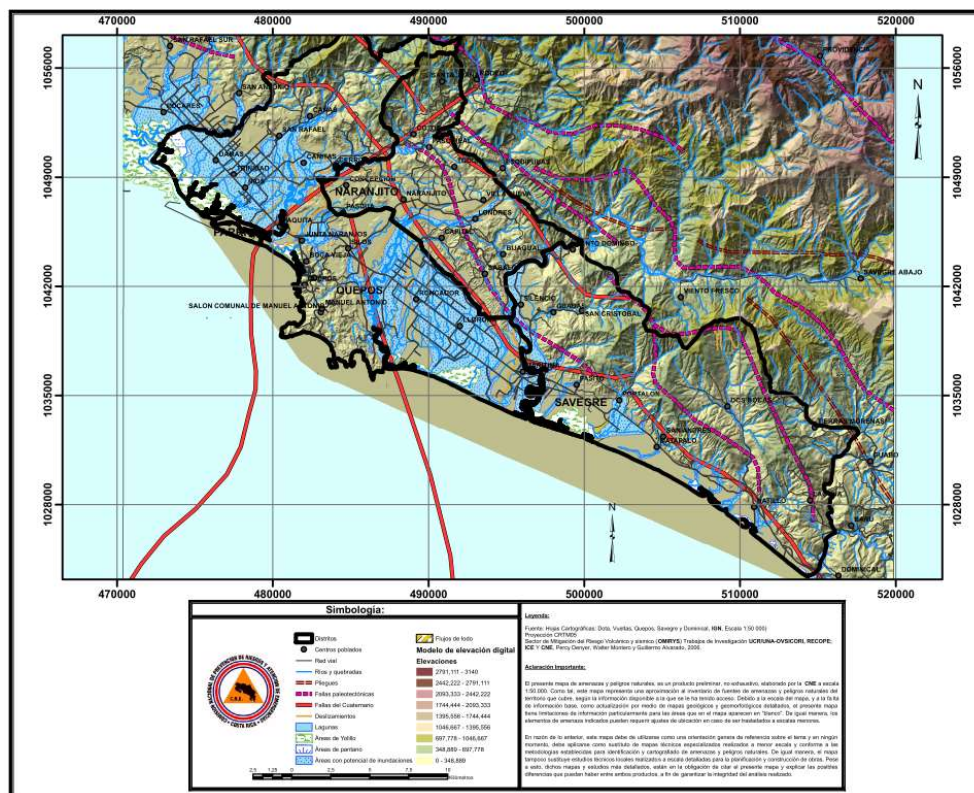


Ilustración 1. Mapa de amenazas Quepos - CNE, 2006.

El Ministerio de Educación Pública (MEP), en su departamento de DIEE (Departamento de Infraestructura Educativa y Equipamiento) administra la construcción de escuelas. El MEP, mediante el DIEE, establece los diseños prototipo a utilizar en la construcción de estas escuelas, aunque cabe destacar que en algunos casos de proyectos atípicos los diseños y planteamientos los realiza algún profesional externo al DIEE.

Existe el prototipo de construcción de pabellones elevados para atacar el tema propiamente de inundaciones; sin embargo, el peso de la estructura de columnas, más el peso de la superestructura de cerramiento y compartimiento de los diseños prototipo de la DIEE supera las capacidades de soporte de las zonas mencionadas previamente. Esto genera un aumento de los costos de cimientos y de mejoramiento de suelos.

Un problema adicional al tema del sobrecosto por mejoramientos de suelos o aumento en la dimensión de las fundaciones, es el sistema en sí de fundaciones que actualmente está definido como diseño prototipo. Este se establece como sistema de placas aisladas, el cual no es recomendable que se utilicen en este tipo de escenarios, pues según lo que resultase del estudio de suelos, las placas aisladas podrían generar la posibilidad de sufrir asentamientos diferenciales.

No menos importante que el impacto económico de un diseño prototipo no apto para estas zonas provoque, es el impacto ambiental que pueda generar la solución estructural para que este diseño prototipo de cimentaciones pueda construirse, que como se mencionó anteriormente, podría ir desde una gran sustitución de suelos hasta un aumento significativo en la dimensión del cimiento y por ende el volumen de acero y concreto a utilizar. Así las cosas, estos materiales son fuente de emisiones importantes de gases efecto invernadero generados durante su producción.

Si se construyen pabellones elevados es porque existe la posibilidad de inundación y si esta existe, por consecuencia se trata de una configuración topográfica de llanura, que, por la geografía del territorio nacional, se dan principalmente en zonas cercanas a las costas, por ende, zonas de altas temperaturas, frecuentes precipitaciones y altos porcentajes de humedad. Todo lo

anterior quiere decir, que, si se trata de un diseño prototipo para zonas con estas condiciones, debe especificarse un sistema de cerramiento con capacidades altas de aislación térmica y con protección contra la humedad, para brindar el confort necesario a los estudiantes, académicos, y personal que realice sus actividades educativas dentro de estas instalaciones.

Es por esto, que el fin principal de este proyecto de graduación es analizar un método constructivo alternativo e integral que sea sostenible, desde el punto de vista ambiental, económico y social, generando un escenario más favorable para proyectos en casos especiales donde se deba mitigar los efectos de inundaciones simultáneo a suelos de baja capacidad, en zonas de altas temperaturas y precipitaciones constantes.

Actualmente, por parte del MEP-DIEE, para la construcción de infraestructura educativa a nivel nacional, no se hace distinción para las diferentes zonas geográficas del país y rigen los mismos planos prototipo para la subestructura y superestructura para cualquier licitación de obra educativa. Es aquí donde nace la oportunidad para el desarrollo de este proyecto final de graduación, donde se busca el sistema ideal a implementar en sectores con escenarios complejos, donde se reúnan todas las características descritas anteriormente.

Un tema que es posible desarrollar a futuro como otro proyecto de investigación, es el procedimiento en sí de la integración del sistema a recomendar en este documento, como diseño prototipo de MEP-DIEE. Allí se deberá realizar una sectorización geográfica por tipología de suelos y condiciones climáticas de la zona, con el fin de definir para cada zona el diseño prototipo a implementar.

1.2 Antecedentes

1.2.1 Construcciones livianas en zonas inundables

Por la particularidad geométrica que posee Costa Rica a lo largo y ancho del territorio nacional, cuenta de Norte a Sur con una cordillera volcánica y montañosa central que divide hidrográficamente al país, generando la vertiente del Pacífico y la vertiente Atlántica, gracias a esto se goza de innumerables cuencas y ríos, los cuales corren hacia ambos lados del país, generan al pie de sus elevaciones montañas grandes y extensas planicies o llanuras, que por años han sido aprovechadas por los diversos poblados con grandes asentamientos territoriales. Estas son utilizadas para importantes plantaciones, como lo ha sido por ejemplo la plantación de banano en el Caribe o palma en el Pacífico.

Desde el inicio del desarrollo agrícola del país, los ríos han sido la pieza fundamental. La facilidad que han generado para el riego de los cultivos y la hidratación del ganado ha sido la clave para la activación económica de las zonas rurales del país, lo que ha dado las herramientas necesarias para el crecimiento de la población en estas zonas y el aumento del beneficio económico nacional, sin dejar de lado el aporte de los ríos al turismo de Costa Rica.

Inundaciones constantes ocurridas en épocas de invierno o con la entrada de tormentas tropicales, desde miles de años atrás, han convertido por ende los suelos de muchas de estas planicies, en suelos formados a raíz de depósitos aluviales, lo que genera que la mayoría de las áreas cercanas a ríos posean capas de suelo de muy baja capacidad soportante.

Una construcción elevada o sobre pilotes es imprescindible en zonas inundables, eso está claro, desde el inicio de los asentamientos territoriales en las llanuras del Pacífico o Caribe; por ejemplo, se nota la construcción de casas campesinas sobre pilotes de madera, implementado desde hace muchos años atrás. Esto no es de sorprenderse, pues las inundaciones han sido parte de la historia de Costa Rica, se cuenta con una innumerable lista de inundaciones por desbordamiento de ríos a lo largo y ancho del territorio nacional, principalmente provocadas por el ingreso de huracanes, tormentas tropicales o sistemas de baja

presión; esto genera daños de infraestructura pública y privada, de cultivos y hasta muerte de ganado y animales silvestres. Esto conlleva incalculables pérdidas económicas tanto para sus ciudadanos como para el Estado, pues una parte importante del presupuesto de la CNE se gestiona en la atención a emergencias por inundaciones en las temporadas de invierno. Es una realidad que, en estos casos, no solo son pérdidas materiales y económicas lo que se obtiene, sino que también a través de los años las inundaciones han llevado mucho sufrimiento y dolor a las familias costarricenses, por los seres queridos que han perecido ante estos eventos.

ESTUDIO DEL MINAE

Las cuencas más vulnerables

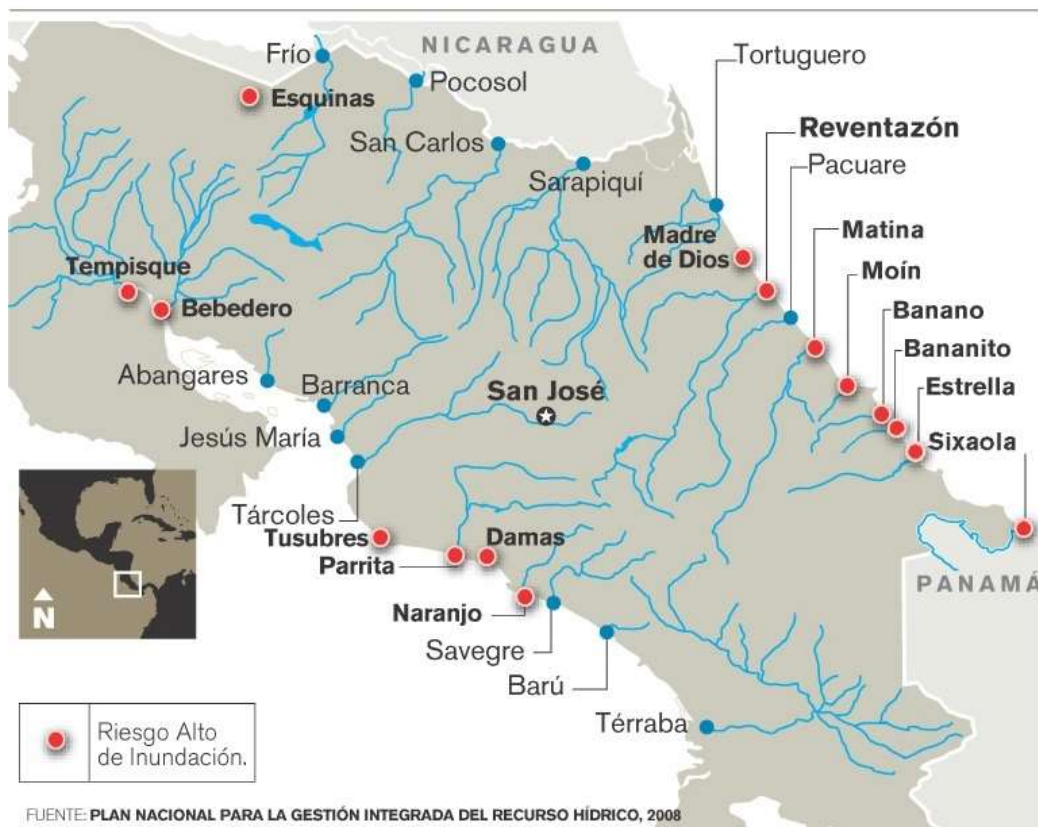


Ilustración 2. Cuencas vulnerables a inundaciones - La Nación, 2008.

Las regulaciones de construcción, la implementación del código sísmico, avances en procedimientos y materiales constructivos, han ido dejando de lado estos pilotes de madera mencionados anteriormente. Estos se reemplazaron por sistemas de columnas con estructuras más robustas construidas, por ejemplo, con concreto reforzado o con bloques de concreto, que ejercen un peso mayor sobre sus cimientos e implican mayores solicitudes de capacidad soportante del suelo.



Ilustración 3. Casa elevada, Limón - Cruz, 2018.

En el planteamiento estructural para el análisis del sistema constructivo a recomendar en este documento, se toma como parte del diseño de la subestructura un sistema de columnas de concreto reforzado, que estará soportando una losa de entrepiso también de concreto, sobre el cual se levantará la superestructura de cerramiento. Resulta fundamental que ante cualquier escenario de desarrollo de un proyecto de construcción elevada (ya sea con cerramientos livianos o prefabricado de concreto) el entrepiso sea una losa de concreto y no un entrepiso metálico: este es el segundo es más susceptible a la humedad, la cual, por condiciones climatológicas y ambientales, es una constante en las zonas inundables, debido a que al caer las lluvias en un suelo llano y saturado, el agua no permea en la tierra a mayores profundidades, ni escurre de manera rápida hacia los mantos acuíferos por falta de pendiente de inclinación del terreno.

Por lo tanto, al volver el sol, la humedad en el aire se mantiene debido al proceso de evapotranspiración del suelo. Sin embargo, las consecuencias de un sistema elevado de columnas de concreto es el peso su estructura, y entre mayor sea la estructura que él soporte, mayor será su propio peso y la dimensión de sus cimentaciones. También, de acuerdo a la condición del suelo, mayor puede ser el requerimiento de mejora del suelo; todo esto habla de un mayor costo económico en su construcción y en materia de obra pública, es mayor entonces el gasto del erario.

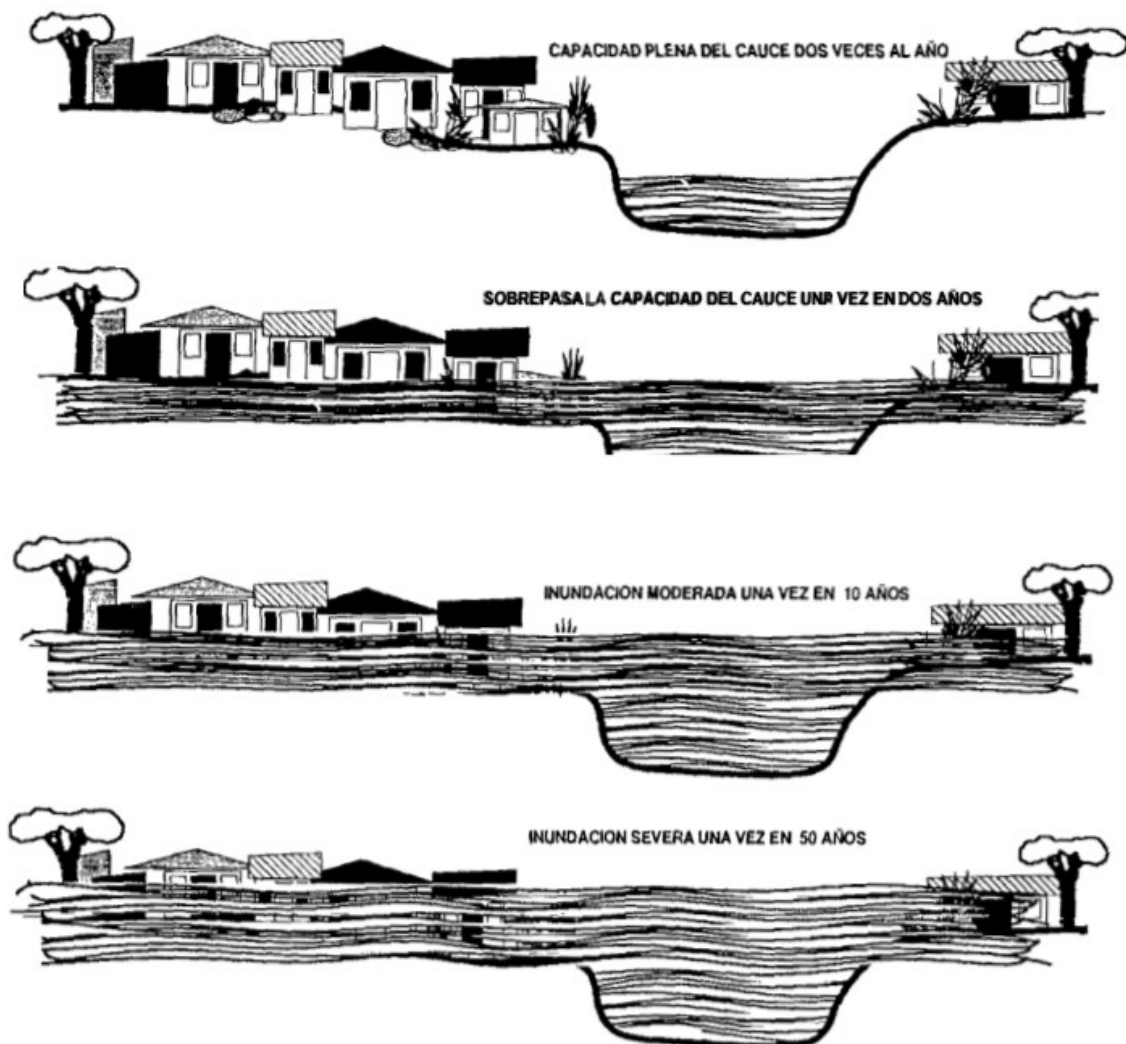


Ilustración 4. Comportamiento de flujo de los ríos - CNE, 1993

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Realizar un análisis de sostenibilidad de tres sistemas constructivos para la implementación del MEP-DIEE como diseño prototipo de subestructura y superestructura, para escuelas de pabellones elevados, a construirse en zonas inundables.

1.3.2 Específicos

- a) Identificar tres opciones de sistemas constructivos livianos de cerramiento no implementados por el MEP-DIEE como diseños prototipos para pabellones elevados, para analizar las cualidades y características de cada material, concluyendo con la recomendación de uno de ellos, y a su vez, este, compararlo con el sistema constructivo liviano de cerramiento actualmente prototipo del MEP-DIEE y evaluar el confort de este como aporte social para el usuario.
- b) Estudiar un sistema de cimentación no implementado por el MEP-DIEE como diseño prototipo, de un caso modelo de una escuela a construirse en una zona con potencial de inundación, analizando sus características y restricciones respecto al estudio de suelos, para compararlo con el sistema de cimentaciones prototipo del DIEE, evaluando el impacto ambiental mediante su huella de carbono si este segundo se implementara en el caso modelo.
- c) Determinar para el caso modelo sus costos estimados de construcción para cimientos y cerramientos, empleando en conjunto ambos sistemas actuales prototipos del DIEE o bien, el sistema liviano a recomendar más el sistema de cimentaciones del caso modelo, con el fin de mostrar si hay un balance positivo entre costos, impacto ambiental y beneficio social, utilizando los segundos, en sitios con condiciones de baja capacidad soportante.

1.4 Justificación

Esta investigación es importante porque tiene como fin analizar un sistema constructivo integral y sostenible, como opción alterna al sistema constructivo empleado actualmente como diseño prototipo por parte del MEP-DIEE, que permita ser empleado en todas las escuelas a construir en zonas vulnerables a inundaciones, altas temperaturas y con suelos con bajas capacidades de soporte.

Lo anterior permitiría generar un beneficio al presupuesto de inversión en infraestructura pública por parte del MEP-DIEE, al plan de gobierno de reducción de emisiones de gases efecto invernadero y mejorando el rendimiento académico por medio de instalaciones con niveles adecuados de confort térmico para los usuarios de estas instalaciones. Gracias a esto se podría emplear, en estas zonas, sistemas constructivos livianos con prestaciones adecuadas de aislamiento y sistemas estructurales más estables, con mayor tolerancia a suelos de baja capacidad de soporte como diseño prototipo.

Esta información va a ser útil para que exista un análisis de un sistema constructivo sostenible que pueda ser sometido a un proceso de implementación por parte del MEP-DIEE.

Esta investigación es socialmente relevante ya que busca una oportunidad de optimización de gasto público mediante la estandarización por parte del MEP-DIEE en uso como diseño prototipo de un sistema constructivo óptimo para zonas con características climáticas y de suelos más complejas, que, a su vez mejore el desempeño de los estudiantes, profesores y personal administrativo del sistema de educación pública y promueva o sea consecuente con el plan de gobierno de reducción de emisiones de CO₂.

1.5 Proyecciones

1.5.1 Alcances

Este trabajo incluye:

- a) Investigación y comparación técnica de tres sistemas constructivos livianos de superestructura de cerramiento y compartimiento.
- b) Análisis técnico del sistema constructivo liviano empleado por el MEP-DIEE como prototipo en la construcción de escuelas.
- c) Análisis de estudio de suelos del caso modelo.
- d) Análisis del diseño del sistema de cimentaciones del caso modelo con base en el diseño arquitectónico existente y el diseño estructural del sistema de columnas.
- e) Análisis de sostenibilidad incluyendo evaluación de impacto ambiental, social y económico de los sistemas prototipo actuales y sistemas a recomendar.

1.5.2 Limitaciones

Este trabajo no incluye:

- a) Ejecución de estudio de suelos por parte del autor de la tesis.
- b) Realización de diseño ni planos arquitectónicos para el caso modelo.
- c) Generación de planos arquitectónicos de los sistemas constructivos livianos.
- d) Diseños ni planos constructivos para proceso de implementación del sistema constructivo liviano a recomendar ante el MEP-DIEE.
- e) Diseño estructural de elementos por parte del autor de la tesis.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Sistemas constructivos

2.1.1 Definición de sistema constructivo

La construcción existe desde el día uno en la vida humana, se empieza a construir cuando a modo de refugio los primeros habitantes de la tierra, siguiendo solo sus instintos, construyeron sus primeras guaridas. Años más tarde la construcción se habría convertido en un componente básico en la vida humana, pasando de necesidad a un oficio, de este a una profesión y de este a una industria.

Con la industrialización de la construcción empezaron a surgir maneras repetitivas para construir una obra, y aunque el uso fuese diferente, el seguir paso a paso las mismas actividades garantizaría la culminación del objetivo igual a otro, incluso en otra ubicación o tamaño, a esto se le llamó método constructivo. A la inclusión de un mismo grupo de materiales que al unirse formaron elementos y estos elementos generaron un conjunto de elementos estructurales unidos todos por un mismo método o procedimiento, se llamó sistema constructivo.



Ilustración 5. Sistema constructivo en adobe - Cartín, 2018.

Hoy en día se tienen múltiples opciones para elegir con qué sistemas constructivos desarrollar una obra civil, desde un sistema constructivo en madera, en acero o tradicional, de mampostería o concreto reforzado, hasta lo más novedoso como sistemas livianos de tabla roca o paneles prefabricados y modulares.

La escogencia del sistema constructivo dependerá de una amplia variedad de factores, donde se puede hablar por ejemplo de la dimensión de la obra, presupuesto del desarrollador o propietario, geografía del terreno, entorno climatológico y disponibilidad de materiales.



Ilustración 6. Sistema Constructivo en Mampostería confinada con refuerzo integral - La Prensa, 2016.



Ilustración 7. Sistema de Estructura de Madera - Desconocido.



Ilustración 8. Sistema en Acero tipo Marco Rígido - Desconocido



Ilustración 9. Sistema de Concreto Reforzado - Elaboración propia, 2019.

2.2 Sistemas constructivos livianos

El ser humano vive en la búsqueda de confort, practicidad, optimización, ahorro y a raíz de estas motivaciones surgen en la industria de la construcción los sistemas constructivos livianos, donde el propietario puede lograr la misma compartimentación o cerramiento de áreas de manera más económica que por ejemplo con el sistema constructivo de mampostería confinada con refuerzo integral.

Existen algunas restricciones para el uso de un sistema liviano, donde se pueden encontrar, por ejemplo, que este va a necesitar componentes adicionales más robustos para lograr funciones estructurales para columnas y vigas, también que para las paredes de intemperie se debe tomar en cuenta el tratamiento correcto para que no se vean corroídas por la lluvia, humedad, luz solar, entre otros.

Se pueden presentar distintas materialidades en los sistemas constructivos livianos, entre los cuales se encuentran estructuras de aluminio forradas con Tablaroca para utilizar en cerramientos (DEFS), sistemas de entrepisos livianos metálicos o bien sistemas de paneles modulares prefabricados, como los que se analizarán en este documento.



Ilustración 10. Sistema Liviano DEFS - Revista Construir, 2019.

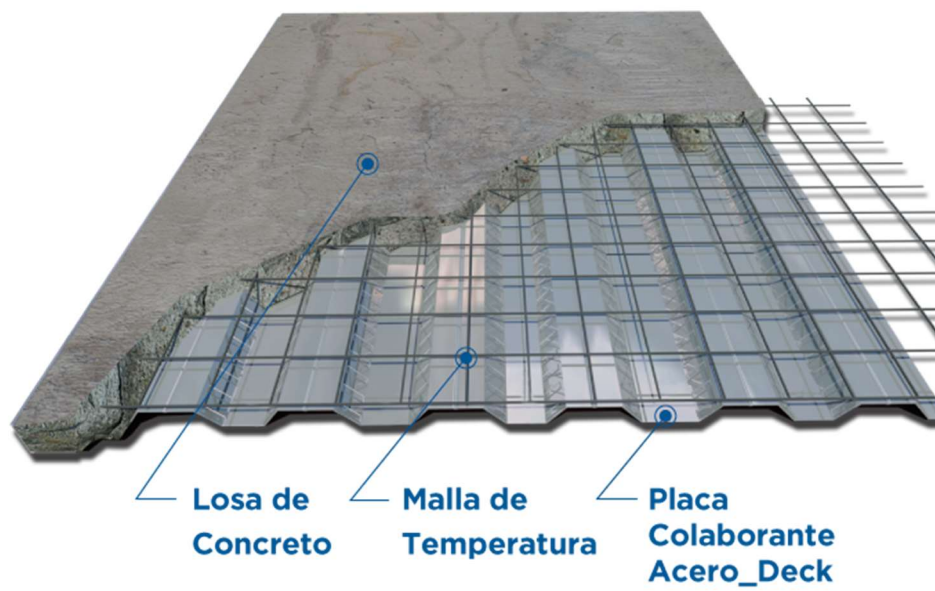


Ilustración 11. Entrepiso liviano en acero - Desconocido.

2.2.1 Sistema Estructural de Panel Insulado

El SIP (siglas por su nombre en inglés; Structural Insulated Panel), es un sistema constructivo liviano con cualidades estructurales que a diferencia del sistema constructivo liviano de aluminio y Tablaroca conocido popularmente como “Gypsum”, no necesita elementos estructurales adicionales, lo que quiere decir que un conjunto de paneles SIP puede fungir como columnas o vigas, de tal forma que es posible apoyar estructuras de techo y hasta entrepisos sobre ellos. Los SIP fueron desarrollados en Estados Unidos y se han empleado desde hace más de 30 años y siguen siendo muy utilizados a la fecha. Poseen una cantidad importante de ventajas sobre otros sistemas, donde se puede mencionar que estos paneles son livianos, fáciles de manipular y cuentan con una gran practicidad para su instalación lo que genera ahorros en mano de obra y equipos durante su instalación, ya que el tiempo de construcción se reduce de manera importante.



Ilustración 12. Sistema Estructural de Panel Insulado (SIP)

Gracias a su composición tipo sándwich de dos láminas de fibrocemento envolviendo una lámina de poliestireno expandido, crea espacios internos con gran capacidad de aislación térmica y acústica, además de poseer resistencia al fuego. Es un sistema de modulación completa, lo que quiere decir que se utiliza exactamente la cantidad requerida de paneles según diseño, sin generar desperdicios, lo que lo hace un sistema completamente amigable con el ambiente.

2.2.2 Sistema constructivo Emmedue - M2

Al igual que el SIP, el M2 tiene un núcleo de poliestireno expandido (EPS), la diferencia es que el segundo en lugar de láminas de fibrocemento envolviendo su núcleo, posee mallas de acero galvanizado en cada uno de sus lados, para completar el acabado se debe aplicar un mortero lanzado por ambas caras del panel y posteriormente proceder con el repello.



Ilustración 13. Sistema Constructivo M2 - Cassaforma, 2019.

En cuanto a ventajas también es similar al SIP, contando con aislamiento térmico y acústico gracias al EPS, modulación y reducción de desperdicio en cuanto a paneles, sin embargo, sí se puede presentar desperdicio en la aplicación del mortero lanzado. El sistema se considera liviano y de igual forma tiene restricciones de construcción de hasta dos niveles.

2.2.3 Sistema prefabricado de columnas y baldosas horizontales

Según el Ing. Francisco Villalobos Ramírez M. Sc. en su artículo “Estado del arte de la normativa técnica sobre elementos prefabricados de concreto para vivienda unifamiliar en Costa Rica” de la revista Métodos & Materiales de Laname UCR de febrero 2017, indica que el sistema ha sido utilizado en Costa Rica por más de 40 años en la construcción de casas y aulas escolares. En los últimos años, la utilización de los sistemas prefabricados de columnas y baldosas se ha incrementado de manera sustancial, generando que su producción se desarrolle en todo el territorio nacional.

El sistema consiste en instalar columnas prefabricadas con su debida cimentación según la normativa vigente y posteriormente colocar las baldosas entre las ranuras que posee cada columna. A su vez, las baldosas tienen corte machihembrado para su fijación entre sí.



Ilustración 14. Sistema prefabricado - PC, 2021.

2.3 Ministerio de Educación Pública (MEP)

2.3.1 Definición, visión y misión

Según la Ley N° 3481 “Ley Orgánica del Ministerio de Educación Pública”, creada el 13 de enero de 1965, se indica que “El Ministerio de Educación Pública es el órgano del Poder Ejecutivo en el ramo de la Educación y de la Cultura, a cuyo cargo está la función de administrar todos los elementos que integran aquel ramo, para la ejecución de las disposiciones pertinentes del título sétimo de la Constitución Política, de la Ley Fundamental de Educación, de las leyes conexas y de los respectivos reglamentos.

Se hace la anotación que lo referente a “cultura” compete actualmente al Ministerio de Cultura, Juventud y Deportes, según su Ley de Creación N° 4788, del 5 de julio de 1971.

Según se indica en la página web del MEP, estos serían la misión y visión de este Ministerio:

Misión Institucional: Como ente rector de todo el Sistema Educativo, al Ministerio de Educación Pública le corresponde promover el desarrollo y consolidación de un sistema educativo de excelencia, que permita el acceso de toda la población a una educación de calidad, centrada en el desarrollo integral de las personas y en la promoción de una sociedad costarricense integrada por las oportunidades y la equidad social.

Visión institucional: Un Ministerio de Educación Pública renovado y moderno, al servicio de los estudiantes y sus familias, de los docentes, de los directores de centros educativos y en general, de las comunidades. Un Ministerio caracterizado por una gestión administrativa eficiente, oportuna y transparente, que promueve el desarrollo integral del ser humano y las capacidades humanas necesarias para vivir e integrarnos en una sociedad global, con base en el ingenio, el conocimiento y las destrezas. Un Ministerio que contribuya a descubrirnos, entendernos, expresarnos y reconstruirnos como ciudadanos del mundo, capaces de guiarse en la búsqueda permanente y crítica de lo que es justo. (MEP,2020, s.f.).

2.4 Dirección de Infraestructura y Equipamiento Educativo (DIEE)

2.4.1 Reseña histórica

Según se muestra en la página web del MEP-DIEE, lo siguiente sería la reseña histórica de esta Dirección:

Históricamente, la atención de las necesidades para la provisión de infraestructura educativa estuvo limitada no solo por la disponibilidad de recursos financieros, sino también por significativas limitaciones de carácter administrativo a lo interno del MEP. Por ello, en aras de solventar la limitada capacidad de gestión, en el 2007 se elimina el antiguo Centro Nacional de Infraestructura Educativa (CENIFE) y se crea mediante el Decreto Ejecutivo N° 34075-MEP Capítulo VI, Sección II, del lunes 5 de noviembre de 2007, la nueva Dirección de Infraestructura y Equipamiento Educativo (DIEE); la cual inicia con un presupuesto de ₡ 16.000 millones para Infraestructura. Desde la DIEE se instauraron prácticas de gestión renovadas, con estrategias diferenciadas que se ajustaran a las necesidades de los centros educativos y las características de las zonas geográficas. A ello se unió la capacitación masiva en materia administrativa y de contratación a los miembros de las juntas de Educación o Administrativas, para que pudieran cumplir en forma expedita y eficiente con la ejecución de los millonarios recursos que les asignaba el MEP (MEP-DIEE, 2020).

2.5 Juntas de educación

2.5.1 Desarrollo de escuelas públicas en Costa Rica

Según lo indica el documento, Reglamento General de Juntas de Educación y Juntas Administrativas del Ministerio de Educación Pública, se establece lo siguiente:

Su creación fue prevista en el Código de Educación de 1944 y en la Ley Fundamental de Educación de 1957. Las Juntas de Educación y las Juntas Administrativas, como entidades de derecho público, están sometidas a la tutela

administrativa del Poder Ejecutivo, por medio del Ministerio de Educación Pública (MEP) como rector del sector educación, con el fin de garantizar que sus actuaciones sean consistentes con la política educativa formulada por el Consejo Superior de Educación (CSE) y los lineamientos técnicos que regulan el funcionamiento de los centros educativos públicos. Entre otras labores de carácter educativo y administrativo, las juntas también deben garantizar ejecución de los fondos girados para el financiamiento de los proyectos de infraestructura autorizados por la DIEE.

La DIEE dictará los lineamientos técnicos requeridos para orientar y supervisar los procesos de diseño, formulación y ejecución de proyectos para el mejoramiento de la infraestructura de los centros educativos, en lo que respecta a mantenimiento preventivo, recurrente y correctivo, así como obras nuevas. Corresponde a la Junta, en coordinación con el director del centro educativo, la identificación de las necesidades, así como remitir directamente a la DIEE las solicitudes para el diseño, formulación y financiamiento de proyectos para el mejoramiento de la infraestructura del centro educativo, haciendo uso de los formularios y formatos digitales establecidos para tales efectos.

La DIEE podrá girar recursos a las juntas para la contratación de los servicios profesionales requeridos para el diseño y la formulación de proyectos de infraestructura educativa. Lo anterior contempla estudios de suelos, estudios de impacto ambiental, diseño arquitectónico, planos constructivos, presupuesto y otras tareas complementarias. También podrá girar recursos para la realización de tareas preparatorias como movimiento de tierras, canalización de aguas, tramitación de permisos y estudios especializados en caso de que sean requeridos.

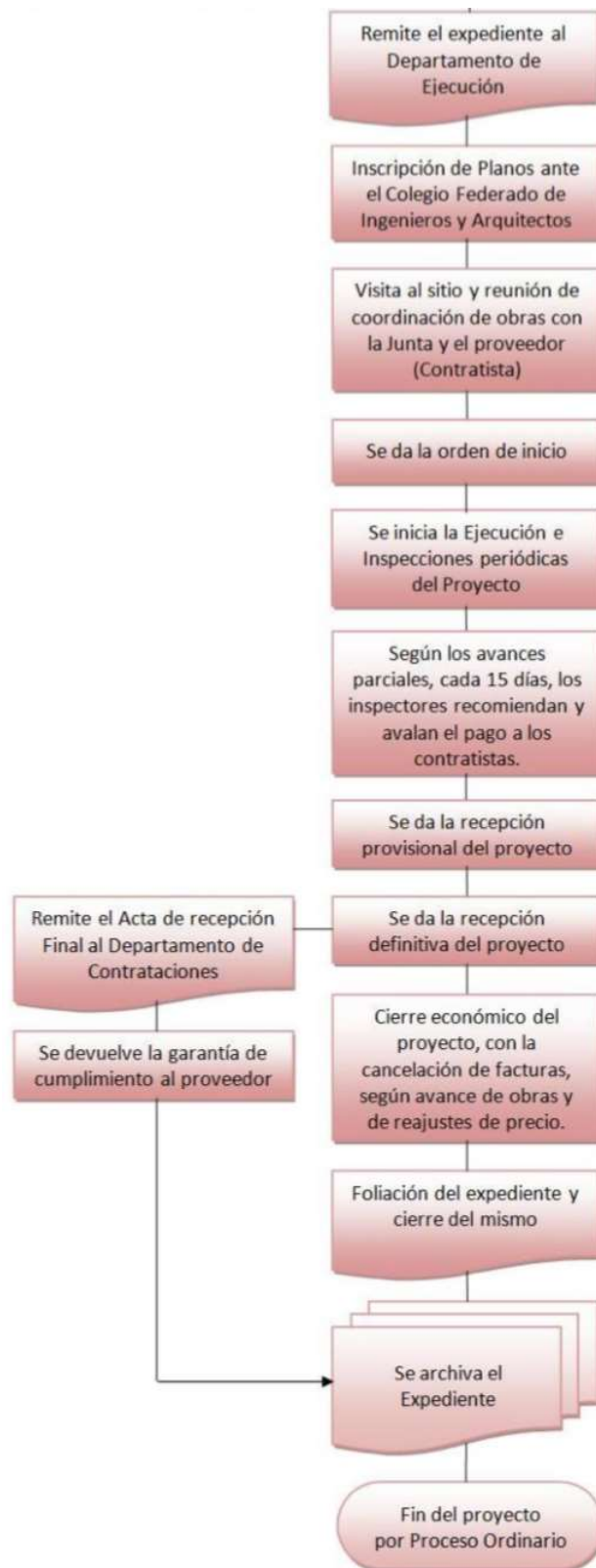


Ilustración 15. Final del proceso DIEE/Juntas de Educación - DIEE.

2.6 Diseños prototipo del MEP-DIEE para escuela públicas

2.6.1 Diseños prototipo

Según la Real Academia Española, prototipo se define como:

“Ejemplar original o primer molde en que se fabrica una figura u otra cosa”

2.6.2 Diseños prototipo del MEP-DIEE

Según la página web del DIEE, se indica:

“Planos prototipo: son los planos constructivos y estructurales estandarizados, para la construcción de espacios físicos, según el requerimiento de las diferentes instituciones y áreas del país”. “En esta sección, usted podrá encontrar los modelos de Planos Prototipo sobre comedores, administración y batería sanitaria para Infraestructura Educativa Pública; los cuales fueron diseñados por el Departamento de Investigación de la DIEE”. (MEP-DIEE,2020).



Ilustración 16. Catálogo Prototipos - DIEE, 2018.

2.7 Definición de subestructura y superestructura

2.7.1 Subestructura

Aunque la palabra subestructura no es parte del diccionario de la RAE, en el área de la Ingeniería Civil se conoce como el equivalente a las cimentaciones de un edificio, a su vez la palabra cimiento se define según la RAE de la siguiente forma: “Parte del edificio que está debajo de tierra...”. Se pueden encontrar diversos tipos de cimentaciones y dependiendo de tamaño y tipo de la edificación, así va a depender la dimensión y tipología de la misma.

Según Das (2012), se indica que en general, las cimentaciones de edificios y puentes se pueden dividir en dos categorías importantes: 1) cimentaciones superficiales y 2) cimentaciones profundas. Las zapatas aisladas, las zapatas para muros y las cimentaciones con losas de cimentación son cimentaciones superficiales. En la mayoría de las cimentaciones superficiales, la profundidad de empotramiento puede ser igual a o menor que tres o cuatro veces el ancho de la cimentación. Las cimentaciones con pilotes y pilas perforadas son cimentaciones profundas, que se utilizan cuando las capas superiores de los suelos tienen poca capacidad de soporte de carga y cuando el uso de cimentaciones superficiales ocasionará un daño estructural considerable o problemas de inestabilidad.

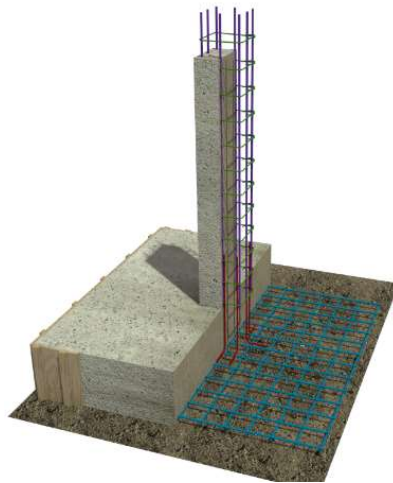


Ilustración 17. Placa Aislada - Nielsen, 2014.



Ilustración 18. Placa Combinada - Elaboración propia, 2019.



Ilustración 19. Placa Corrida - Desconocido.



Ilustración 20. Losa de Cimentación - Elaboración propia, 2018.

2.7.2 Superestructura

Se define como “parte de una construcción que está por encima del suelo”, entiéndase bajo este término todas las estructuras que se encuentran visibles en una obra civil, por ejemplo, losas, paredes, columnas, vigas, entre otros. Hay que tener claro, como lo indica Das (2012) que la superestructura transmitirá su carga a cimentación, por este motivo, entre más pesada sea la superestructura provocará mayores requerimientos en la subestructura, incluyendo aumento en dimensiones de cimentación y sus costos asociados de construcción.

Idealmente debe buscarse reducir el peso de los elementos de la superestructura con el fin de tener placas o columnas de sistemas elevados de menor dimensión en la subestructura.

2.8 Capacidad de carga del suelo

Solís y Araya (2016), indican que:

2.8.1 Definición

La capacidad de carga es la predisposición del suelo de soportar una carga sin que se produzcan fallas en su masa. Se ha visto que la falla por capacidad de carga ocurre como producto de una rotura por corte del suelo de desplante de la cimentación.

2.8.2 Falla por corte general

Se caracteriza por la presencia de una superficie de deslizamiento continua dentro del terreno que se inicia en el borde de la cimentación y que avanza hasta la superficie del terreno. Es usualmente súbita y catastrófica y a menos que la estructura misma no permita la rotación de la zapata ocurre con cierta visibilidad de inclinación un hinchamiento del suelo a los lados. La falla por corte general es la más común. Esta ocurre en suelos relativamente incompresibles y razonablemente densos o compactos o en arcillas saturadas normalmente consolidadas que son rápidamente cargadas prevaleciendo la resistencia no drenada. La superficie de falla está bien definida y la falla ocurre repentinamente. Unos abultamientos aparecen sobre la superficie del terreno adyacente a la cimentación; aunque estos aparecen en ambos lados de la zapata, la falla última ocurre a un solo lado, acompañada por la inclinación de la zapata.

2.8.3 Falla por punzonamiento

Se caracteriza por el asentamiento vertical de la cimentación mediante la compresión del suelo inmediatamente debajo de ella. La rotura del suelo se presenta por corte alrededor de la cimentación y casi no se observa movimiento de este junto a la cimentación, manteniéndose el equilibrio tanto vertical como

horizontal. La falla por punzonamiento es el extremo opuesto de la falla por corte general, esta ocurre en arenas muy sueltas, en delgadas capas de suelo compacto que sobreyace a suelos muy blandos o en arcillas blandas cargadas lentamente y en condiciones drenadas. La alta compresibilidad de tales perfiles de suelo causa grandes asentamientos y superficies de corte verticales pobremente definidas.

2.8.4 Falla por corte local

Representa una transición entre las dos anteriores pues tiene características tanto del tipo de falla por corte general como de punzonamiento. En este tipo de falla existe una marcada tendencia al abultamiento del suelo a los lados de la cimentación y además la compresión vertical debajo de ella es fuerte y la superficie de deslizamiento termina en algún punto dentro de la masa misma del suelo.

2.9 Asentamientos diferenciales

Cuando un estrato de suelo saturado está sometido a un incremento de esfuerzos, la presión de poro del agua aumenta repentinamente. En suelos arenosos que son altamente permeables, el drenaje causado por el incremento en la presión de poro del agua se lleva a cabo inmediatamente. El drenaje del agua de los poros va acompañado por una reducción en el volumen de la masa del suelo, generándose un asentamiento. Debido al rápido drenaje del agua de los poros en los suelos arenosos, el asentamiento inmediato y la consolidación se efectúan simultáneamente. Sin embargo, no es el caso para suelos arcillosos, que tienen baja permeabilidad. El asentamiento por consolidación depende del tiempo (Braja M., 1999).

2.10 Aislación térmica

Según Palomo (2017), se considera aislante térmico aquel material que tiene una conductividad térmica menor que 0.050 W/mK y una resistencia térmica mayor que 0.25 m²K/W. Donde para la conductividad W significa vatio, m es espesor y K es Kelvin (temperatura), y se lee vatio por metro-kelvin; en este caso, entre menor sea el vatio, mejor será la aislación térmica. Para la resistencia térmica m^2 es el área, K es Kelvin y W es vatio y diferente a la conductividad, entre mayor sea el valor de resistencia térmica también llamado valor R , mayor será la aislación térmica.

A continuación, se muestra una imagen de algunos materiales y su capacidad de aislación térmica.

	Conductividad W/m-k	Resistencia m ² -K/W	Transmitancia W/m ² -K	
No aislantes	Basalto	3.500	0.029	35.00
	Piedra arenisca	3.000	0.033	30.00
	Hormigón armado	2.300	0.043	23.00
	Hormigón convencional	1.720	0.058	17.20
	Ladrillo macizo	1.500	0.067	15.00
	Piedra caliza	1.400	0.071	14.00
	Adobe	1.100	0.091	11.00
	Ladrillo perforado	0.740	0.135	7.40
	Bloques de termoarcilla	0.250	0.400	2.50
Intermedios	Madera frondosa	0.180	0.556	1.80
	Madera conífera	0.150	0.667	1.50
	Tablero de partículas de madera	0.130	0.769	1.30
	Hormigón celular	0.090	1.111	0.90
	Panel de perlita expandida (EPB)	0.062	1.613	0.62
Aislantes	Corcho expandido	0.049	2.041	0.49
	Lana mineral	0.040	2.500	0.40
	Poliestireno extruido (XPS)	0.038	2.632	0.38
	Poliestireno expandido (EPS)	0.037	2.703	0.37
	Poliuretano proyectado (PUR)	0.035	2.857	0.35
	Espuma de poliisocianurato (PIR)	0.025	4.000	0.25

Ilustración 21. Materiales aislantes - Ordoñez, 2018.

Nota: Para calcular los valores de resistencia y transmitancia térmica de la tabla anterior se considera que la capa de material tiene un espesor de 10 cm, y no se tienen en cuenta las resistencias térmicas superficiales.

2.11 Sostenibilidad y análisis de sostenibilidad

Según lo define la Organización de las Naciones Unidas, en su informe de Asamblea General en el marco del programa de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, de agosto de 1987, “Nuestro futuro común”. Define como Sostenibilidad o el Desarrollo Sostenible, o también llamado Desarrollo Duradero, como la gestión de asegurar que el desarrollo de la humanidad satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias, mediante el establecimiento de limitaciones al aprovechamiento de recursos del medio ambiente. Con un análisis de sostenibilidad, se busca mostrar como una acción, un proceso, una actividad, un producto o un servicio se mantiene en equilibrio y coherente antes los tres enfoques fundamentales dentro de lo sostenible; el aspecto ambiental, el aspecto social y el económico, donde se busca llevar a la optimización cada enfoque sin afectar desproporcionalmente a otro.

2.11.1 Definición huella de carbono y su relevancia en Costa Rica

Según Schneider y Samaniego (2010) La huella de carbono es la medida del impacto de todos los gases de efecto invernadero producidos por nuestras actividades (individuales, colectivas, eventuales y de los productos que utilizamos) en el ambiente, los cuales son generados a partir de la quema de combustibles fósiles para la producción de energía, calefacción y transporte, entre otros procesos y medidos en unidades de dióxido de carbono equivalente. En Costa Rica en 2007, se propuso la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) como una iniciativa gubernamental que persigue responder a la problemática mundial dentro del ámbito nacional, con una fuerte participación de los diferentes actores y sectores; proponiendo la carbono neutralidad del país en 2021, como la iniciativa para hacer frente a acciones que reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero (ENCC, 2009). Hoy en día este compromiso se ha actualizado estableciendo esta meta para el año 2050, según el Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050, del actual gobierno de Costa Rica.

2.11.2 Sostenibilidad social y el confort como impacto social en la educación

La sostenibilidad social busca la cohesión de la población y una estabilidad de la misma. Se refiere a adoptar valores que generen comportamientos como el valor de la naturaleza, mantener niveles armónicos y satisfactorios de educación, capacitación y concienciación ofreciendo apoyo a la población de un país para superarse, mantener un buen nivel de vida, y promoviendo que se involucren estas mismas personas para crear algo nuevo en la sociedad de la que forman parte hoy en día.

Para garantizar niveles satisfactorios en la educación, es sumamente importante la condición ambiental que tienen los estudiantes en su espacio de estudio en los centros educativos, así lo indica el sexto informe Estado de la Educación del 2017, del Programa Estado de la Nación. Este indica que, según un estudio llevado a cabo en 118 salones de clase de 68 centros académicos diurnos, la mayoría de las aulas se ubican fuera de la zona de confort térmico, lo que provoca un mayor desgaste energético de las y los estudiantes.

Este informe amplía que en general, todas las aulas observadas presentan problemas de ruido, luminosidad y altas temperaturas, que demandan un gasto de energía excesivo a los estudiantes, compitiendo con su concentración para aprender.

El estudio aclara que para evaluar las condiciones físicas y ambientales imperantes en las aulas se utilizó el instrumento “Protocolo de evaluación física y confort”, basado en la herramienta publicada en el Cuarto Informe Estado de la Educación y elaborado por ProDUS-UCR.

En cuanto a la aislación acústica de este estudio reveló que, partiendo de que las mediciones de ruido se realizan en una escala de decibeles (dB), para el caso de Costa Rica, la legislación sobre el control de ruido incluye los centros educativos como parte de las actividades de zonas residenciales, cuyo nivel no debería superar los 65 dB.

Por su parte, la Organización Mundial de la Salud (OMS) establece 35 dB como el valor recomendable para que las condiciones en los salones de clase sean

apropiadas. Las aulas evaluadas registran valores muy superiores a los límites establecidos nacional e internacionalmente y superan los valores máximos para zonas comerciales e industriales (70 dB).

En cuanto a la aislación térmica la humedad relativa promedio osciló entre 67,2% y 70,5%; los valores son aceptables cuando las temperaturas se ubican entre 20 °C y 27 °C. Sin embargo, las temperaturas reflejaron valores mayores, sobre todo en centros educativos de bajo desempeño.

El informe concluye indicando que los resultados del estudio constituyen un llamado de atención a las autoridades educativas para actuar sobre aspectos de la infraestructura en los salones de clase, que permitan a los estudiantes una estancia más agradable en las horas lectivas. Es posible lograr mejoras sustantivas en los espacios físicos con un monitoreo constante del estado de los materiales y una atención temprana para evitar su deterioro.

Otros cambios requieren inversiones deliberadas de los centros educativos y la Dirección de Infraestructura y Equipamiento Educativo (DIEE) del MEP, que deben tomar en cuenta criterios expertos sobre la adecuada adaptación de los salones de clase para que se conviertan en aliados y no en obstáculos para el aprendizaje.

2.11.3 Sostenibilidad económica y su relevancia en los fondos públicos

La sostenibilidad económica se encarga de que las actividades que buscan la sostenibilidad ambiental y social, además de ser sostenibles, sean rentables o tengan un costo equilibrado. Gracias a ello se busca que las medidas para mitigar o eliminar el impacto ambiental, no perjudiquen la economía global, máxime cuando se trata de fondos públicos de una nación en vía de desarrollo como lo es Costa Rica, la cual debe procurar mantener buenos estándares de reducción de emisiones sin ver reducida su capacidad de producción y de desarrollarse.

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Enfoque de la investigación

Según Barrantes (2013), la investigación es “un proceso sistemático, formal, inteligente y controlado que busca la verdad por medio del método científico que nace de un sentimiento de insatisfacción”. (p. 36).

Existen dos enfoques en la investigación, enfoque cuantitativo y cualitativo, a continuación, se detallan cada uno de los mencionados. Según Hernández (2014), el enfoque cuantitativo es:

Un conjunto de procesos secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos “brincar” o eludir pasos. El orden es riguroso, aunque desde luego, podemos redefinir alguna fase. Parte de una idea que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se traza un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos, y se extrae una serie de conclusiones (p. 4).

En resumen, el enfoque cuantitativo es el que trata de cumplir con la tarea de comprobar las teorías por medio de la recolección de datos, para este enfoque se realizan y aplican herramientas confiables, como lo son las pruebas o entrevistas.

En cuanto al enfoque cualitativo, Hernández (2014) indica que:

Se guía por áreas o temas significativos de investigación. Sin embargo, en lugar de que la claridad sobre las preguntas de investigación e hipótesis preceda a la recolección y el análisis de los datos (como en la mayoría de los estudios cuantitativos), los estudios cualitativos pueden desarrollar preguntas e hipótesis antes, durante o después de la recolección y el análisis de los datos. Con frecuencia, estas actividades sirven, primero, para descubrir

cuáles son las preguntas de investigación más importantes; y después, para perfeccionarlas y responderlas. La acción indagatoria se mueve de manera dinámica en ambos sentidos: entre los hechos y su interpretación, y resulta un proceso más bien “circular” en el que la secuencia no siempre es la misma, pues varía con cada estudio. (p. 7).

Para este enfoque, la información que se recolecta es basada en la observación de comportamientos naturales, respuestas abiertas y posteriormente a la interpretación de estas respuestas.

Esta investigación se basa en el enfoque cualitativo, debido a que se analizan y comentan acerca de las características de diversos sistemas constructivos con el fin de cumplir con los objetivos planteados en el capítulo 1, el cual consiste en realizar un análisis de sostenibilidad de tres sistemas constructivos para la implementación del MEP-DIEE como diseño prototipo de subestructura y superestructura, para escuelas de pabellones elevados, a construirse en zonas inundables.

3.2 Tipo de investigación

El tipo de investigación según Hernández (2014), está compuesto por cuatro elementos: exploratorio (se emplean cuando el objetivo consiste en examinar un tema poco estudiado o novedoso), descriptivo (busca especificar propiedades y características importantes de cualquier fenómeno que se analice), correlacional (asocian variables mediante un patrón predecible para un grupo o población) y explicativo (pretenden establecer las causas de los sucesos o fenómenos que se estudian). (pp. 91-95).

La investigación que se presenta en este documento se clasifica como descriptiva, debido a que busca exponer cualidades y emitir conclusiones sobre las propiedades, características de procesos, objetos o cualquier otro fenómeno sometido a un análisis.

3.3 Sujetos y fuentes de información

3.3.1 Sujetos

Carvajal L. (2018), dice que un sujeto es:

Es el individuo que asume el papel de investigador en un proyecto científico individual o en colaboración. Es quien se adentra en el conocimiento, asimilación, comprensión y estudio del objeto de Investigación, del problema de investigación, de las hipótesis que deben ser demostradas y de las invenciones y descubrimientos que se realizarán para dar soluciones a las necesidades sociales de una comunidad.

Para la realización de este trabajo, se utilizan aportes de ingenieros que se desenvuelven como profesionales responsables contratados por juntas de educación para el desarrollo de escuelas.

3.3.2 Fuentes de información

Rivera y González (2015) citado por Hernández Sampieri (2008), señalan que la fuente de información “son un instrumento para el conocimiento, la búsqueda y el acceso de a la información.” (p. 30-39).

3.3.2.1 Fuentes primarias

Rivera y González (2015) citado por Hernández (2008), menciona que las fuentes primarias:

Contienen información original, es decir, son de primera mano, son el resultado de ideas, conceptos, teorías y resultados de investigaciones. Contienen información directa antes de ser interpretada, o evaluado por otra persona. Las principales fuentes de información primaria son los libros, monografías, publicaciones periódicas, documentos oficiales o informe técnicos de instituciones públicas o privadas, tesis, trabajos presentados en conferencias o seminarios, testimonios de expertos, artículos periodísticos, videos documentales, foros. (p. 30-39).

Se toman para este trabajo fuentes primarias como libros especializados en ingeniería, así como también manuales técnicos de los distintos proveedores.

3.4 Metodología e instrumentación

Objetivo específico	Metodología	Instrumento
<p>a) Identificar tres opciones de sistemas constructivos livianos de cerramiento no implementados por el MEP-DIEE como diseños prototipos, para analizar las cualidades y características de cada material, concluyendo con la recomendación de uno de ellos, y a su vez, este, compararlo con el sistema constructivo liviano de cerramiento actualmente prototipo del MEP-DIEE y evaluar el confort de éste como aporte social para el usuario.</p>	<p>Investigación cualitativa. Estudio comparativo. Evaluación de confort por aislamiento térmica.</p>	<p>Manuales Técnicos de sistemas constructivos, planos prototipo del DIEE.</p>
<p>b) Estudiar un sistema de cimentación no implementado por el MEP-DIEE como diseño prototipo, de un caso modelo de una escuela a construirse en una zona con potencial de inundación, analizando sus características y restricciones respecto al estudio de suelos, para compararlo con el sistema de cimentaciones prototipo del DIEE, evaluando el impacto ambiental mediante su huella de carbono si este segundo se implementara en el caso modelo.</p>	<p>Estudio comparativo. Determinación de huella de carbono.</p>	<p>Planos de diseño, estudio de suelos y planos prototipo del DIEE.</p>
<p>c) Determinar para el caso modelo sus costos estimados de construcción para cimientos y cerramientos, empleando en conjunto ambos sistemas actuales prototipos del DIEE o bien, el sistema liviano a recomendar más el sistema de cimentaciones del caso modelo, con el fin de mostrar si hay un balance positivo entre costos, impacto ambiental y beneficio social, utilizando los segundos, en sitios con condiciones de baja capacidad soportante.</p>	<p>Estimación presupuestaria.</p>	<p>Planos de diseño, estudio de suelos y planos prototipo del DIEE.</p>

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

8.1 Descripción de fichas técnicas de sistemas constructivos livianos de cerramiento

Para este apartado se aclara que queda a responsabilidad de cada profesional las consideraciones de peso, propiedades físicas, mecánicas y capacidades estructurales a la hora de especificar un sistema liviano que se quiera integrar al diseño de un proyecto en específico y que igualmente debe regir sobre las indicaciones técnicas de un fabricante lo que norme el Código Sísmico de Costa Rica.

Aunque en la información extraída de los manuales técnicos de los proveedores de los sistemas se mencionan que algunos de estos tienen capacidades estructurales y que podría construirse con ellos obras de hasta dos niveles. Se aclara que esta información se expone de manera informativa hacia el lector de este documento y no porque esas funciones se vayan a evaluar en este apartado. El enfoque en cuanto al estudio de los siguientes sistemas livianos es, a como se explica en el inicio de este documento, dirigido a su uso como elementos de cerramiento o compartimiento, sin funciones estructurales. Esto se da con el fin de determinar aspectos de componentes del sistema, materiales y procedimientos de instalación, entre otros, para la implementación como paredes livianas de cerramiento, el sistema con mayor facilidad constructiva, con las mejores prestaciones y desempeño a favor del usuario y al costo económico final más favorable.

Además, se mencionan los nombres de los proveedores de los sistemas únicamente como referencia de fuente de información. A la hora de concluir con la recomendación de un sistema, se hace referencia al sistema en sí, no a ninguna marca o empresa en específico que comercialice el sistema.

8.1.1 Descripción del sistema constructivo de panel insulado

Según indica el Manual Técnico de Panacor, es un sistema que se basa en una tecnología aprobada en muchos países y se le conoce genéricamente como SIP (del inglés, Structural Insulated Panel). Un panel insulado consiste en una estructura con un núcleo de poliestireno expandido conocido como EPS (del inglés, Expanded Polystyrene) que se recubre en sus dos caras con una lámina de fibrocemento unidas por perfiles metálicos y tornillos, siendo su principal uso como un elemento liviano, pero de soporte estructural. Como tal, el sistema es muy rápido, limpio, estructuralmente seguro y brinda un acabado final muy fino.

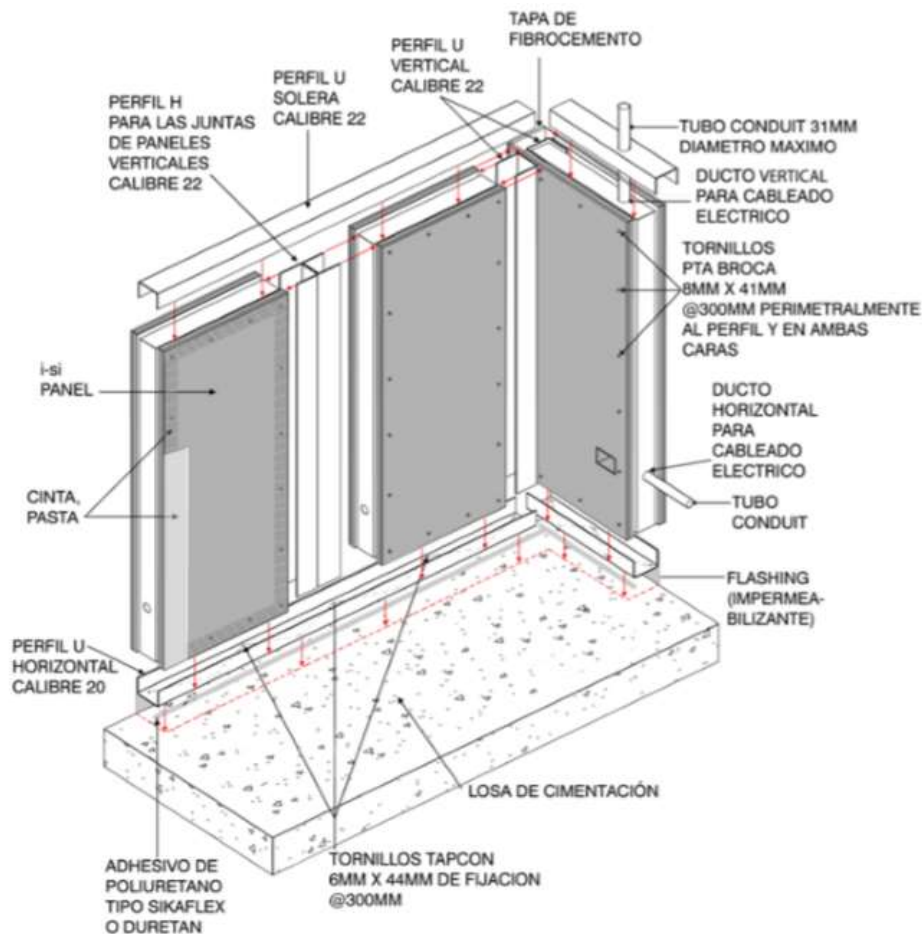


Ilustración 22. Sistema SIP - Panacor.

8.1.1.1 Composición

Según el manual técnico de Panacor, los componentes principales del sistema son:

a. Panel

Es el elemento principal del sistema y consiste en un núcleo de poliestireno expandido que se recubre en sus dos caras con una Lámina de Fibrocemento. La unión de estos dos materiales se hace con un aditivo estructural especial que evita la delaminación y produce un panel resistente, con gran aislamiento térmico, acústico, resistente al fuego y a la humedad.

b. Perfiles de Acero Galvanizado HG Calibre 22

Los perfiles de acero galvanizado son utilizados para fijar los paneles a la cimentación, unirlos entre sí y para formar la solera o viga superior.

c. Tornillos Tapcon

Los tornillos Tapcon son utilizados para fijar los perfiles de acero al concreto de la cimentación garantizando una adherencia estructural capaz de soportar las cargas más exigentes.

d. Tornillos de acero

Los demás tornillos se utilizan para fijar los paneles SIP a los perfiles de acero. Además, son utilizados para unir paneles a otros paneles en situaciones de uniones a esquina, unión de tres vértices “T” u otras. También para fijar la solera superior a los paneles.

e. Flashing (manto impermeabilizante)

El flashing es una cinta especialmente flexible, autoadherente y totalmente impermeable que impide las filtraciones de agua al interior de la estructura.

f. Sellador y materiales de acabado

Como complemento para lograr una pared impermeable, lisa y lista para pintar o aplicar cualquier revestimiento, el sistema i-si utiliza mortero para repello (base coat) tanto en el interior como el exterior, cinta de fibra de vidrio para las juntas entre paneles y pasta especial para juntas, para garantizar que no se produzcan fisuras.

8.1.1.2 Modulaci3n

Seg3n indica el manual t3cnico de Plycem, los paneles se comercializan en dimensiones de 122 cm de ancho (4 pies) y variantes entre 244 cm, 274 cm y 305 cm de alto (8, 9 y 10 pies respectivamente). Sin embargo, es posible modificar las dimensiones de un panel de acuerdo con alguna modulaci3n espec3fica requerida, como pedido especial.

Ante cada proyecto el interesado en la aplicaci3n del sistema SIP puede enviar sus plantas arquitect3nicas al proveedor con el fin de que este genere plantas arquitect3nicas de modulaci3n de paneles, de acuerdo con este plano de modulaci3n se obtendr3an las cantidades y dimensiones de paneles requeridos, a como tambi3n los espacios de buques para puertas y ventanas.

Adicionalmente de acuerdo con plantas arquitect3nicas se puede dejar previsto el refuerzo para mobiliario o equipo de audio y video que se desee anclar a pared.

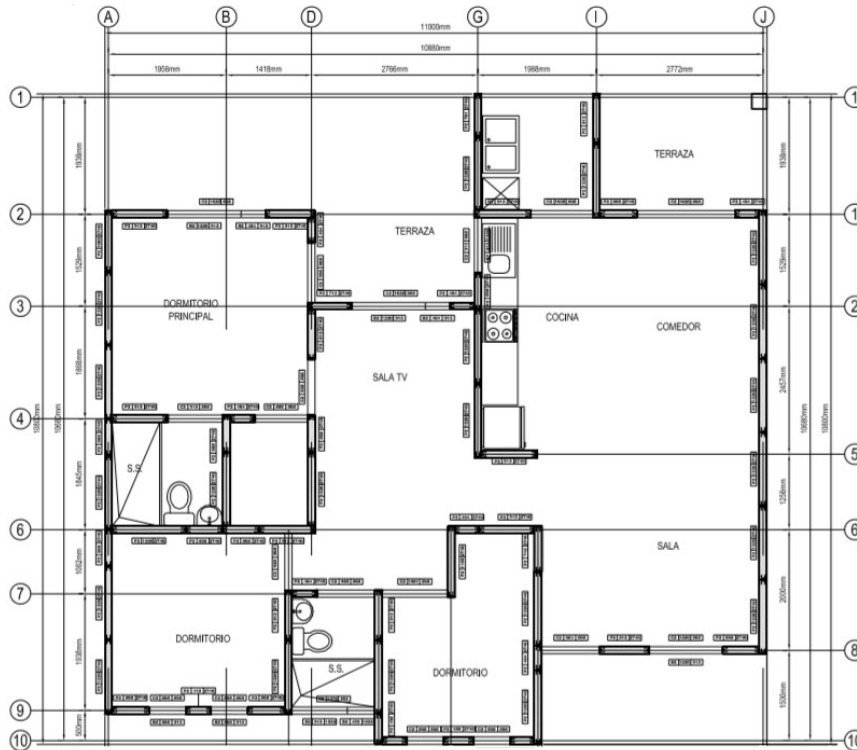


Ilustración 23. Ejemplo de planta arquitectónica de modulación de proveedor con panel SIP - Panacor.

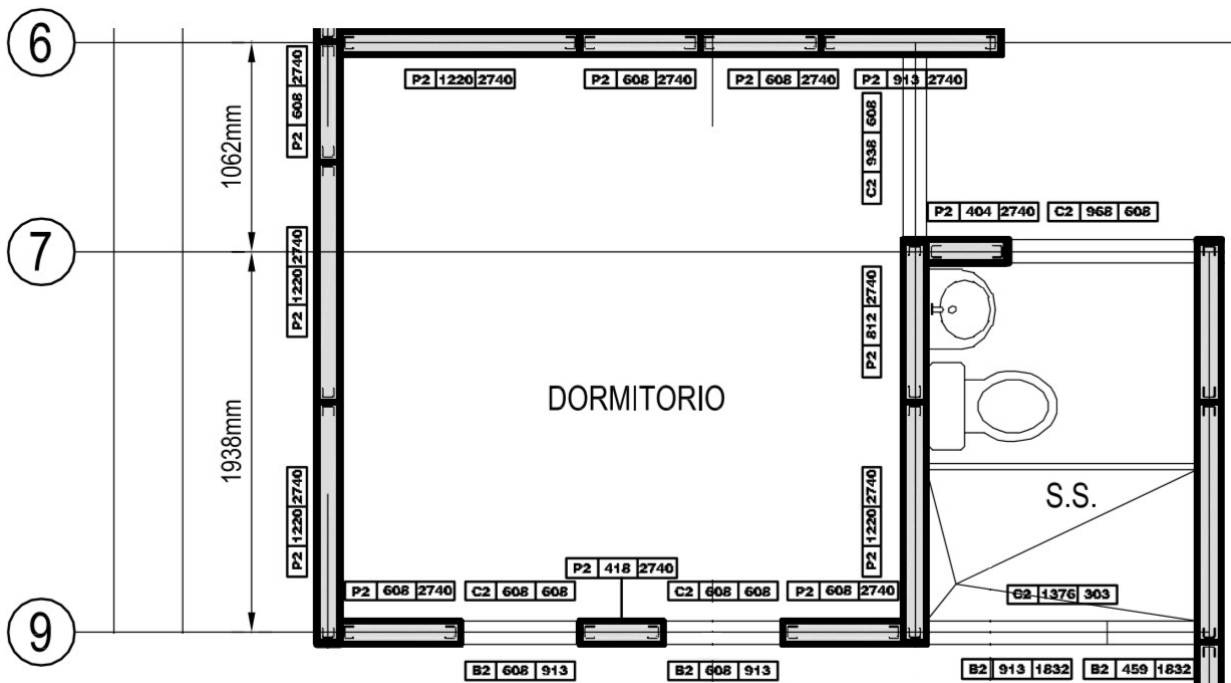


Ilustración 24. Imagen ampliada del dormitorio y S.S., de ejemplo de planta arquitectónica de modulación de proveedor con panel SIP - Panacor.

8.1.1.3 Dimensiones

El panel puede llegar a tener un espesor total de entre 9.5 cm recomendado para compartimientos internos, y hasta 12 cm recomendado para cerramientos externos, esta variabilidad de espesores se consigue variando el espesor del núcleo de poliestireno expandido o la lámina de fibrocemento, ya que la lámina de fibrocemento tiene espesores de 9 mm y 12 mm y el núcleo de poliestireno expandido puede tener espesores de 10, 12 y 15 cm.

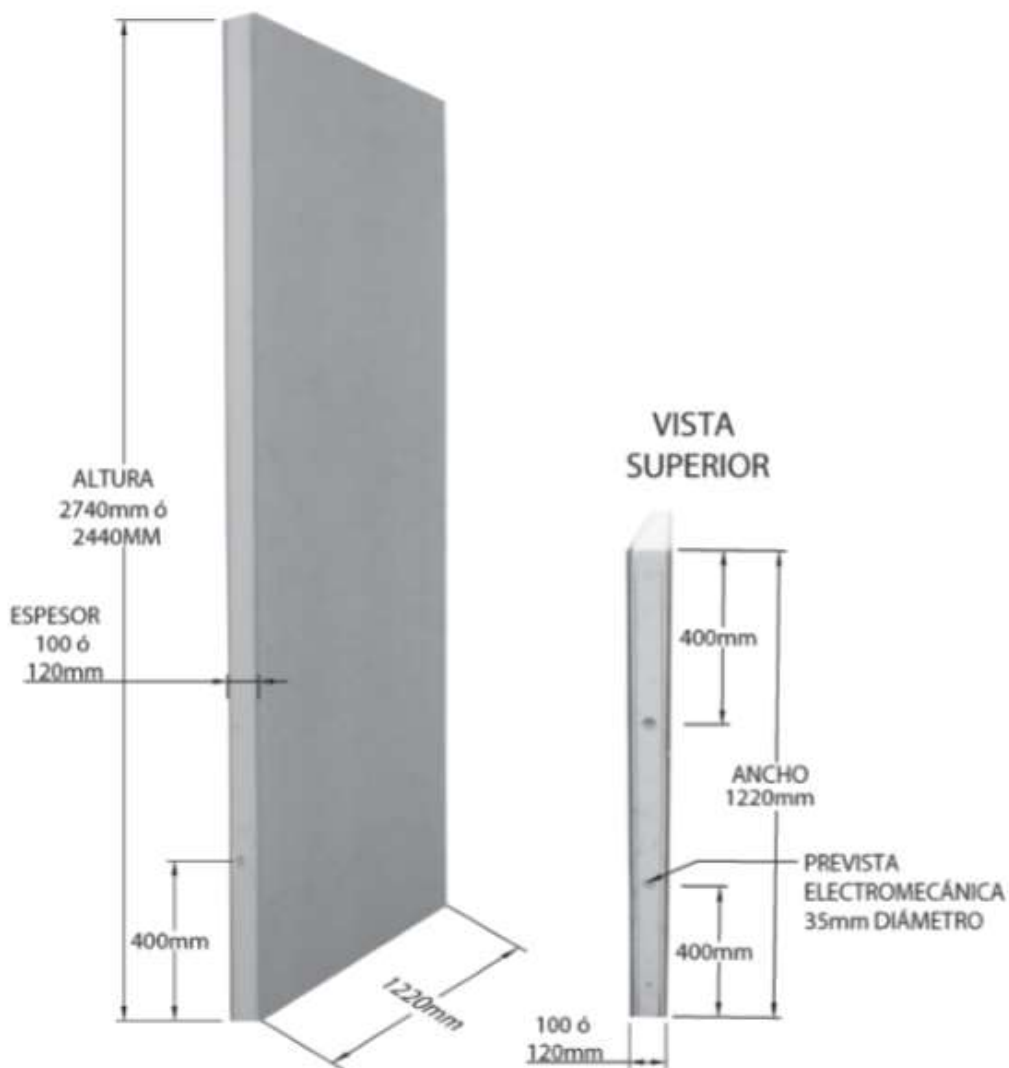


Ilustración 25. Vista isométrica y superior de panel SIP - Panacor.

8.1.1.4 Peso

Según el manual técnico de Panacor, los paneles tienen un peso estimado de 22 kg/m^2 , por lo que un panel de 1.22 m de ancho por 2.44 m de alto, tendría un área de 2.97 m^2 , por ende, un peso total del panel de 65 kg, aproximadamente.

8.1.1.5 Incorporación de sistemas electromecánicos

Según el manual técnico de Panacor, las previstas eléctricas se pueden prever desde la fabricación del panel, presentando al proveedor los planos electromecánicos, sino también hay opciones para realizar en sitio la instalación de tubería y cajas de registro o demás elementos para los sistemas electromecánicos haciendo que el sistema sea moldeable a cualquier requerimiento de diseño de instalaciones eléctricas, de telecomunicaciones, potables o sanitarias.

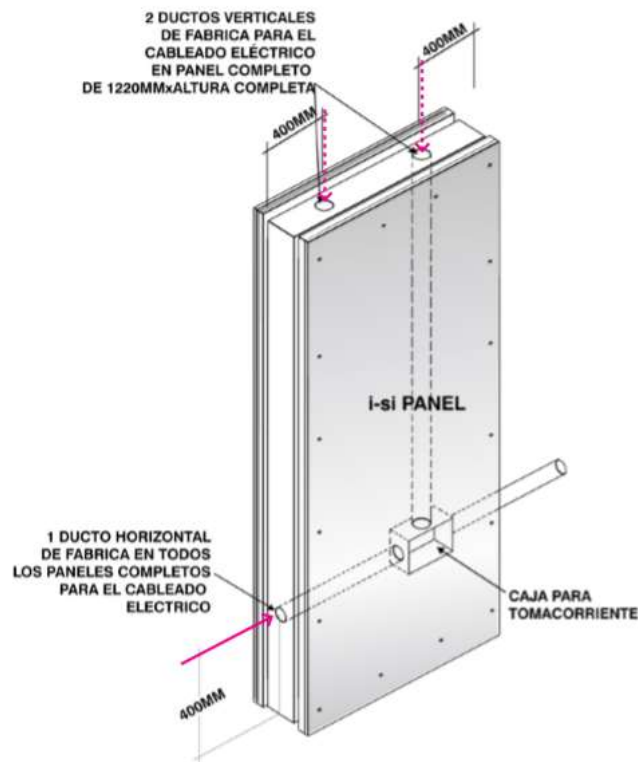


Ilustración 26. Inclusión de canalización eléctrica - Panacor.

a. Instalaciones eléctricas

El panel, desde su producción en fábrica, puede incluir perforaciones verticales y horizontales en el poliestireno que permiten la colocación de instalaciones eléctricas. Cada panel puede tener dos previstas verticales y una horizontal de 1 ¼" para instalar en obra la canalización eléctrica.

Si la ubicación de las previstas no es producida en fábrica según planos de proyecto y si las previstas predeterminadas no coinciden con la ubicación requerida de previstas, puede resolverse en sitio, para colocar las previstas en sitio dentro de los paneles, es necesario hacer cortes en una de las caras de estos para acomodar los artefactos, llaves, accesorios y otros elementos que se ocupen.

Posteriormente a su colocación y a su prueba de presión o inspección, los cortes se deben rellenar mediante mortero de buena adherencia y hacer el tratamiento con malla auto adhesiva de fibra de vidrio, pasta especial de juntas y posteriormente el repello cementicio.

Para las cajas eléctricas se perfora el panel, removiendo el fibrocemento y el poliestireno de manera que la caja se ajuste perfectamente al espacio perforado. Los perfiles tipo H y tipo C verticales contarán con las previstas para las instalaciones eléctricas.

En el caso de la solera estas perforaciones deben ser realizadas en la obra para que coincidan con las previstas del panel. Las cajas se deberán pegar al poliestireno con pegamentos a base de poliuretano o con adhesivo para cerámica.

En el caso de la instalación de centros de carga empotrados, el proveedor podrá suplir los materiales para el montaje del panel en sitio sin el núcleo de poliestireno, de modo que se puedan instalar con mayor facilidad el centro de carga y todas sus tuberías.

b. Instalaciones mecánicas

Para las instalaciones mecánicas como tuberías de agua potable, desagües sanitarios, etc., es necesario realizar en sitio un corte en una de las caras del panel y posteriormente remover el poliestireno que sea necesario.

Una vez que la tubería esté debidamente instalada se realiza un relleno de la cavidad con mortero, procurando que el acabado sea adecuado para recibir una mano de afinado al final. Alternativamente se podrá utilizar espuma de poliuretano para rellenar la cavidad, para luego colocar la tapa de fibrocemento.

Será necesario cortar el perfil C del piso o dejar una discontinuidad en el mismo para colocar la tubería correspondiente, se debe conocer que es posible remover parcialmente el poliestireno del panel para poder instalar la tubería.

8.1.1.6 Limitaciones de uso

Todos los manuales técnicos de los proveedores de este sistema en el país indican que el sistema SIP tiene un alcance de capacidad estructural para construir una edificación de hasta dos niveles.

También se indica que el sistema debe instalarse sobre una losa de contrapiso de mínimo 8 cm de espesor de una resistencia del concreto mínima de 210 kg/cm²; sin embargo, se puede iniciar la instalación a los 7 días de colado del contrapiso o entrepiso, siempre y cuando haya alcanzado una resistencia mínima de 160 kg/cm². Se puede recomendar utilizar acelerantes de fragua para disminuir este tiempo y alcanzar la resistencia mínima requerida.

8.1.1.7 Aislación térmica

Las láminas de fibrocemento del panel son hechas de cemento portland y fibras celulosas y estas son un aislante al calor. Por otra parte, la lámina de poliestireno expandido funciona como aislante térmico principal y se puede mejorar la aislación térmica aumentando el espesor de la lámina.

8.1.1.8 Aislación sonora

El poliestireno expandido es un material plástico espumado muy liviano, resistente a la humedad, a los microorganismos y con capacidad de resistencia térmica y acústica. Se puede mejorar la aislación acústica aumentando el espesor del núcleo de poliestireno.

8.1.1.9 Aislación de humedad

Para evitar el ingreso de humedad es imprescindible colocar un hilo de sellador por ejemplo Duretan o Sikaflex 221, el sellador debe ser colocado antes de ubicar el perfil, adicionalmente se debe proceder a la colocación de una barrera impermeabilizante (Flashing) que se adhiere a la cara exterior del perfil U y a la cimentación. Esto evitará la filtración de humedad hacia el perfil y por ende al interior de la casa. También es necesario colocar el flashing y el hilo de sellador en el perímetro de la ducha en el baño. Cabe mencionar que tanto el núcleo de poliestireno expandido como las láminas de fibrocemento también protegen de la humedad y adicionalmente son incombustibles.

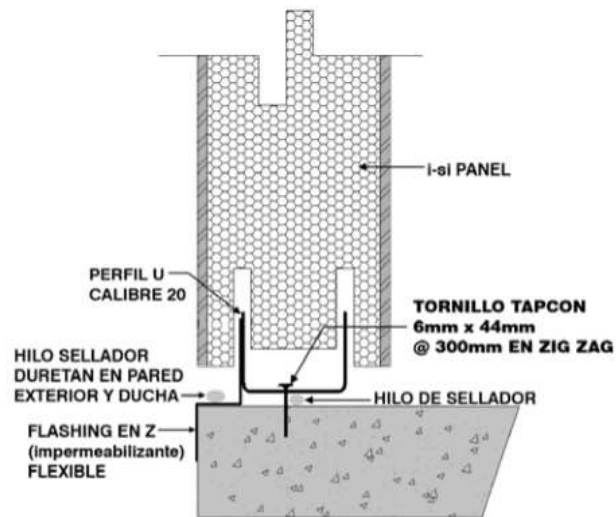


Ilustración 27. Instalación de flashing e hilo de sellador - PANACOR.

8.1.1.10 Instalación y acabado

Según coinciden los manuales técnicos de los diferentes proveedores del sistema, se describe a continuación el procedimiento de instalación:

a. Trazado

Según indica el manual técnico de Panacor, para el trazado es necesario tirar cuerdas para alinear adecuadamente el perfil U del piso y las paredes, dar la línea de pared, como la línea de perfil de piso y dejar el espaciamiento para que entre el otro panel en las esquinas e intersecciones, según el trazado.

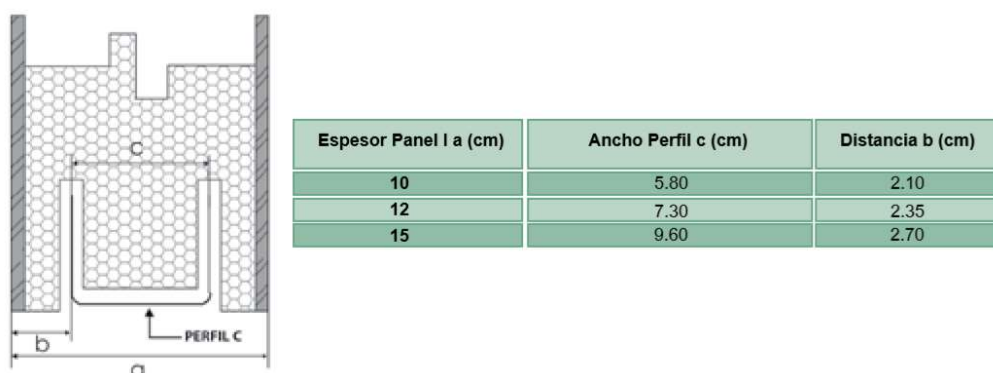


Ilustración 28. Espaciamiento para trazado - Panacor.

b. Anclaje de canal de HG a la losa

Según el manual técnico de Panacor, se fija el perfil a la losa mediante tornillos Tapcon de 6x44 mm, colocando en sus extremos dos tornillos separados a 50 mm y longitudinalmente a cada 300 mm en zigzag.

Se deben utilizar brocas de 3/16 para hacer los huecos y asegurarse de limpiar los huecos antes de colocar los tornillos.

En las uniones en T, 45° y 90° se debe iniciar la fijación del perfil con dos tornillos Tapcon separados a 40 mm y luego a cada 300 mm en zigzag.

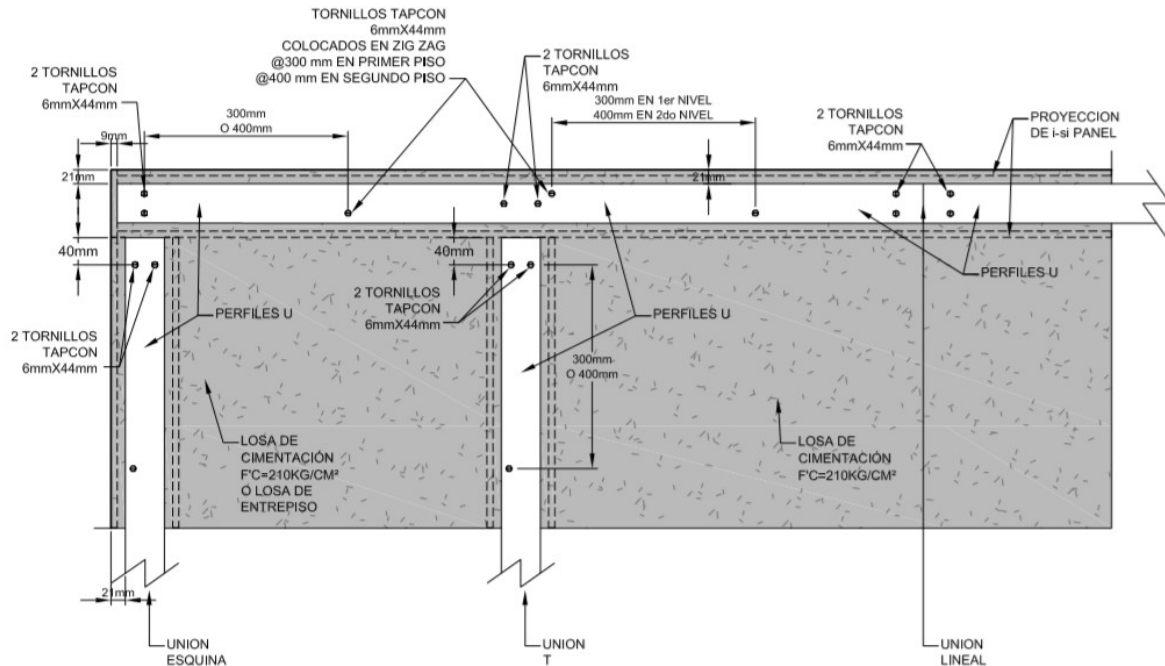


Ilustración 29. Anclaje de perfil tipo canal en piso - Panacor.

c. Fijación del panel SIP al canal de piso

Según indica el Manual Técnico de Plycem, una vez se haya anclado el canal a la base de concreto se procede a atornillar el primer panel, asegurando el nivel vertical. Se recomienda comenzar a instalar los paneles iniciando desde una esquina.

d. Unión entre paneles

Según el manual técnico de Plycem, en la unión de paneles entres sí pueden usarse las siguientes técnicas según requerimientos estructurales: unir mediante extensión o fleje de fibrocemento, unir mediante poste de madera o unir mediante canal de acero galvanizado, siendo más recomendado el uso del acero galvanizado.

Las uniones entre los paneles estructurales son resueltas normalmente utilizando perfiles de acero unidos entre sí mediante tornillos de gran capacidad.

Para las uniones mediante perfiles de acero galvanizado se debe utilizar tornillería de acero. Para las juntas entre paneles se utilizan un perfil H calibre 22 y tornillos de punta de broca de 8 x 1 5/8" para unir el panel tanto con el perfil de la base como con los perfiles verticales, estos tornillos deben estar colocados en ambas caras del panel.

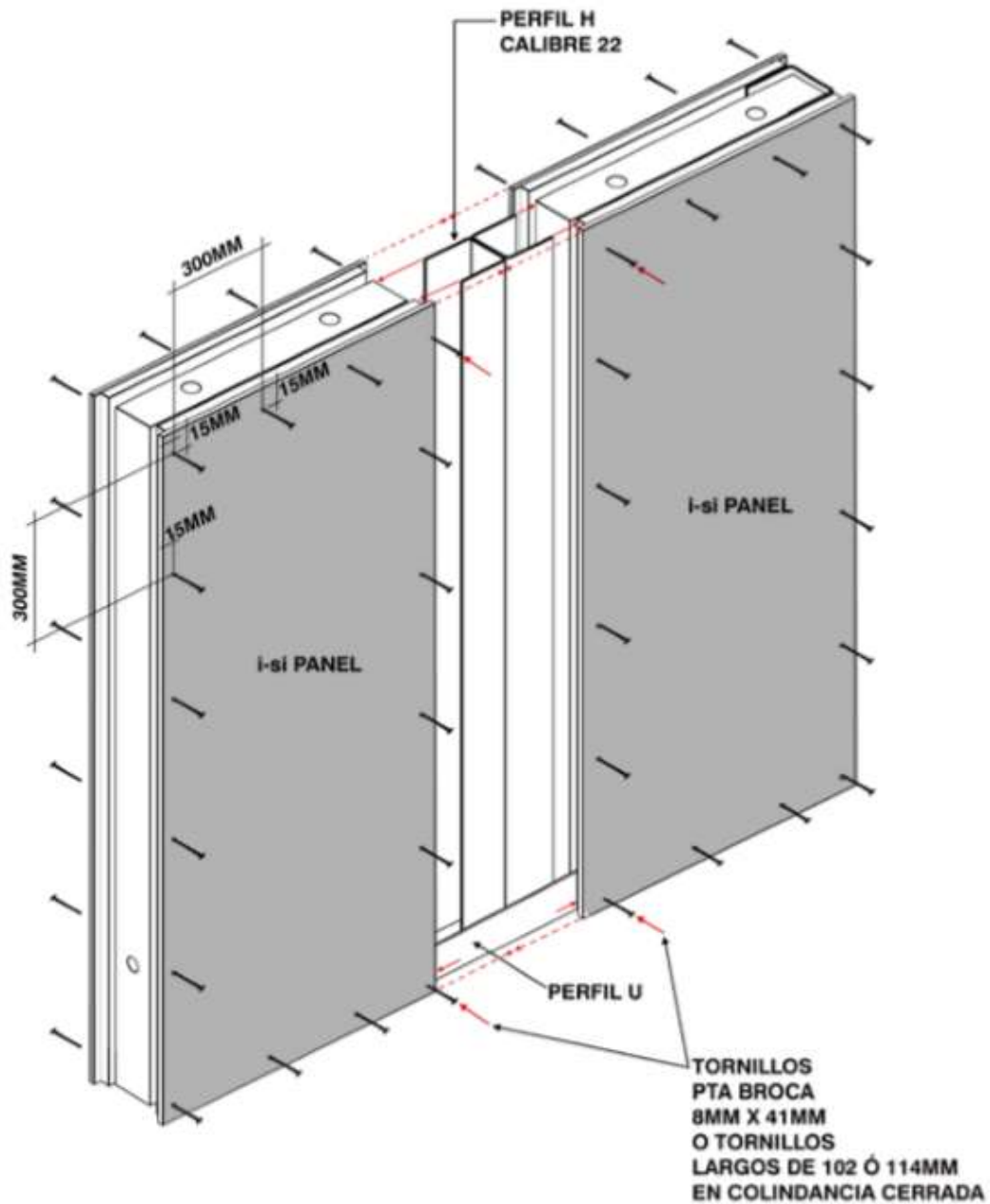


Ilustración 30. Unión lineal entre paneles - Panacor.

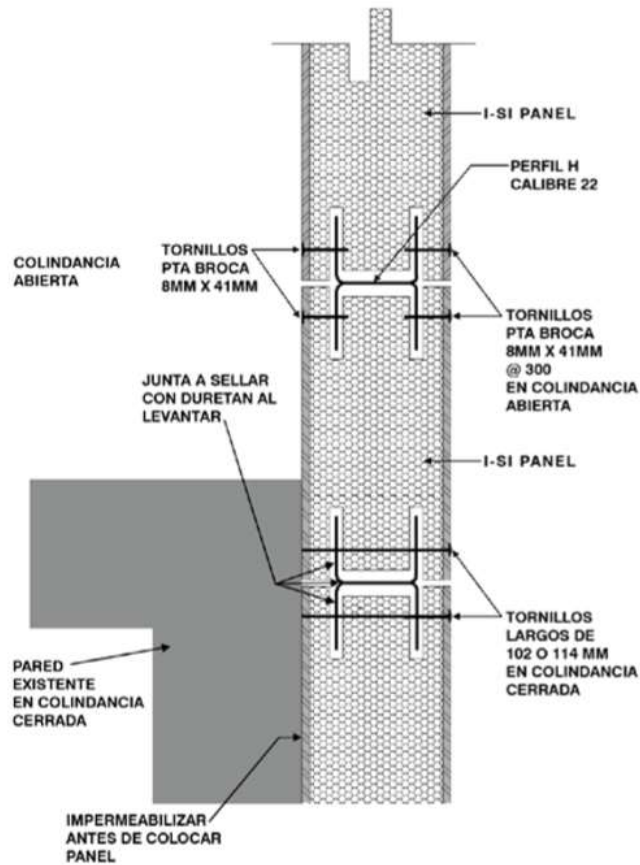


Ilustración 31. Unión lineal en colindancia cerrada - Panacor.

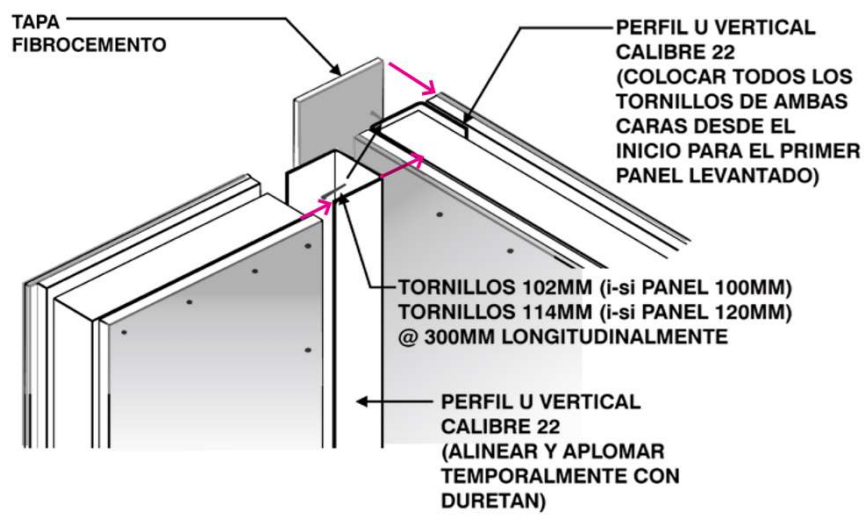


Ilustración 32. Unión esquinera entre paneles SIP - Panacor.

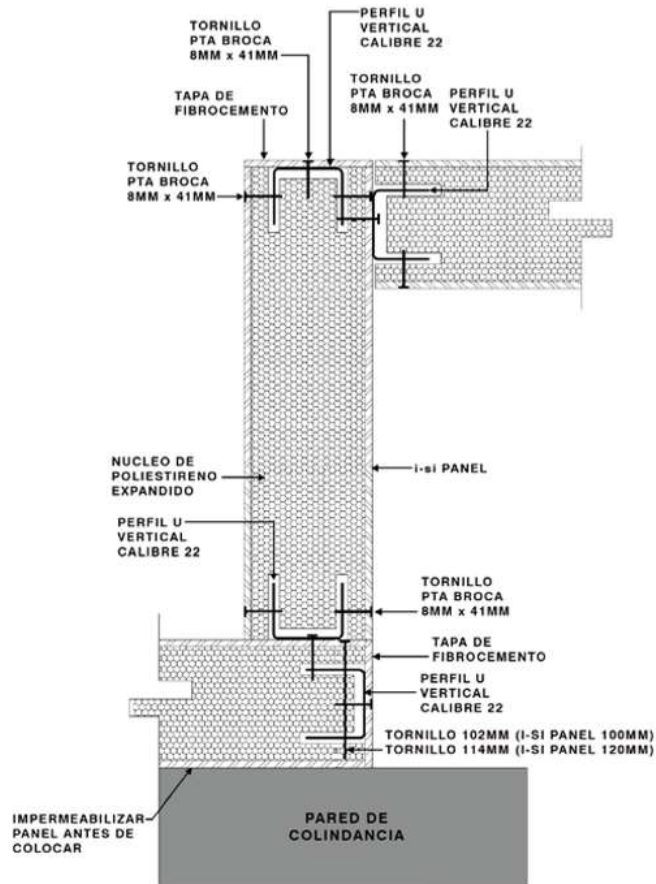


Ilustración 33. Unión esquinera en colindancia cerrada - Panacor.

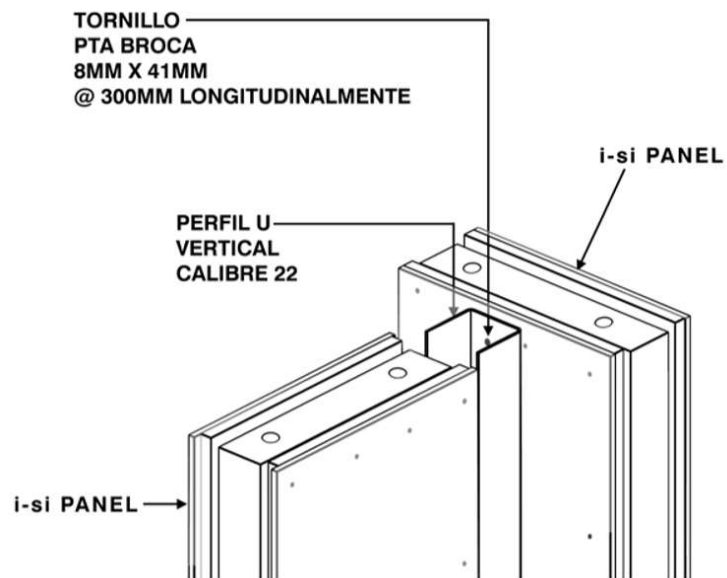


Ilustración 34. Unión tipo T entre paneles SIP - Panacor.

e. Unión con cargadores

Según el manual técnico de Panacor, los cargadores de puertas y ventanas soportan cargas normales concentradas como las generadas por cerchas o entrepisos. La distancia máxima que el diseñador puede utilizar seguramente sin existir un recálculo estructural es de 2m. de apertura libre. Después de esto, o si hay un elemento que concentra esfuerzos anormales sobre el cargador, se debe colocar un refuerzo acorde al diseño.

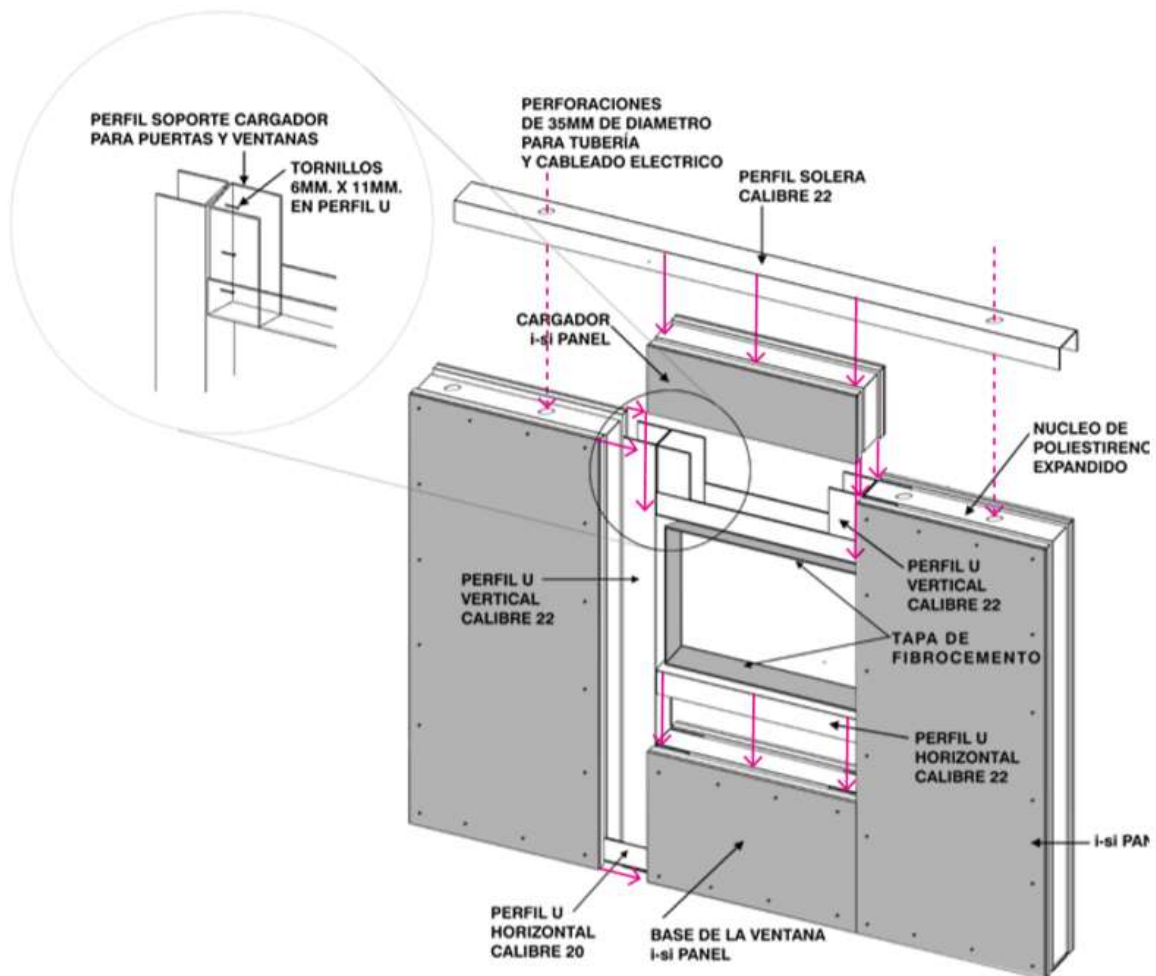


Ilustración 35. Unión entre paneles de pared y paneles tipo cargador para puertas y ventanas - Panacor.

f. Tratamiento de juntas

Según el manual técnico de Panacor, todas las juntas entre paneles deben ser tratadas con malla de fibra de vidrio adhesiva. En los filos vivos de las esquinas y de los buques de puertas y ventanas deben utilizarse esquineros o productos similares para reforzar y mejorar la calidad del acabado.



Ilustración 36. Aplicación de sellado de juntas - Panacor.

g. Acabado

Luego de tratada la junta aplicar el repello fino de “base coat” a toda la superficie de paneles por amabas caras, si el cliente lo desea posteriormente puede aplicar pasta de revestimiento, estuco externamente, enchapar o pintar directamente.



Ilustración 37. Aplicación de "base coat" posterior al tratamiento de juntas - Panacor.

8.1.2 Descripción del sistema constructivo Emmedue - M2

Según el Manual Constructivo de Emmedue - M2 (2008), distribuido por Grupo Sur bajo el nombre de Sistema MKS o por Panelco bajo el nombre Sistema Constructivo Panelco, se indica que el sistema constructivo Emmedue se ha desarrollado a partir de la utilización de paneles de poliestireno expandido y mallas de acero.

La finalidad es proveer un sistema de paneles modulares prefabricados, que además de ahorrar tiempo de construcción y mano de obra logra resolver en un solo elemento las funciones estructurales y autoportantes, simplificando su ejecución, entregando elevados coeficientes termoacústicos y gran versatilidad de formas y acabados en obra.

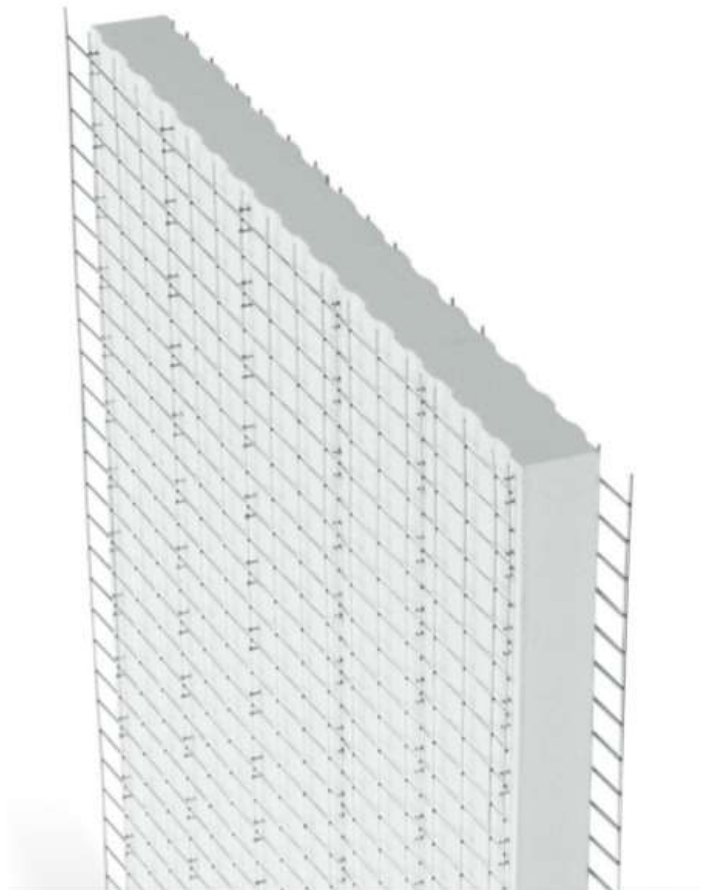


Ilustración 38. Panel M2 - Emmedue, 2008.

8.1.2.1 Composición

Según el Manual Constructivo de Emmedue - M2 (2008), el panel se compone de:

a. Núcleo central de poliestireno expandido

No tóxico, auto extingible, químicamente inerte y de densidad y morfología variable según el modelo.

b. Mallas de acero electrosoldado

Trefilado y galvanizado, colocadas en ambas caras del poliestireno expandido y vinculadas entre sí por conectores del mismo material e iguales características. Sus calibres varían según modelo de panel y dirección de la malla.

c. Mortero lanzado

El panel Emmedue es terminado con mortero estructural proyectado, una vez que este ha sido montado en obra.

d. Mallas de refuerzo

La malla de refuerzo es realizada con acero galvanizado, con un diámetro de 2.5 mm, utilizándose para reforzar buques de puertas o ventanas y encuentros en ángulo entre paneles, con lo cual se da continuidad a la malla estructural. Se fijan al panel con amarres realizados con alambres de acero o grapas.

8.1.2.2 Modulación

El panel M2, según se indica en su Manual Técnico, se modula por parte del proveedor según el diseño arquitectónico, el cliente debe dar al proveedor los planos de su proyecto para que este realice la modulación con paneles M2 y le entregue los respectivos planos de modulación.

8.1.2.3 Dimensiones

Según el Manual Constructivo de Emmedue - M2 (2008), el espesor de la plancha de poliestireno puede ser variable, desde 4 cm hasta 6 cm. La colocación de la malla electrosoldada se separa 1 cm del poliestireno. El mortero lanzado recubre el centímetro de separación entre el poliestireno y la malla y 2.5 cm adicionales sobre la malla. La medida final del panel puede variar entre 11 y 15 cm.

8.1.2.4 Peso

Según Grupo Sur, el panel una vez recubierto con Pegasur proyectable puede llegar a tener una densidad de 120kg/m² a la diferencia de una estructura en mampostería que ronda los 350kg/m² aproximadamente.

8.1.2.5 Incorporación de sistemas electromecánicos

Según el Manual Constructivo de Emmedue - M2 (2008), las fases de colocación de los tubos para la instalación eléctrica como para la instalación hidro-termo-sanitaria, se ejecutan una vez que se ha finalizado el montaje de los paneles y antes de la terminación con el mortero estructural. Las canalizaciones se ejecutan directamente en el poliestireno deprimiendo el mismo usando preferiblemente una pistola de aire caliente. Es conveniente ejecutar con cuidado el moldeado de las canalizaciones para no reducir excesivamente el espesor del poliestireno y garantizar siempre unos 4 cm de aislante en la pared. En los casos en los cuales, a causa de exigencias imprevistas, no fuera posible introducir los conductos en el interior de las paredes se deberán realizar cajones. Los posibles cortes de la malla en donde se encuentran las cajas eléctricas u otros accesorios de tamaños superiores al estándar deberán ser restaurados, con mallas planas de refuerzo, antes de la aplicación del mortero estructural.

Para tubos que por su diámetro no puedan instalarse por debajo de la malla y requieran el cortado de ésta, se deberá reconstituir la zona con una malla de refuerzo en la parte requerida.

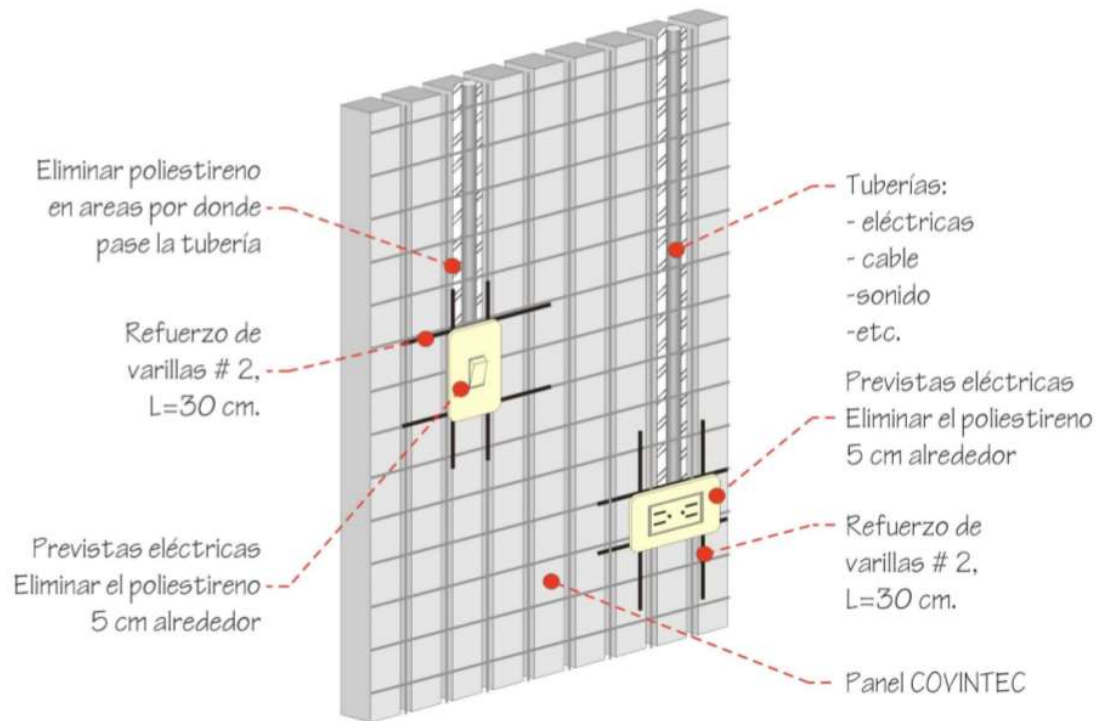


Ilustración 39. Instalación eléctrica en panel - Panelco, 2009.

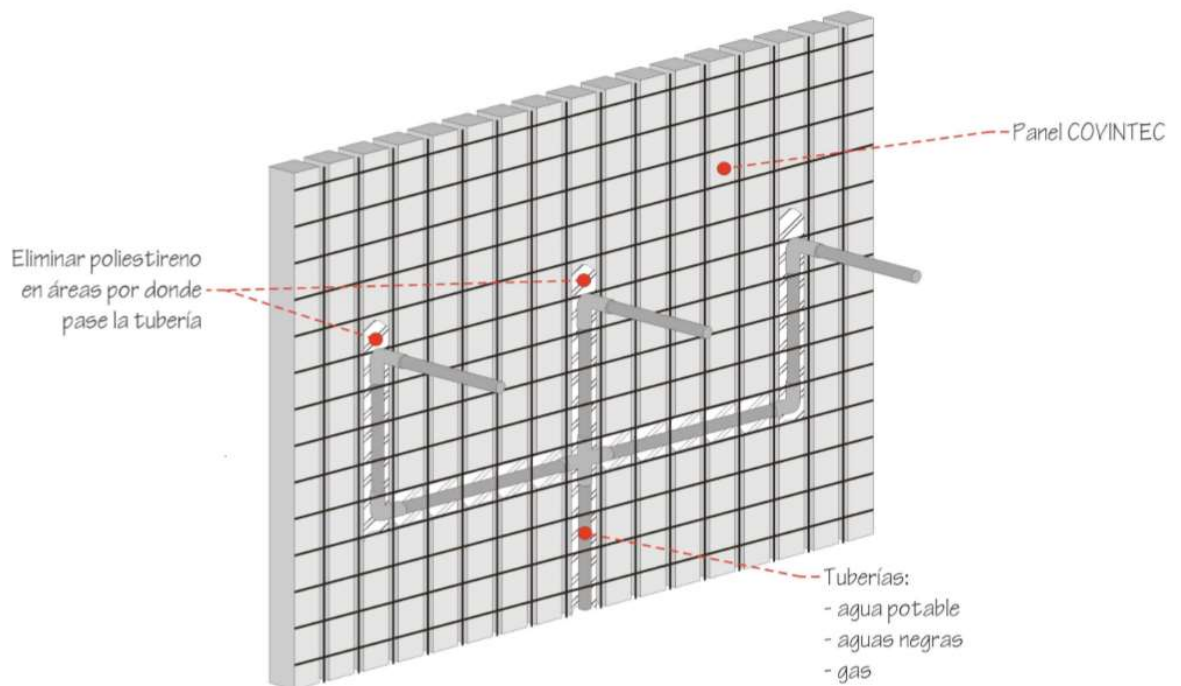


Ilustración 40. Instalación mecánica en panel - Panelco, 2009.

8.1.2.6 Limitaciones de uso

Según el manual técnico de M2, en caso de lluvia se aconseja interrumpir los trabajos y cubrir los ya terminados para que no se produzcan desprendimientos del mortero lanzado fresco. El mortero lanzado no debe aplicarse con temperaturas externas inferiores a 4° C; con temperaturas elevadas (>30° C) y en presencia de ventilación la capa de mortero lanzado deberá mantenerse húmeda.

8.1.2.7 Aislación térmica

El manual constructivo de Emmedue - M2 (2008), indica que “En lo que respecta al aislamiento térmico del poliestireno, basta decir que un panel de 10 cm. de espesor terminado, con un alma de poliestireno de 4 cm. y densidad 15 Kg/m³, equivale térmicamente a una pared de ladrillos comunes de 64 cm. de espesor”. (p. 5).

8.1.2.8 Aislación sonora

El Manual Constructivo de Emmedue - M2 (2008), indica que el sistema puede entregar elevados coeficientes de aislamiento acústico; en efecto, esta se considera una de las ventajas del sistema.

8.1.2.9 Aislación de humedad

El Manual Constructivo de Emmedue - M2 (2008), no especifica medidas de atenuación de humedad para este sistema.

8.1.2.10 Instalación y acabado

Según el Manual Constructivo de Emmedue - M2 (2008), estos serían los puntos importantes en el proceso de instalación del sistema:

a. Fundaciones

La obra realizada con paneles Emmedue comienza con una fundación que puede estar constituida por un cimiento corrido, placa de fundación, losa flotante o viga apoyada sobre pilotes. En cualquiera de las anteriores se prevén refuerzos verticales de amarre en número, dimensión y largo en función de la tracción en la base del panel (generalmente a cada 40 cm y de salientes sobre el nivel de colado de la fundación de 50 cm).



Ilustración 41. Refuerzo vertical saliente para amarre con panel - Emmedue, 2008.

b. Montaje de paneles

Los paneles son instalados en la obra amarrando la malla metálica a los refuerzos verticales de anclaje de la fundación, por medio de alambre de acero. Se debe iniciar desde una esquina. Para garantizar la continuidad de los elementos, los paneles Emmedue son dotados en ambos lados de una malla de traslape que permite unir cada uno de los paneles a la malla del panel adyacente.

En esta etapa deben cuidarse especialmente la verticalidad y alineación de los paneles. Los eventuales desplomes constituirían elementos de debilidad estructural mientras los espacios vacíos entre los empalmes pueden ocasionar retiros diferenciados del mortero lanzado y fuentes de puentes térmicos.

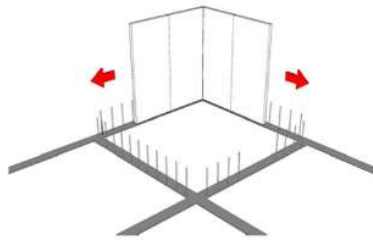


Ilustración 42. Inicio de instalación de paneles desde las esquinas - Grupo Sur.

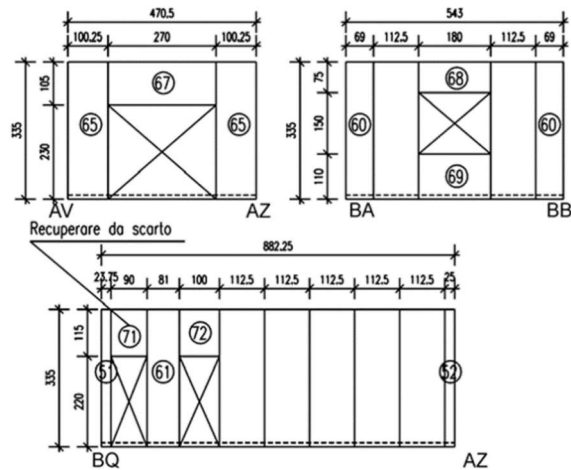


Ilustración 43. Vista en elevación del diseño de modulación de paredes - Emmedue, 2008.

c. Colocación de mallas de refuerzo

Mallas angulares (RG1): Se procede a reforzar mediante la malla angular RG1 todos los cantos y esquinas externas e internas de la construcción, tanto verticales como horizontales, dando continuidad a la malla estructural.

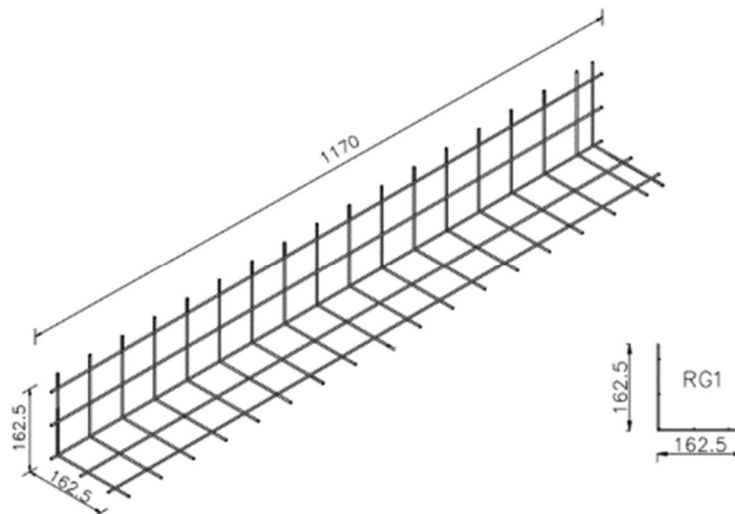


Ilustración 44. Malla de refuerzo tipo RG1 - Emmedue, 2008.

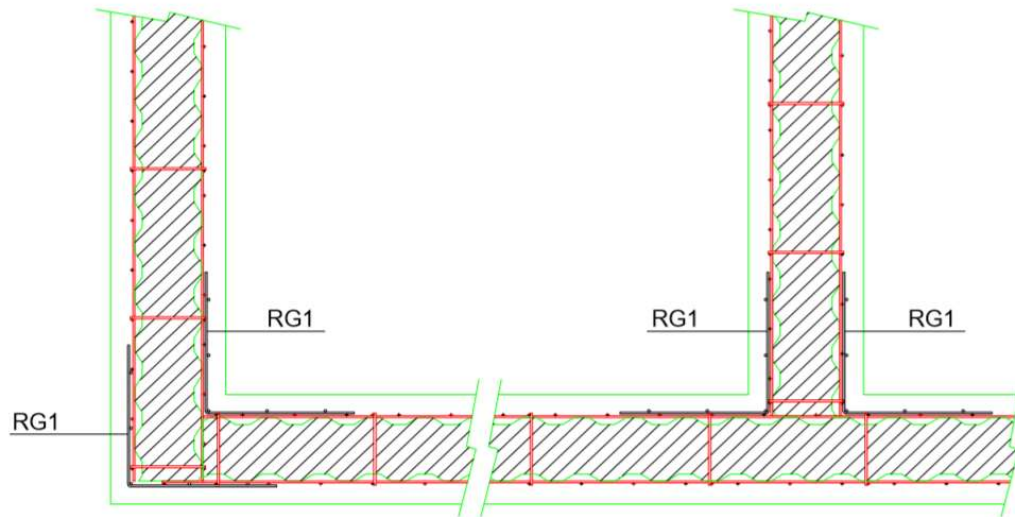


Ilustración 45. Colocación de malla RG1, vista en planta - Emmedue, 2008.

Mallas planas (RG2): Todos los vértices de los buques deben ser reforzados, tanto en el lado interno como en el lado externo, con la adición de una malla plana RG2 a 45° respecto a la esquina que se refuerza. Los dinteles antepechos, con luces superiores a 1.20 m, pueden ser reforzados con armadura de refuerzo por ambas caras.

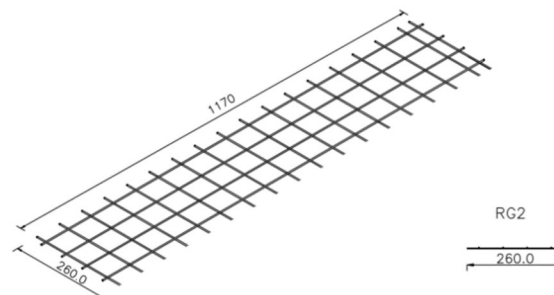


Ilustración 46. Malla de refuerzo tipo RG2 - Emmedue, 2008.

Mallas en U (RU): A lo largo del perímetro de las aberturas de puertas y ventanas se colocarán mallas de refuerzo en U o, alternativamente, mallas angulares dobles RG1 para cerrar el panel. Para la aplicación de los marcos es

necesario rebajar el poliestireno en los puntos de anclaje con el fin de conseguir una correcta unión entre la pata de acero de anclaje y el interior de la malla del panel.

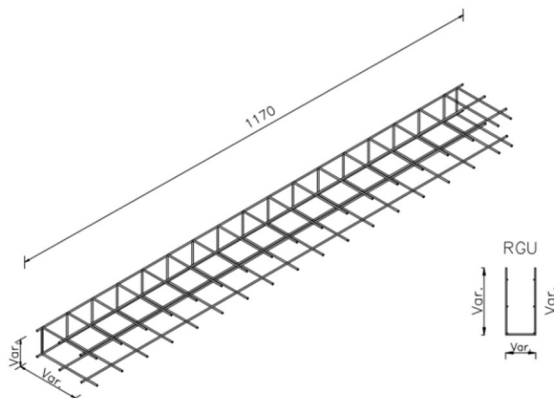


Ilustración 47. Malla de refuerzo tipo RU - Emmedue, 2008.

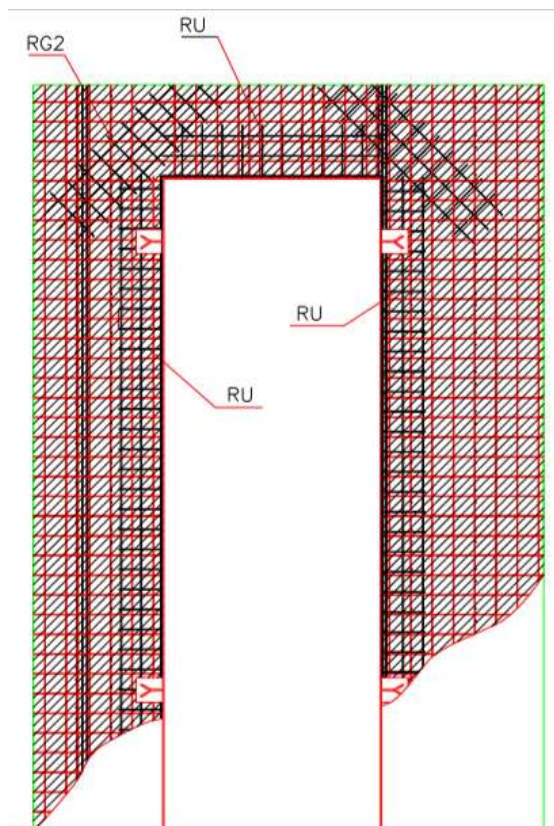


Ilustración 48. Colocación de malle tipo RG2 y RU, vista frontal - Emmedue, 2008.

d. Aplicación de mortero lanzado

Una vez alineados y aplomados los paneles, colocadas las mallas de refuerzo, reconstituidas las mallas cortadas por instalaciones electromecánicas, colocada armadura de refuerzo adicional (si así se requiriera), se pueden iniciar las labores de aplicación del mortero proyectado donde sea necesario.

El panel simple Emmedue utilizado como elemento portante se completa en obra con una capa de mortero lanzado de cemento y arena de 3,5 cm. de espesor promedio en cada cara. Este mortero tendrá una granulometría comprendida entre 0 y 6 mm y una vez seco tendrá una resistencia característica de al menos 25 Mpa.

Se debe tener en cuenta que siempre que se esté aplicando el mortero lanzado en una cara del panel, sea esta exterior o interior, la cara opuesta se debe mantener apuntalada.

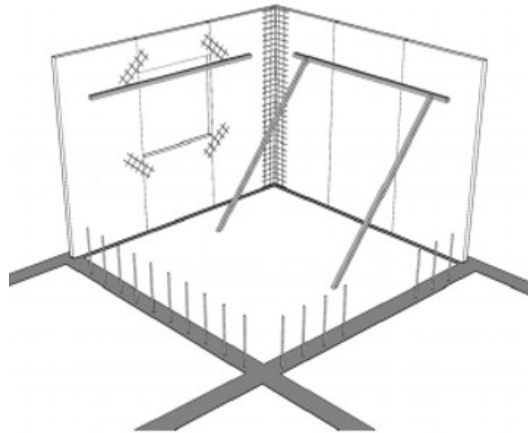


Ilustración 49. Apuntalamiento en cara opuesta al lanzamiento de mortero - Grupo Sur.



Ilustración 50. Aplicación del mortero lanzado - Emmedue, 2008.

Cemento	:	350 Kg
Arena	:	1.600 Kg
Agua	:	160 litros

Ilustración 51. Dosificación recomendada por m3 del mortero lanzado - Emmedue, 2008.

8.1.3 Descripción del sistema prefabricado de columnas y baldosas horizontales

Según la ficha técnica de los productos Prefa PC de la compañía Productos de Concreto, la finalidad de este sistema constructivo es que proporcione paredes de concreto, pero sin la necesidad de construirlas en sitio, prefabricando las columnas y baldosas en planta y llevándolas a la obra para únicamente proceder con la instalación.

La producción e instalación de este tipo de material prefabricado de concreto para paredes o tapias está normado en el Código Sísmico de Costa Rica en el capítulo 17 y por INTECO, mediante su la normativa INTE C131:2019, que según consta en el “ACUERDO N°4” de reglamentos de La Junta Directiva del Banco

Hipotecario de la Vivienda, dicha norma se elaboró mediante el Sub-Comité Técnico Nacional de Productos Prefabricados de Concreto (INTE CTN 06 SC 09), donde participaron el Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), el Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos (CFIA), el Banco Hipotecario de la Vivienda (BANHVI), el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME), el ICCYC y ocho empresas proveedoras de materiales para el sistema analizado.



Ilustración 52. Casa en sistema prefabricado de columnas y baldosas horizontales - PrefaCR, 2021.

8.1.3.1 Composición

El sistema se compone de 3 elementos principales, siendo estos:

a. Columnas.

Son el elemento que aporta rigidez estructural al sistema.

b. Baldosas.

Son el elemento que aporta principalmente cerramiento, pero también restringe el movimiento de las columnas.

c. Solera metálica y mortero para unión entre baldosas.

La solera se comporta como una viga corona, dando unidad y rigidez a todo el perímetro de paredes, también funciona para fijar las cerchas de la estructura de techo. El mortero une las baldosas entre sí y estas con las columnas para evitar filtraciones o desplazamientos.

Cabe destacar que las columnas se adquieren que alturas mayores que las alturas libres requeridas, pues por norma se solicita que se entierre 0.60 m y sean embebidos en concreto en una excavación de 0.70 m de profundidad con un sello de 10 cm. Adicionalmente las baldosas se producen generando en los cantos inferiores y superiores de cada baldosa una junta dentada.

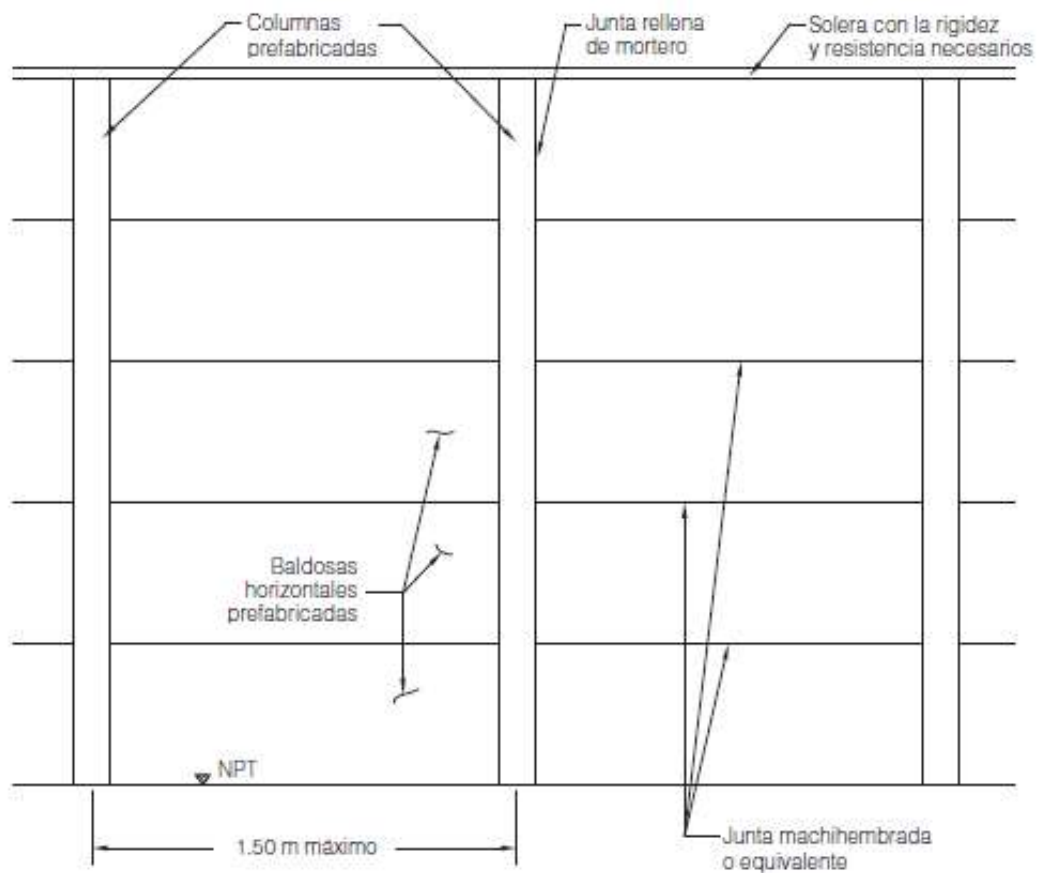


Ilustración 53. Sistema prefabricado de columnas y baldosas horizontales - CSCR, 2021.

8.1.3.2 Modulaci3n y dimensiones

El sistema es completamente modular, es posible incluso con algunos proveedores conseguir dimensiones o longitudes personalizadas segun la distribuci3n arquitect3nica existente de un diseo; sin embargo, por lo general se trabaja con las longitudes pre establecidas por los productores de este producto, las cuales son muy variadas y se disea desde previo con estas longitudes comerciales del producto.

Las columnas con secci3n de 12cm por 12 cm se utilizan para longitudes que van hasta los 3.78 m, siendo la de altura de 3.15 m la m3s utilizada. Existen tambi3n columnas de 12 cm por 14 cm para longitudes hasta 4.2 m.

Se muestra a continuaci3n las dimensiones que ofrece PC (Productos de Concreto), para las columnas de su sistema Prefa PC.

Tipo	Longitud 3,15 m		Longitud 3,78 m		Longitud 4,20 m	
	Peso kg	Momento nominal kg-m	Peso kg	Momento nominal kg-m	Peso kg	Momento nominal kg-m
A	94,20	265	113,04	265	125,60	350
B	89,10	265	106,92	265	118,80	350
C	84,45	265	101,34	265	112,60	350
D	84,14	265	100,97	265	112,19	350
E	78,04	265	93,65	265	104,05	350

Ilustraci3n 54. Dimensiones de comercializaci3n de columnas – Prefa PC - 2021.

Para las baldosas tambi3n se cuenta con modulaci3n personalizada e incluyen las opciones tambi3n segun su destino como baldosa est3ndar, tapichel, banquina o cargador. Se manejan las siguientes longitudes en el mercado nacional:

**Baldosas Tipo Estándar a usar en Casas PREFA PC
ó en Aulas PREFA PC**

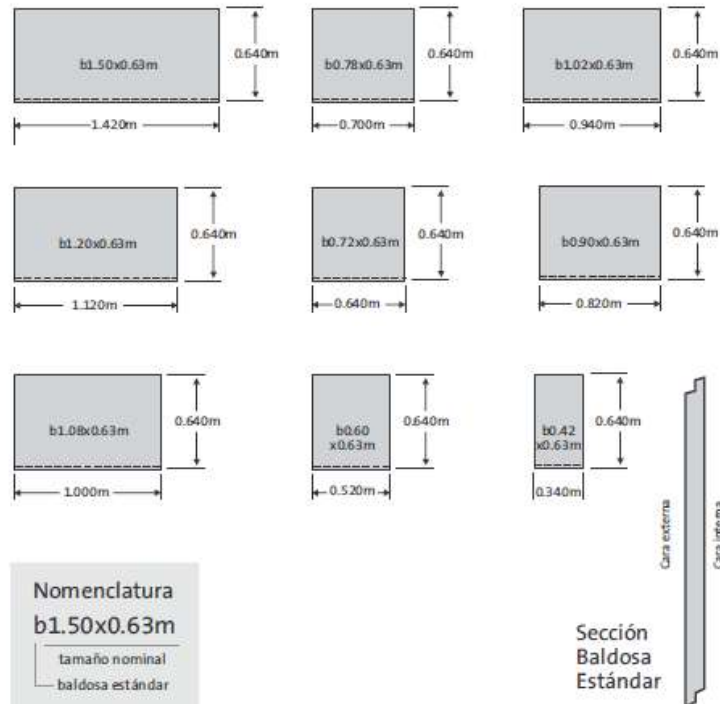


Ilustración 55. Tañamos de baldosas - Prefa PC, 2021.

**Baldosas Tipo Tapichel a usar en Casas Prefa PC
ó en Aulas Prefa PC**

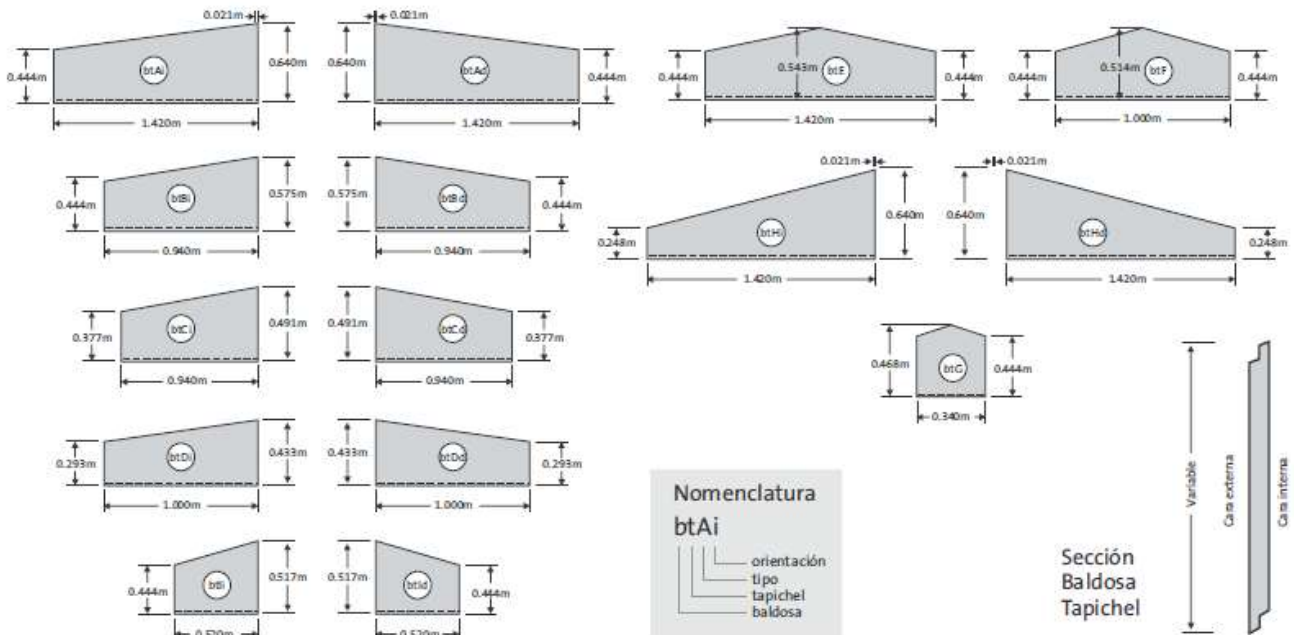


Ilustración 56. Baldosas tipo tapichel - Prefa PC, 2021.

8.1.3.3 Peso

Según la ficha técnica de PC el peso de la baldosa prefabricada es de 71.5 kg/m² y considerando columnas el peso supera los 101 kg/m².

Tipo	Longitud		Peso (kg)	Momento de rotura (kg-m)
	Nominal (cm)	Real (cm)		
b1.50x0.63m	150	142	70.20	35.6
b1.20x0.63m	120	112	55.37	28.8
b1.08x0.63m	108	100	49.44	21.8
b1.02x0.63m	102	94	46.47	21.8
b0.90x0.63m	90	82	40.54	21.8
b0.78x0.63m	78	70	36.50	21.8
b0.72x0.63m	72	64	33.70	21.8
b0.60x0.63m	60	82	25.71	21.8
b0.42x0.63m	42	34	16.81	21.8

Ilustración 57. Tamaños y pesos de baldosas - PrefaPC, 2021.

8.1.3.4 Incorporación de sistemas electromecánicos

Sí es posible la incorporación de sistemas electromecánicos en elementos prefabricados con la limitante de que solo se podrían colocar en las columnas, modulando en el diseño de distribución arquitectónica y eléctrica, la colocación de columnas donde se desee tener previstas electromecánicas. De lo contrario tendría que colocarse expuesto de parche en las baldosas.

8.1.3.5 Limitaciones de uso

Según se establece en fichas técnicas de fabricantes como también por normativa INTE y por Código Sísmico de Costa Rica, este sistema solo puede construirse en un nivel. Sin embargo, en la ficha técnica de Prefa PC se propone la construcción elevada con sistema prefabricado de columnas y baldosas horizontales, para zonas inundables, como se muestra en la siguiente imagen:



Ilustración 58. Construcción elevada en sistema Prefa PC - Prefa PC, 2021.

8.1.3.6 Aislación térmica

Las paredes de este sistema consisten principalmente en baldosas prefabricadas de concreto de 4 cm de espesor.

Según Ordoñez (2018), un elemento de concreto de 10 cm de espesor tiene una conductividad térmica, entre 1.72 W/m-k y 2.3 W/m-k, por lo que no se considera al concreto menor a ese espesor como aislante térmico.

8.1.3.7 Aislación sonora

Según estima la compañía española Aislamientos Acústicos en su página web, una pared de concreto de 12 cm podría aislar 52 dBA, por lo que para 4 cm sería 17.33 dBA, un valor muy reducido de aislamiento acústico debido al poco espesor de la baldosa.

8.1.3.8 Aislación de humedad

Según la ficha técnica de Prefa PC, el diseño de junta machihembrada entre la unión horizontal entre baldosas y el posterior sello con mortero entre las juntas horizontales y verticales garantiza la impermeabilidad del sistema.

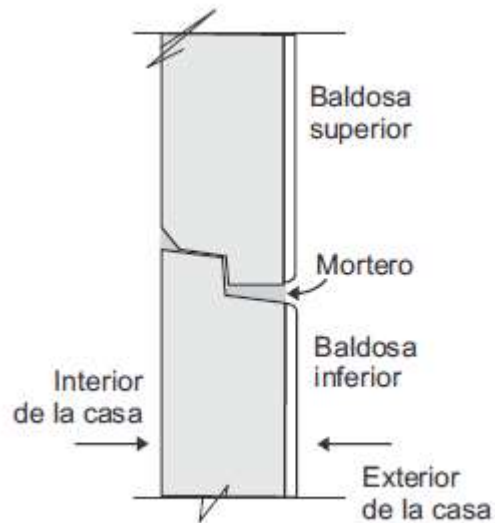


Ilustración 59. Detalle de juntas entre baldosas - Prefa PC - 2021.

8.1.3.9 Instalación y acabado

a. Fundaciones y columnas

Una vez se trazan los ejes de las paredes y columnas y se excavan los hoyos para la instalación de las columnas, se colocan su alineamiento y aplome y se cola su cimentación.

El Código Sísmico de Costa Rica, en su capítulo 17, indica que para el caso de baldosas horizontales apoyados en columnas de concreto prefabricadas, se debe embeber la columna en un dado prismático de concreto de 40 cm x 40 cm y con una profundidad mínima de 80 cm para separaciones de columna de más de 1.50 m y de 30 cm x 30 cm por 70 cm de profundidad para separaciones de columna de 1.50 m o menos.

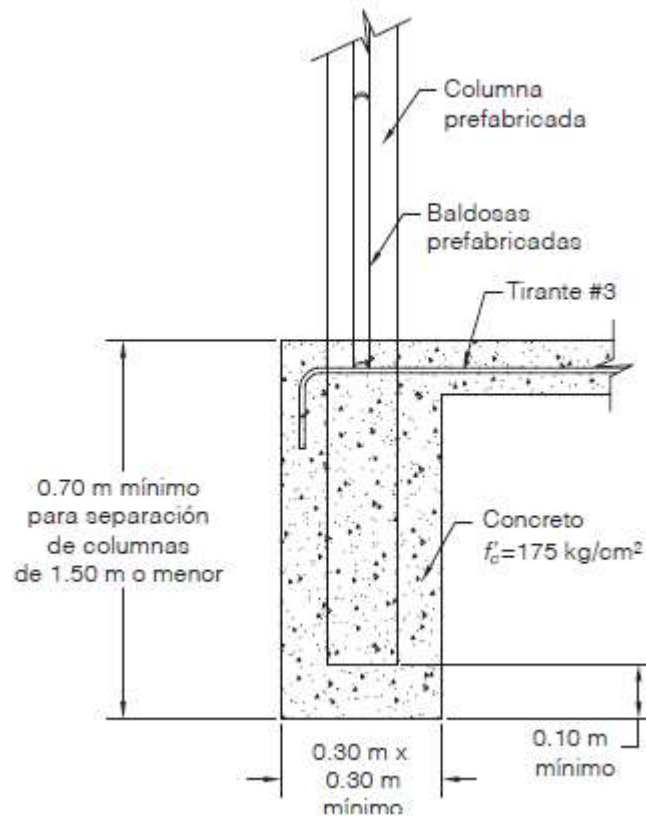


Ilustración 60. Fundación para columnas - CSCR, 2010.

b. Colocación de baldosas

Una vez colocadas todas las columnas se procede a colocar las baldosas horizontales. Según la ficha técnica de Prefa PC, todas las columnas están previstas con una ménsula a 63 cm de su extremo inferior para el descanso de la primera baldosa. Mediante la utilización de andamios o tarimas, dos personas se subirán en estas para colocar las baldosas entre columnas y dos personas se mantendrán abajo para deslizarlas hacia su posición. Las baldosas no se deben dejar caer por las ranuras de las columnas, pues pueden sufrir fracturas. Según el CSCR 2010, la junta horizontal entre baldosa y baldosa debe ser machihembrada. De igual manera, la conexión entre las baldosas y las columnas debe ser machihembrada o utilizar anclajes de varilla #3 a cada 30 cm que transmitan el cortante horizontal.

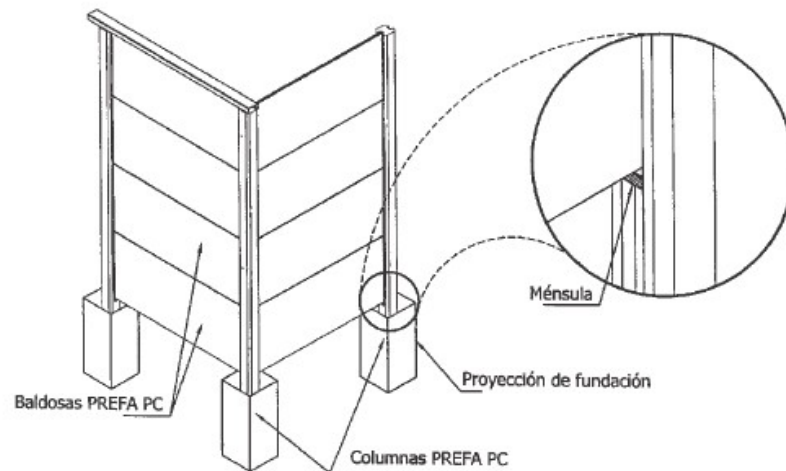


Ilustración 61. Colocación de baldosas - PrefaCR, 2021.

c. Solera y sellado con mortero.

El extremo superior de cada columna tiene la prevista o conexión roscada para la fijación de la solera, ya sea esta en madera en perfil C galvanizado. Esta deberá colocarse una vez se hayan instalado todas las baldosas.



Ilustración 62. Detalle de solera - Prefa PC, 2021.

8.1.4 Descripción del sistema constructivo DEFS

Según el Manual Técnico de USG DUROCK (2016), el tablero de cemento es fabricado con cemento Portland en su núcleo, y laminado con una malla de fibra de vidrio polimerizada en ambas caras. Proporciona una base sólida para recibir azulejos y recubrimientos cerámicos, losetas y mosaicos de cerámica, mármol, cantera, piedra y ladrillo delgado, así como acabados con pasta. Se puede instalar sobre bastidores metálicos con los postes espaciados a 40.6 cm máximo (16”), tanto en construcciones nuevas como en remodelaciones. Se puede utilizar para elementos exteriores como cielos, fachadas, marquesinas, faldones, sujetos a contacto directo con el agua o condiciones de humedad alta como baños, regaderas, cocinas o lavanderías.

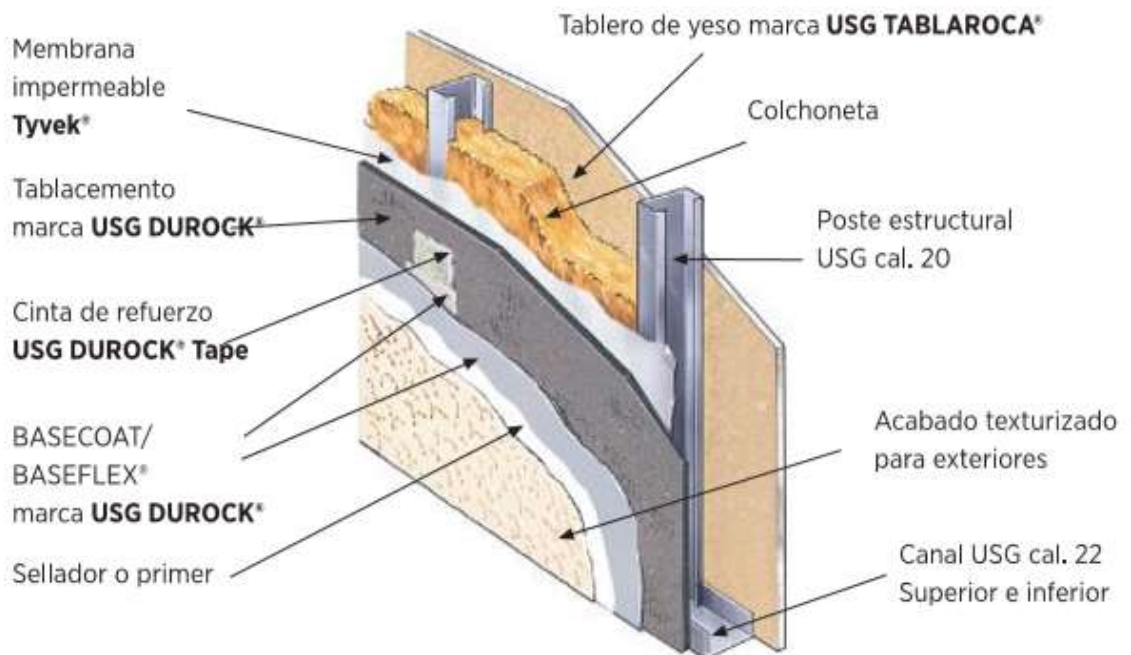


Ilustración 63. Sistema DEFS DUROCK - USG, 2016.

8.1.4.1 Composición

a. Perfiles metálicos

Según el Manual Técnico de USG DUROCK (2016), los componentes principales para la estructura de los muros son el canal de anclaje estructural calibre 22 y el poste estructural calibre 20, conocidos en el mercado nacional por su nombre en inglés Track y Stud, respectivamente. Adicionalmente, para la construcción de cielos cuenta con los perfiles canal de carga calibre 22, angular estructural calibre 22 y canal listón estructural calibre 20, conocido en el mercado nacional como Furring.

Perfil	Tamaño	Calibre	Longitud	Dimensiones (cm)		
				A	B	C
Canal de Amarre USG 	4.10 cm	22	3.05 m	4.10	2.54	-
	6.35 cm	22	3.05 m	6.35	2.54	-
	9.20 cm	22	3.05 m	9.20	2.54	-
	15.24 cm	22	3.05 m	15.24	2.54	-

Ilustración 64. Canal de amarre - USG, 2016.

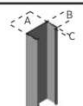

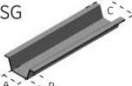

Perfil	Tamaño	Calibre	Longitud	Dimensiones (cm)		
				A	B	C
Poste Metálico USG 	4.10 cm	20	3.05 m	4.10	3.20-3.40	0.5
	6.35 cm	20	3.05 m	6.35	3.20-3.40	0.5
	9.20 cm	20	3.05 m	9.20	3.20-3.40	0.5
	15.24 cm	20	3.05 m	15.24	3.20-3.40	5
Canaleta de Carga USG 	4.10 cm	22	3.05 m	4.10	0.9	-
Canal Listón USG 	6.35 cm	20	3.05 m	3.17	2.22	6.35
Ángulo de Amarre USG 	2.6 cm	20	3.05 m	2.54	2.54	-

Ilustración 65. Perfil vertical y otros componentes metálicos - USG, 2016.

b. Tornillería

Según el Manual Técnico de USG DUROCK (2016), para canales y postes se debe utilizar tornillo con cabeza redondeada, punta de broca 1/2" (12,7 mm). Para panel de cemento se debe utilizar tornillo cabeza plana de acero endurecido con revestimiento especial que lo protege de la corrosión, con punta broca de 1 1/4" (32 mm) - una capa. 1 5/8" (41,3 mm) - segunda capa.

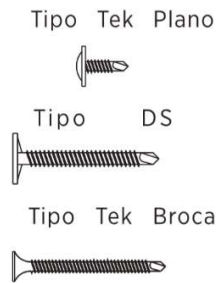


Ilustración 66. Tornillería - USG, 2016.

c. Malla y cinta malla para juntas

Según el Manual Técnico de USG DUROCK (2016), la malla de fibra de vidrio es colocada cubriendo el 100% de la superficie de las láminas de tablacemento durante la aplicación del compuesto de cemento flexible o compuesto base, la malla mejora la apariencia en el afinado de muros y evita grietas superficiales. Por otro lado, la cinta malla de refuerzo se coloca únicamente en la junta entre láminas, mientras se coloca el compuesto base para juntas.

Cinta de refuerzo Durock®



Ilustración 67. Cinta malla para juntas - USG, 2016.

d. Compuesto base “base coat”

Según el Manual Técnico de USG DUROCK (2016), se fabrica con cemento Portland que contiene polímeros de látex. Se usa para encintado, tratar esquineros y molduras y dar una capa base a los paneles en Sistemas para Exteriores de Aplicación Directa (DEFS). También se usa para embeber malla y pegar placas semirrígidas en Sistemas Aislantes para Exteriores y Acabado (EIFS).

Compuesto para juntas
BASECOAT marca USG DUROCK®



Ilustración 68. Compuesto "base coat" - USG, 2016.

e. Membrana impermeable

Según el Manual Técnico de USG DUROCK (2016), la membrana impermeable se coloca en los sistemas exteriores o en contacto directo con el agua para generar una barrera entre esta y el resto del sistema, siendo esta su principal función. Consiste en una membrana de olefina (polietileno de alta densidad) y posee flexibilidad y resistencia al desgarre. Adicionalmente a la membrana, se especifica una lámina de fibra mineral de 3" para aislamiento térmico.

Membrana impermeable
Tyvek®



Ilustración 69. Membrana impermeable - USG, 2016.

f. Accesorios plásticos

Los accesorios de PVC resisten las condiciones de alcalinidad del cemento, intemperie, rayos ultravioletas y los diferentes factores a los que están expuestos los sistemas exteriores sin degradarse, se fijan al sistema con tornillos y se ocultan con el tratamiento de juntas.

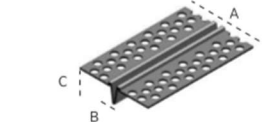
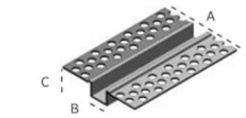

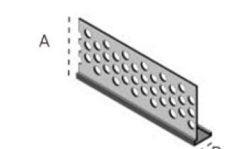
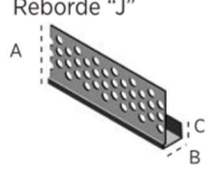
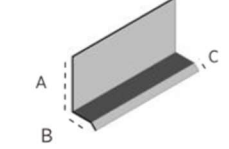
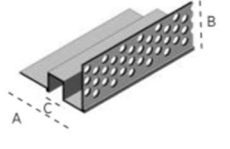
	Uso	Medidas (cm)		
		A	B	C
 Junta de Control V	Junta de control "V", para muros o cielos amplios, de 6 mm (1/4") de ancho.	6.6	0.6	1.27
 Entrecalle	Entrecalle, para muros o cielos amplios, de 12.7 mm (1/2")	7.27	1.27	1.27
 Esquinero Plástico	Esquinero Plástico, para perfilar y proteger esquinas vivas resistentes a maltrato por tráfico intenso.	4.5	4.5	
 Reborde "L"	Reborde Plástico "J" y "L", para perfilar y proteger los cantos de los paneles en remates o detalles.	4.5	1.27	1.27
 Reborde "J"	Facia Botaguas, permite la salida de agua de posibles filtraciones ocurridas en el sistema.	4.8	1.8	0.8
 Facia Botaguas	Gotero plástico, para generar escurrimiento en puntos específicos del sistema, como vanos de ventanas o terrazas.	5.9	3.7	1.27
 Gotero				

Ilustración 70. Accesorios plásticos - USG, 2016.

8.1.4.2 Modulación

El sistema DEFS se modula en sitio, a diferencia de otros sistemas livianos que ya vienen modulados de fábrica, esto requiere mayor recurso de mano de obra en sitio para poder construir las estructuras del sistema.

8.1.4.3 Dimensiones

La lamina de tablamento es rectangular, se comercializa principalmente en unidades de 1.22 m de ancho por 2.44 m de largo, de 12.7 mm de espesor.

8.1.4.4 Peso

La lámina de tablamento tiene un peso de 39.40 kg cada unidad. Se debe instalar a doble forro, o sea una lámina a cada lado de la estructura, por ende, una sección de 1 m² de pared de este sistema tendría dos láminas, resultando un peso mayor a 30 kg/m², ya que se debe sumar el peso de la estructura metálica y su componente cementicio base.

8.1.4.5 Incorporación de sistemas electromecánicos

El sistema DEFS es integrable con sistemas electromecánicos, ya que su construcción se realiza 100% en sitio, la incorporación de los sistemas electromecánicos se realiza en sitio también al momento de ir levantando la estructura de paredes.

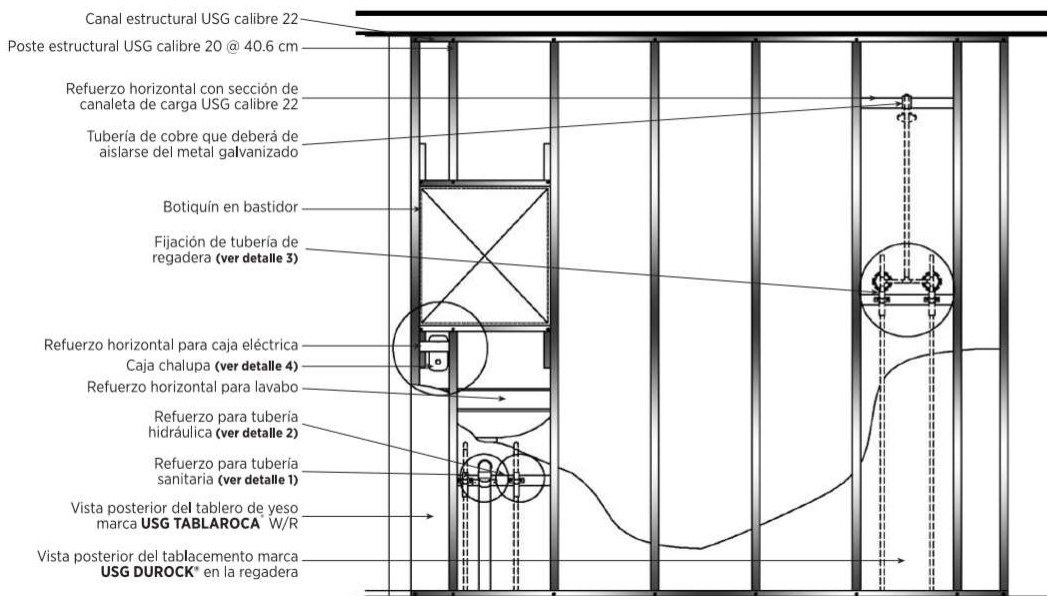


Ilustración 71. Incorporación de sistemas electromecánicos - USG, 2016.

8.1.4.6 Limitaciones de uso

El sistema funciona únicamente como cerramiento o compartimiento vertical, no contempla funciones estructurales.

8.1.4.7 Aislación térmica

Según el Manual Técnico de USG DUROCK (2016), el sistema DEFS no contempla aislación térmica mayor la que pueda ofrecer las propiedades de la lámina de tablamento y la fibra mineral, donde esta segunda tiene mayores valores de conductividad térmica y menores valores de resistencia térmica que el poliestireno expandido. El sistema que sí ofrece aislación térmica es el sistema EIFS, sin embargo, este no es el sistema especificado por el DIEE en sus planos prototipo.

8.1.4.8 Aislación sonora

Según el Manual Técnico de USG DUROCK (2016), el sistema DEFS no contempla aislación sonora mayor la que pueda ofrecer las propiedades de la lámina de tablamento y la fibra mineral.

8.1.4.9 Aislación de humedad

Según el Manual Técnico de USG DUROCK (2016), se puede proteger de la humedad instalando la membrana permeable al interno de la lámina de tablamento, para evitar el paso del agua y humedad la estructura metálica, adicionalmente recomiendan la aplicación de un cordón de sello elástico e impermeable.

8.1.4.10 Instalación y acabado

a. Estructura metálica

Según el Manual Técnico de USG DUROCK (2016), se debe iniciar la instalación colocando según el trazado los perfiles tipo canal (o Track) anclándose a la losa de piso, posterior a este se debe proceder a instalar el canal superior en el cielo. Posteriormente se debe colocar de manera vertical los perfiles tipo C calibre 22 a no más de 40.6 cm entre cada perfil vertical.

b. Membrana impermeable

Según el Manual Técnico de USG DUROCK (2016), la colocación de la membrana impermeable debe darse una vez se termina la instalación de la estructura metálica, antes de iniciar la colocación de las láminas de tablamento, partiendo de la parte baja, hacia arriba sobreponiendo las capas formando traslapes de 10 a 15 cm de ancho. Esta aplicación se puede hacer con cinta autoadherible a cada uno de los postes del bastidor.

c. Colocación de láminas

Según el Manual Técnico de USG DUROCK (2016), se deben fijar las láminas de tablamento con tornillos tipo DS de 1 1/4" separados a no más de 20 cm. Posteriormente se deben colocar los accesorios plásticos necesarios, ya sea el tipo "J", esquineros, botaguas, estos deben quedar anclados a las láminas de tablamento con tornillos tipo DS.

d. Tratamiento de juntas

Según el Manual Técnico de USG DUROCK (2016), una vez instaladas las láminas y sus accesorios plásticos, se deben recibir las juntas entre láminas con cemento tipo "base coat" colocando la cinta de refuerzo de malla de fibra de vidrio de manera de que esta quede totalmente embebida en el compuesto y centrada sobre la junta.

e. Acabado

Según el Manual Técnico de USG DUROCK (2016), posterior al tratamiento de juntas y posterior a la colocación de malla de fibra de vidrio al 100% de superficie de láminas de tablamento, se puede aplicar según corresponda el diseño arquitectónico, un compuesto tipo "base coat" para darle a la pared un acabado cementicio, estuco o pasta de acabado, si se planea colocar algún elemento con mortero de pega se debe colocar un compuesto de cemento flexible con capacidad de adherencia para colocación de enchapes.

Muro Cortina

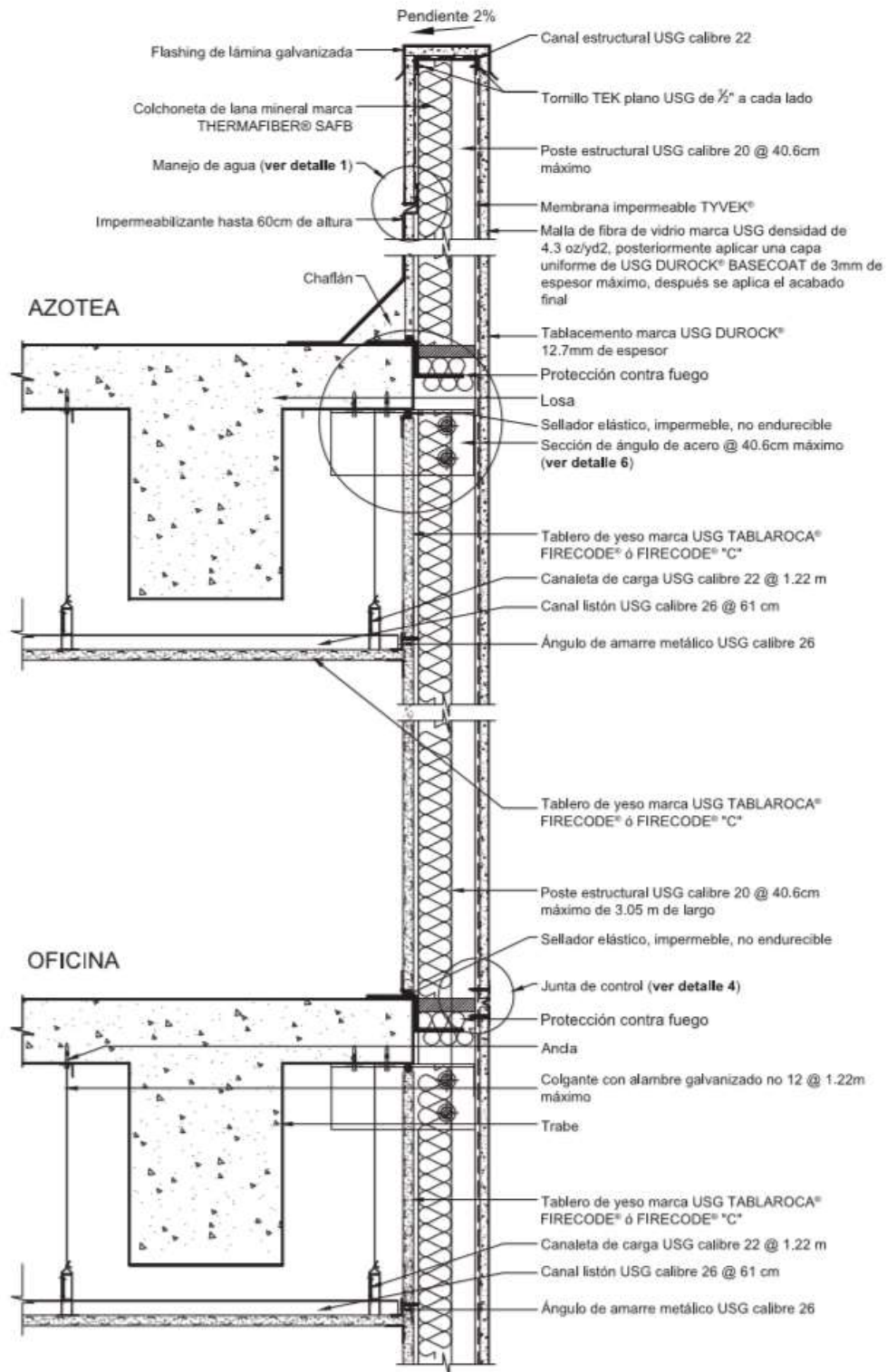


Ilustración 72. Instalación tipo Muro Cortina - USG, 2016.

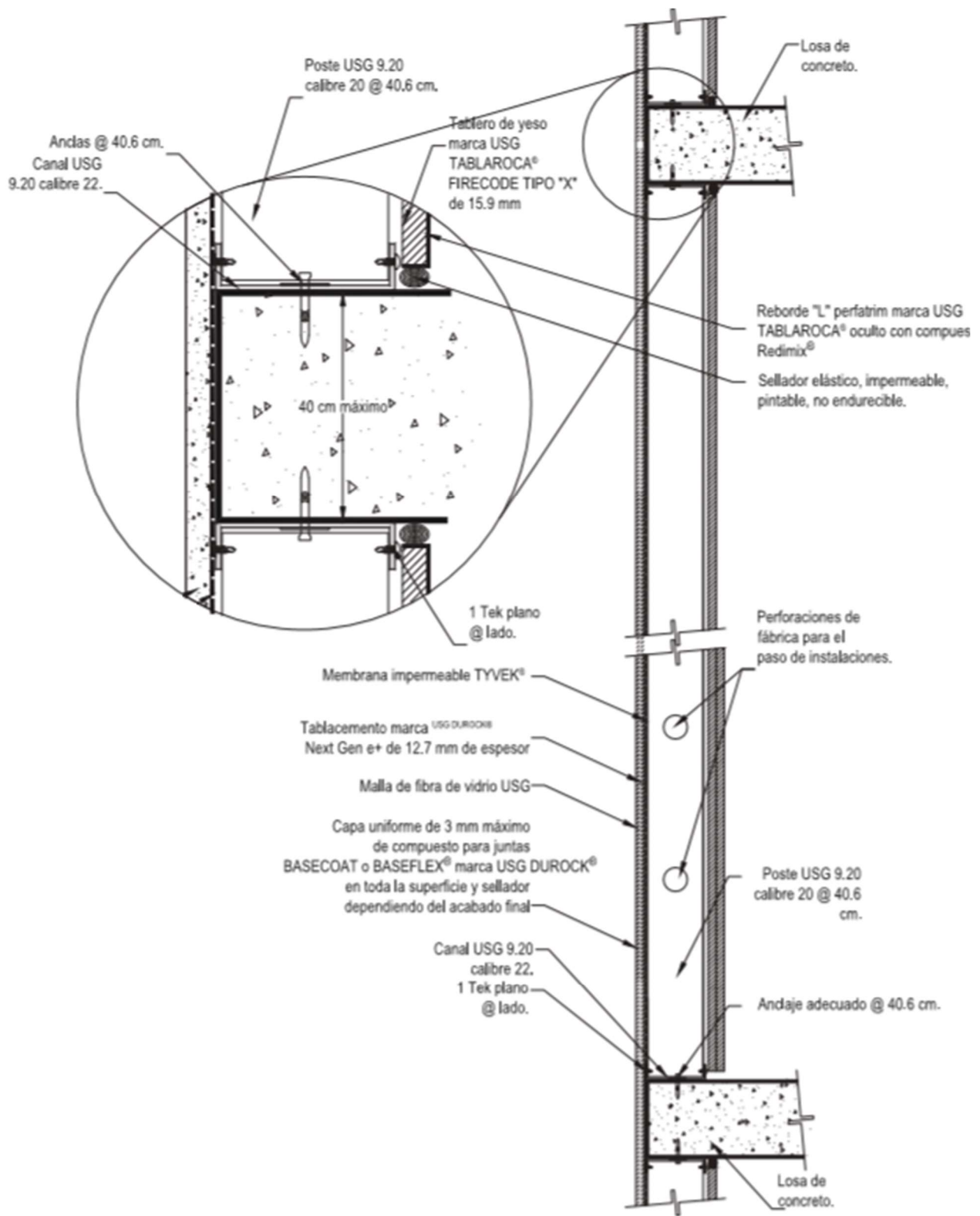


Ilustración 73. Instalación Losa a Losa - USG, 2016.

8.2 Estudio comparativo de sistemas constructivos livianos de cerramiento

8.2.1 Determinación de variables comparativas

Ítem	Variable	Justificación e importancia de la variable	Criterio de puntuación	Puntaje
1	Cantidad de elementos principales.	La cantidad de elementos que componen una sección de cada sistema constructivo es relevante pues entre más elementos sean parte del proceso de instalación, más recurso humano, más equipo y más tiempo es requerido para su instalación, todo esto se traduce en mayores costos asociados de construcción.	Se puntuará a los sistemas que contengan la menor cantidad de elementos principales en su composición.	1 pto.
2	Modulación.	Es importante que el sistema sea modular, con el fin de evitar desperdicios a la hora de su instalación. Un sistema modulado desde su fabricación con respecto a planos permite que al proyecto solo ingrese la cantidad exacta a instalarse, lo que reduce la generación de desechos en la obra.	Se puntuará a los sistemas que tengan la posibilidad de adquirirse de manera modulada.	1 pto.
3	Manejo manual e instalación manual.	El sistema constructivo liviano a recomendar debe tener dimensiones aceptables para el manejo e instalación manual de operarios en obra, con el fin de evitar el uso de equipo adicional como grúas o bombas, que provoque un costo más elevado del proyecto en equipo. La utilización de equipos genera también mayores emisiones de CO ₂ .	Se puntuará a los sistemas que permitan que su manejo e instalación sea manual por parte del personal de obra y no requiera equipo adicional.	1 pto.

4	Peso del sistema.	El propósito de un sistema liviano es generar la menor carga al sistema estructural para que a su vez, este al tener menores solicitudes de carga, tenga menores dimensiones y con esto un menor costo de construcción y menores emisiones de CO ₂ .	Se puntuará a los sistemas que tengan un menor peso por m ² de pared.	1 pto.
5	Inclusión de sistemas electromecánicos.	Una facilidad en la inclusión de sistemas electromecánicos mejorará rendimientos de construcción, por lo tanto, ahorros en mano de obra. Entre más sencilla o práctica sea esta actividad, menor será el tiempo de ejecución de la obra.	Se puntuará a los sistemas que puedan traer integrado desde fábrica la inclusión de sistemas electromecánicos o bien su instalación en sitio sea práctica.	1 pto.
6	Construcción de estructuras mayores a un nivel.	Si bien es cierto, este análisis corresponde a un sistema liviano para cerramiento y compartimento, sin embargo, es útil que el sistema tenga funciones estructurales por si se presentara la necesidad de construir una obra de al menos dos niveles sin elementos estructurales adicionales.	Se puntuará a los sistemas que permitan la construcción de mínimo dos niveles sin la incorporación de elementos estructurales adicionales.	1 pto.
7	Condicionamiento climático de instalación y tiempo de fraguado.	Un sistema liviano que pueda ser instalado durante condiciones moderadas de lluvia permite mantener un ritmo o rendimiento de instalación adecuado, sin verse detenido por inclemencias de tiempo como lluvias ocasionales en el proceso constructivo. Adicionalmente el sistema debe ser de aprovechamiento	Se puntuará a los sistemas que permitan instalarse en condiciones de lluvia moderadas y una vez instalado no requiera tiempo de fraguado o secado.	1 pto.

		o intervención inmediata, en el sentido de que no requiera un tiempo de fraguado o secado post instalación, para evitar postergar las siguientes actividades constructivas después de su instalación.		
8	Aislación térmica y acústica.	Según el Sexto Informe de Estado de la Educación de Costa Rica, es imperativo que para que los estudiantes tengan un alto rendimiento académico, que estos realicen sus actividades académicas en espacios con grados adecuados de confort térmico y acústico, por lo tanto, es determinante que el sistema a recomendar posea propiedades adecuadas de aislamiento.	Se puntuará a los sistemas que posean mejores desempeños en aislación térmica y acústica.	1 pto.
9	Protección contra humedad.	Es importante que el sistema liviano en sus especificaciones técnicas de fábrica, incluya una protección específica para el ingreso de humedad al interno de la estructura, ya que esto impactará en la garantía y de la vida útil del sistema.	Se puntuará a los sistemas que en sus especificaciones técnicas de fábrica incorporen elementos de protección contra la humedad.	1 pto.
10	Resistencia al alto tránsito.	Al tratarse de un sistema de cerramiento para escuelas, el material de pared deber ser sólido y resistente a golpes, con el fin de garantizar durabilidad en el uso por poblaciones estudiantiles.	Se puntuará al sistema que en sus especificaciones técnicas refleje un material que permita generar paredes solidas resistentes a golpes.	1 pto.

8.2.1.1 Cuadro comparativo de sistemas constructivos SIP y M2 (no prototipos DIEE)

A continuación, se evalúan dos sistemas constructivos livianos presentes en el mercado costarricense que actualmente no son parte del conjunto de diseños o sistemas prototipo del DIEE.

El fin de compararlos entre sí, es determinar cuál tiene mejores beneficios en su implementación para estructuras de cerramiento de aulas académicas de escuelas ubicadas en zonas con potencial de inundación construidas en pabellones elevados.

La intención de este comparativo es concluir con la recomendación de uno de estos dos sistemas para a su vez, el sistema seleccionado sea comparado con el sistema prototipo actual para cerramientos de aulas en escuelas con la condición mencionada anteriormente.

Ítem	Variable	Sistema M2	Sistema SIP	Puntuación M2	Puntuación SIP
1	Cantidad de elementos principales.	4 elementos	3 elementos	0 ptos.	1 pto.
2	Modulación.	Sí	Sí	1 pto.	1 pto.
3	Manejo manual e instalación manual.	No	Sí	0 pto.	1 pto.
4	Peso del sistema.	120 kg/m ²	22 kg/m ²	0 ptos.	1 pto.
5	Inclusión de sistemas electromecánicos.	Sí	Sí	1 pto.	1 pto.
6	Construcción de estructuras mayores a un nivel.	Sí	Sí	1 pto.	1 pto.
7	Condicionamiento climático de instalación y tiempo de fraguado.	No	Sí	0 ptos.	1 pto.

8	Aislación térmica y acústica.	Sí	Sí	1 pto.	1 pto.
9	Protección contra humedad.	No	Sí	0 ptos.	1 pto.
10	Resistencia al alto tránsito.	Sí	Sí	1 ptos.	1 pto.
Puntuación total				6 ptos.	10 ptos.

8.2.1.2 Análisis de resultados de comparativa entre sistemas constructivos SIP y M2 (no prototipos DIEE)

En esta sección se analizarán los resultados obtenidos en el comparativo anterior en donde hubo una diferenciación en la evaluación de la variable, no así en las variables con el mismo puntaje entre ambos sistemas. A continuación, se detalla la importancia en las ventajas marcadas en la evaluación de variables del cuadro comparativo anterior:

- 1) Cantidad de elementos principales: se muestra que el panel M2 posee mayor cantidad de elementos principales en su composición (4) siendo estos, el acero vertical que se debe instalar desde el colado de la losa de cimentación, el panel de EPS con malla, la malla de refuerzo, el mortero proyectado, mientras que en el panel SIP, 3, la estructura metálica, los paneles y la tornillería, esto es importante pues, como es conocido, en la instalación de cualquier sistema existe una cadena de procesos de colocación de elementos donde se coloca cada uno en un momento específico hasta completar una sección determinada. Una mayor cantidad de elementos en un proceso de instalación con lleva a más tiempo de ejecución, que a su vez en la obra se traduce en mayor costo de mano de obra, pues se obtienen rendimientos de producción o avance más bajos, también genera un mayor plazo de entrega en el rubro en cuestión, en este caso, de cerramiento de paredes. A continuación, se presenta una

tabla resumen de pasos principales de instalación de cada sistema, que refleja la importante diferencia entre la cantidad de actividades para completar la construcción de cada cerramiento:

Actividades	Sistema M2	Sistema SIP
1	Colocación de acero en armadura de losa flotante.	Colocación de estructura metálica guía.
2	Colocación de paneles.	Colocación de paneles con su estructura metálica intermedia.
3	Colocación de mallas de refuerzo.	Colocación de estructura metálica superior.
4	Lanzado de mortero proyectado en cara externa.	
5	Lanzado de mortero proyectado en cara interna.	

Ilustración 74. Pasos de instalación de sistemas - Elaboración propia, 2021.

En la ilustración anterior se muestra como el sistema de cerramiento SIP se completa con un 40% menos de actividades que el sistema de cerramiento M2.

- 2) Manejo manual e instalación manual: un factor que eleva el costo de la obra al utilizar el sistema M2, es la necesidad de utilizar sistema de bombeo para el proceso de proyección del mortero, proceso que a su vez es más lento que la instalación mecánica de paneles mediante tornillería del sistema SIP, que refleja una desventaja adicional del sistema M2.
- 3) Peso del sistema: se muestra un mayor peso por m² de pared del sistema M2, siendo este de 120 kg/m², el cual, evaluándolo en diseño prototipo de un pabellón elevado de 3 aulas, que tiene un área de paredes de 183 m²,

la selección del sistema M2 adicionaría una carga de 21,960 kg, es decir 1.83 ton de carga adicionales a cada una de las 12 columnas del sistema prototipo de pabellones elevados. Mientras tanto el SIP panel tiene un peso de 22 kg/m² de pared, generando un aporte de apenas 0.33 ton a cada columna. Un mayor peso de pared, aporta un mayor peso a los elementos estructurales intermedios (losa y columnas), donde estas a su vez al recibir mayor carga aumentan sus dimensiones y por ende sus costos, también si los elementos estructurales intermedios son de mayor dimensión, serán más pesados y transmitirán una mayor carga a la cimentación y a su vez esta al suelo. La prioridad en la recomendación de un sistema liviano de cerramiento para escuelas construidas en pabellones elevados es zonas inundables, es su peso, pues como se ha mencionado anteriormente estas zonas cuentan suelos con muy baja capacidad soportante.

- 4) Condicionamiento climático de instalación y tiempo de fraguado: se puede indicar que es determinante en la escogencia del material a recomendar entre estos dos sistemas, ya que debido al condicionamiento climático que posee el sistema M2, que se aplica con mortero proyectado, el cual debe contar con cierta cantidad de agua o humedad en su mezcla y además que una vez colocado se requiere que inicie su periodo de fragua, por lo tanto, no puede aplicarse bajo lluvia, limitando a que la condición climática del momento atente contra su instalación, por otra parte, el sistema SIP tiene una instalación meramente mecánica, es decir, de colocar y anclar con tornillería y no requiere tiempo de fraguado, por lo que no se ve afectada por condiciones climáticas húmedas o con la presencia de cierta cantidad de gotas de lluvia en el momento de su instalación.

- 5) Protección de la humedad: para el sistema M2 no se especifica en sus fichas técnicas, como deberá ser el procedimiento correcto para mantener el sistema libre del ingreso de humedad, lo que lo deja abierto a que sean terceros quienes tomen las decisiones de protección, siendo esta práctica no respaldada por el fabricante del sistema, lo que pone en riesgo procedimientos de reclamo de garantías en caso de tener problemas de humedad a futuro o incluso disminución acelerada de la vida útil del sistema. Respectivamente, estos dos factores afectarían en rendimiento de instalación, que provoca mayor costo de mano de obra y en costo de mantenimiento de instalaciones en caso de que se den afectaciones por humedad y no haya un panorama claro en la cobertura de la garantía por falta de especificaciones para la protección contra la humedad.

Por lo tanto, de acuerdo con el resultado de las ventajas expuestas obtenidas mediante el cuadro comparativo, se puede concluir que el sistema más adecuado a recomendar es el sistema SIP, ya que refleja mayores aspectos de ventaja o beneficio contra el sistema M2.

8.2.1.3 Cuadro comparativo de sistemas constructivos SIP y prefabricado de columnas y baldosas horizontales (no prototipos DIEE)

A continuación, se evalúa el sistema liviano con mejores resultados en el apartado anterior, el sistema SIP contra el sistema prefabricado de columnas y baldosas horizontales, donde actualmente ninguno de los dos son parte del conjunto de diseños o sistemas prototipo del DIEE para pabellones elevados.

Ítem	Variable	Sistema Pref.	Sistema SIP	Puntuación M2	Puntuación SIP
1	Cantidad de elementos principales.	3 elementos	3 elementos	1 ptos.	1 pto.
2	Modulación.	Sí	Sí	1 pto.	1 pto.
3	Manejo manual e instalación manual.	Sí	Sí	1 pto.	1 pto.
4	Peso del sistema.	100 kg/m ²	22 kg/m ²	0 ptos.	1 pto.
5	Inclusión de sistemas electromecánicos.	Sí	Sí	1 ptos.	1 pto.
6	Construcción de estructuras mayores a un nivel.	No	Sí	0 pto.	1 pto.
7	Condicionamiento climático de instalación y tiempo de fraguado.	Sí	Sí	1 ptos.	1 pto.
8	Aislación térmica y acústica.	No	Sí	0 pto.	1 pto.
9	Protección contra humedad.	Sí	Sí	1 ptos.	1 pto.
10	Resistencia al alto tránsito.	Sí	Sí	1 ptos.	1 pto.
Puntuación total				7 ptos.	10 ptos.

8.2.1.4 Análisis de resultados de comparativa entre sistemas constructivos SIP y prefabricado de columnas y baldosas horizontales (no prototipos DIEE)

En esta sección se analizarán los resultados obtenidos en el comparativo anterior en donde hubo una diferenciación en la evaluación de la variable, no así en las variables con el mismo puntaje entre ambos sistemas. A continuación, se detalla

la importancia en las ventajas marcadas en la evaluación de variables del cuadro comparativo anterior:

- 1) Peso del sistema: una diferencia de más de 78 kg/m^2 de pared es una diferencia significativa, principalmente porque el peso de todas las paredes traslada más peso a la cimentación y esta a los suelos de baja capacidad. En esta investigación se busca principalmente lo contrario, un sistema liviano que no sume cargas a la cimentación para que sea menos la capacidad soportante del suelo requerida. Adicionalmente que un sistema que genere más cargas a la cimentación, será un sistema que genere más costos en la obra, por aumento en la dimensión de la cimentación o en mejoramiento de cielos.
- 2) Construcción de estructuras mayores a un nivel: Si bien es cierto esta investigación se basa el análisis de sistemas livianos con el fin de determinar un sistema óptimo para cerramientos, es importante que el sistema prototipo a recomendar para cerramientos sea versátil y pueda utilizarse para obras superiores a un nivel si se requiriese.
- 3) Aislación térmica y acústica: Es indispensable que el sistema prototipo a recomendar sea un sistema que provea la aislación térmica y acústica necesaria para que el calor y el ruido no distorsionen o alteren la calidad del proceso académico a llevarse a cabo en infraestructura de enseñanza pública.

Por lo tanto, de acuerdo con el resultado de las ventajas expuestas obtenidas mediante el cuadro comparativo, se puede concluir que el sistema más adecuado a recomendar es el sistema SIP, ya que refleja mayores aspectos de ventaja o beneficio contra el sistema prefabricado de columnas y baldosas horizontales.

8.2.1.5 Estudio comparativo entre sistema constructivo liviano prototipo DIEE y sistema constructivo liviano recomendado

A continuación, se evalúa mediante comparación el sistema constructivo liviano recomendado en el apartado anterior, con el actual sistema especificado para cerramiento liviano en planos prototipo de pabellones elevados del DIEE.

El fin de compararlos entre sí, es determinar cual tiene mejores beneficios en su implementación para estructuras de cerramiento de aulas académicas tanto por su costo como por el desempeño en confort por aislación de calor en su interior. La intención de este comparativo es concluir cuál de estos dos sistemas es el idóneo para ser el especificado en planos prototipo para cerramiento y compartimiento de aulas en escuelas con la condición mencionada anteriormente.

Ítem	Variable	Sistema DEFS	Sistema SIP	Puntuación M2	Puntuación SIP
1	Cantidad de elementos principales.	4 elementos	3 elementos	0 ptos.	1 pto.
2	Modulación.	No	Sí	0 ptos.	1 pto.
3	Manejo manual e instalación manual.	Sí	Sí	1 pto.	1 pto.
4	Peso del sistema.	25 kg/m ²	22 kg/m ²	1 ptos.	1 pto.
5	Inclusión de sistemas electromecánicos.	Sí	Sí	1 pto.	1 pto.
6	Construcción de estructuras mayores a un nivel.	No	Sí	0 ptos.	1 pto.
7	Condicionamiento climático de instalación y tiempo de fraguado.	Sí	Sí	1 pto.	1 pto.
8	Aislación térmica y acústica.	No	Sí	0 ptos.	1 pto.

9	Protección contra humedad.	Sí	Sí	1pto.	1pto.
10	Resistencia al alto tránsito.	Sí	Sí	1pto.	1pto.
Puntuación total				6ptos.	10ptos.

8.2.1.6 Análisis de resultados de comparativa entre el sistema de constructivo liviano prototipo DIEE y sistema constructivo recomendado

En esta sección se analizarán los resultados obtenidos en el comparativo anterior en donde hubo una diferenciación en la evaluación de la variable, no así en las variables con el mismo puntaje entre ambos sistemas. A continuación, se detalla la importancia en las ventajas marcadas en la evaluación de variables del cuadro comparativo anterior:

- 1) Cantidad de elementos principales: este comparativo refleja que el sistema DEFS tiene más componentes a incluir en el proceso de instalación que el sistema SIP. El sistema DEFS se instala 100% en sitio, iniciando con su estructura de sujeción, posteriormente una cara o superficie de pared (láminas) y posteriormente la otra, generando un proceso de instalación que conlleva más tiempo de ejecución mientras que en el sistema SIP, ya vienen los paneles preensamblados de fábrica y al instalarse forman automáticamente las dos superficies o caras de pared, lo que reduce significativamente el tiempo de ejecución y por ende costo de mano de obra. A continuación, se presenta una tabla resumen de pasos principales de instalación de cada sistema, que refleja la importante diferencia entre la cantidad de actividades para completar la construcción de cada cerramiento:

Actividades	Sistema DEFS	Sistema SIP
1	Colocación de estructura metálica guía inferior y superior.	Colocación de estructura metálica guía.
2	Colocación de estructura metálica vertical de refuerzo.	Colocación de paneles con su estructura metálica intermedia.
3	Colocación de láminas primera cara.	Colocación de estructura metálica superior.
4	Colocación de lana mineral.	
5	Colocación de láminas segunda cara.	
6	Colocación de accesorios plásticos.	

Ilustración 75. Pasos de instalación de sistemas - Elaboración propia, 2021.

En la ilustración anterior se muestra como el sistema de cerramiento SIP se completa con un 50% menos de actividades que el sistema de cerramiento DEFS.

- 2) Modulación: este rubro es ambientalmente determinante, ya que un sistema que se adquiere de manera modulada desde fábrica, favorece a que en la obra se dé una reducción en los desperdicios, situación que no sucede con el sistema DEFS, que solo se vende en el mercado en láminas de 1.22 m por 2.44 m. Luego, en caso de requerir para un punto específico un área menos de pared a cubrir, el material restante que no se pueda colocar en otro espacio pasaría a ser desperdicio o desecho de obra, caso contrario sucede con el sistema SIP donde, de acuerdo con planos arquitectónicos, el proveedor realiza la modulación con tamaños exactos requeridos en la obra, produciendo una mínima o significativa reducción en la generación de desechos, lo cual va a favor de las buenas prácticas ambientales e intenciones de disminución de la huella de carbono en la construcción.

- 3) Construcción de estructuras mayores a un nivel: si bien es cierto el análisis en este apartado corresponde a sistemas constructivos livianos para cerramiento, es importante destacar que el sistema SIP, además de funcionar como cerramiento, tiene funciones estructurales, que permite la construcción de obras de hasta dos niveles. Por lo tanto, si este sistema fuese adoptado como parte de los planos prototipos, su instalación podría funcionar como obra prevista para la eventual construcción de un segundo nivel, o bien podría concebirse desde el diseño inicial en anteproyecto la construcción de una obra liviana de dos niveles.

- 4) Aislación térmica y acústica: se muestra que en cuanto a aislamiento acústico ambos sistemas tienen propiedades adecuadas, sin embargo, la gran diferencia que sí es determinante en este análisis, es la capacidad de aislamiento térmico de cada sistema, pues según el mismo fabricante especificado por el DICE, indica que el sistema DEFS no es el adecuado para obtener aislamiento térmico, sino que lo correcto sería el sistema EIFS por sus siglas del inglés Exterior Insulation Finish System, que se puede traducir como Sistema de Acabado de Insulación Exterior. La diferencia entre el sistema DEFS y EIFS que hace que uno sea para aislamiento exterior y otro no, es que el segundo incorpora una lámina adicional de Poliestireno Expandido (EPS). Donde por otra parte, el Sistema de Panel Insulado (SIP) ya incorpora la lámina de poliestireno expandido en su integridad.

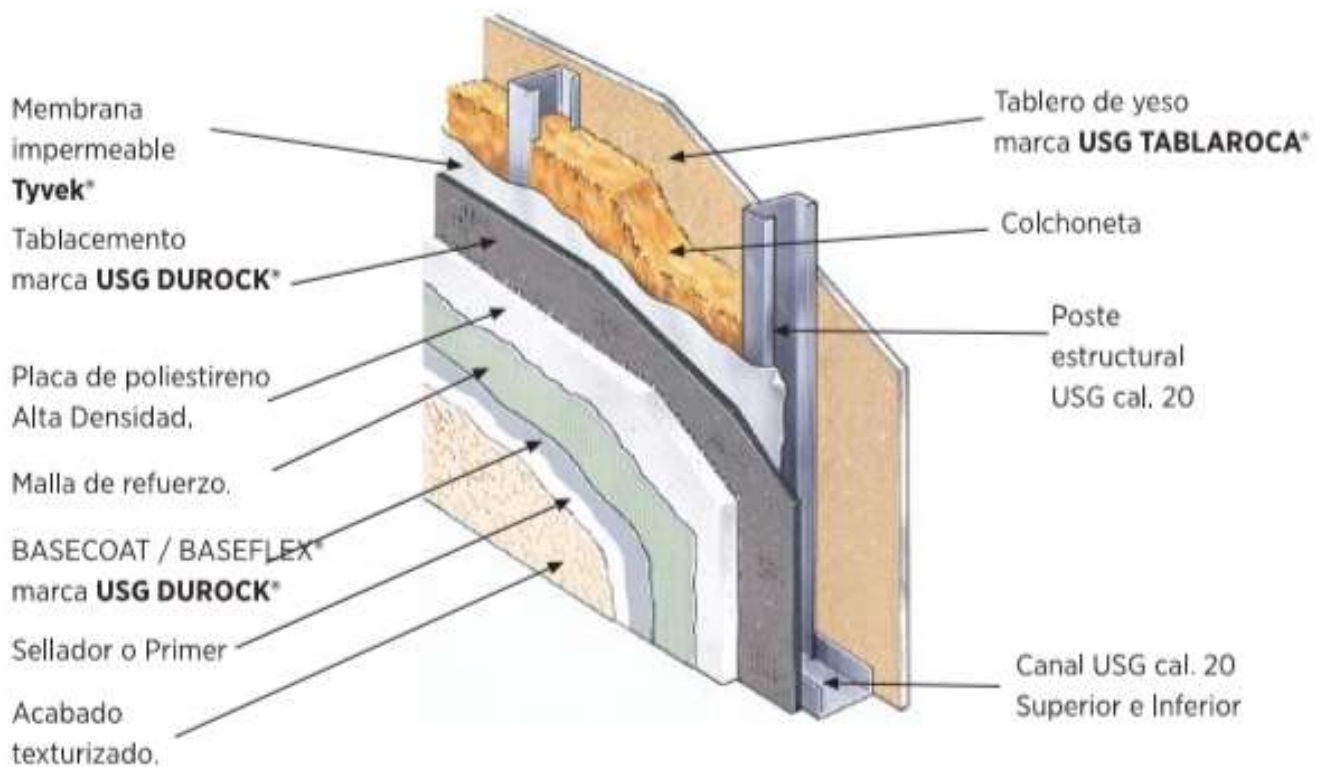


Ilustración 76. Sistema EIFS - USG, 2016.

El EPS es por excelencia de los materiales más utilizados a nivel global como aislante térmico para estructuras, tanto en Europa, como en América del Norte o del Sur, esto por sus buenas condiciones de aislación térmica, tanto su conductividad como resistencia, a como se pudo demostrar en la evaluación del confort térmico como aporte social de los sistemas, siendo en ambos aspectos superior a las fibras minerales, el cual es el único elemento adicional a las láminas de tablaroca que incorpora el sistema DEFS. Como información adicional, pero en el tema ambiental sobre los elementos internos de los sistemas para aislación térmica se investigó que la producción de EPS genera menor consumo de energía que la producción de fibras minerales, siendo entonces más sostenible la implementación de un sistema de aislamiento que utilice materiales aislantes donde en su producción se consuma menor cantidad energía, con el fin de colaborar con la reducción de emisiones de CO₂.

Aislamiento con SATE	Producción de energía MJ ^{*)}	Nº de EPD
EPS gris	44,10	EPD-EUM-20160273-IBG1-EN
EPS blanco	49,65	EPD-EUM-20160269-IBG1-EN
Espuma Mineral	69,35	EPD-XEL-20180168-IBD1-DE
Lana Mineral	84,50	EPD-DRW-20120113-IBC2-DE
Fibra de cáñamo	109,19	baubook-Nr. 1383 ip
Fibra de Madera	310,06	PAV-2013254-CBG2-DE

^{*)} por unidad funcional (1 m² de superficie con R = 1 m²·K/W)

Fuente: Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU) y baubook

Ilustración 77. Energía consumida en su producción - ANAPE, 2019.

De acuerdo con el cuadro comparativo anterior, se puede concluir que el sistema más adecuado a recomendar es el SIP, ya que refleja mayores aspectos de ventaja o beneficio contra el sistema DEFS.

8.3 Evaluación de impacto social mediante el nivel de confort desempeñado por el sistema recomendado

El sistema SIP puede proveer capacidades de aislación térmica a través de sus 2 componentes principales del panel, tanto las láminas de fibrocemento como su bloque de EPS. El núcleo del panel posee una muy baja conductividad térmica, permite que el aislamiento térmico sea muy eficiente también, estos paneles una vez instalados quedan herméticos impidiendo infiltraciones del aire exterior y así se controla mejor la temperatura de estos espacios. Esto ayuda a que se disminuya por ejemplo las dimensiones de los equipos de aire acondicionado o bien a que espacios internos sin acondicionamiento del aire permanezcan frescos cuando las temperaturas exteriores sean más altas.

Según SIPA (Structural Insulated Panel Association). Un panel SIP tiene una resistencia térmica valor R de 2,74 m² K / W, para un panel de 12 cm, y una conductividad térmica de 0.036 W / m K según ANAPE (Asociación Nacional de Poliestireno Expandido de España). Adicionalmente que el EPS es impermeable al

vapor de agua y no absorbe humedad. Por lo tanto, no la traslada hacia sus espacios internos y además reduce la aparición de esporas de moho consiguiendo una significativa calidad del aire interior, ello da una condición de confort al interno de un cerramiento en panel SIP, independientemente de las condiciones exteriores, lo que a su vez generaría un ambiente más agradable para los estudiantes que realicen sus actividades académicas dentro de un aula construida con el sistema SIP.

Como valor añadido, según ANAPE, el EPS es reciclable y reutilizable, su producción consume una muy baja cantidad de combustible y una menor cantidad de energía que otros materiales aislantes. El EPS es auto extingible, esto significa que, en caso de contacto directo con fuego, este material no va a generar flama, ni la va a propagar.

Respecto a la aislación térmica del sistema DEFS, para constatar lo que se ha indicado anteriormente, se realiza la siguiente equivalencia de resistencia térmica: en especificaciones del DIEE para el sistema DEFS, se indica únicamente la colocación de una colchoneta de fibra mineral de 7.6 cm de espesor y según se muestra en la Ilustración 21, la fibra tiene una conductividad térmica de 0.040 W / m K, y una resistencia térmica de 2.5 m² K / W para un espesor de 10 cm, sin embargo en especificaciones del sistema DEFS, se solicita un espesor de 7.6 cm y siendo la resistencia térmica directamente proporcional al espesor del material como se puede ver en la siguiente imagen:

$$R_t = \frac{L}{kA}$$

Donde:

k es la conductividad del material [W.m⁻¹.K⁻¹]

L es el espesor del material [m]

A es el área del plano [m²]

Ilustración 78. Fórmula resistencia térmica - Elaboración propia, 2021.

Por lo tanto, para un espesor de 7.6 cm se obtendría una resistencia térmica de 1.9 m² K / W, la cual es considerablemente menor a la del panel SIP.

8.4 Selección y caracterización del caso modelo para análisis de sistemas de cimentación

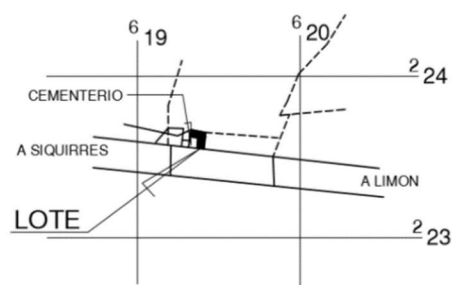
8.4.1 Caso modelo

El caso modelo a seleccionar corresponde a la Escuela de Venecia, ubicada sobre la Ruta Nacional N°32, frente al Liceo Académico de Venecia, Limón. La Escuela de Venecia actualmente consta de dos pabellones de aulas, un comedor, oficina administrativa, área de parqueo y amplias zonas verdes. Como parte de los programas de mejora por parte de la Junta de Educación se tramitó un proceso de demolición y reconstrucción de dicha escuela ante el DIEE.

El profesional a cargo del proceso de diseño del proyecto es el Ing. Roger Martínez Coto y cabe destacar que en los planos se contempla para cerramientos, el mismo sistema de paredes livianas recomendado en el apartado anterior, el cual se recomendó a raíz de los resultados reflejados en los estudios comparativos.

8.4.1.1 Ubicación geográfica y ubicación en mapa de amenazas de CNE

Según el mapa de amenazas de la CNE la escuela de Venecia estaría a 3 km del área de inundación del río Chirripó, también en una zona llana a menos de 500.00 msnm, lo que la coloca en una zona de riesgo de inundaciones.



UBICACIÓN GEOGRÁFICA

SIN ESCALA

Ilustración 79. Ubicación Geográfica, Escuela de Venecia - Martínez, 2019.

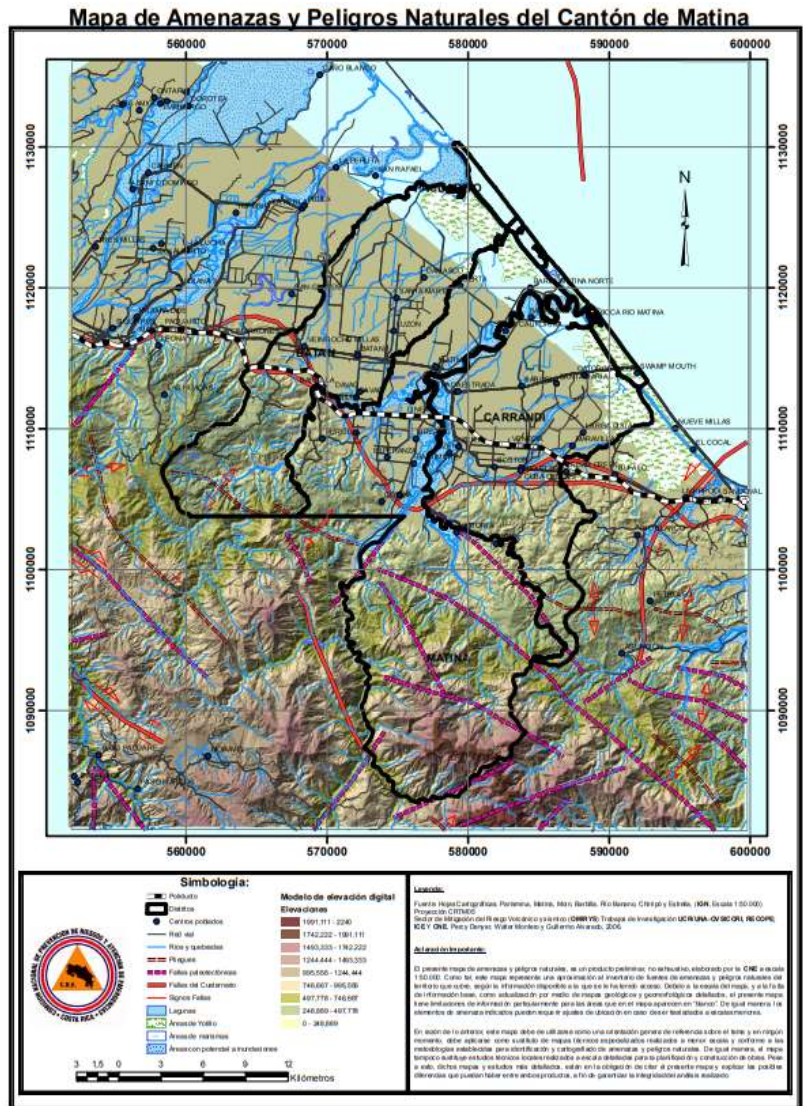


Ilustración 80. Mapa de Amenazas y Peligros Naturales del Cantón de Matina - CNE.

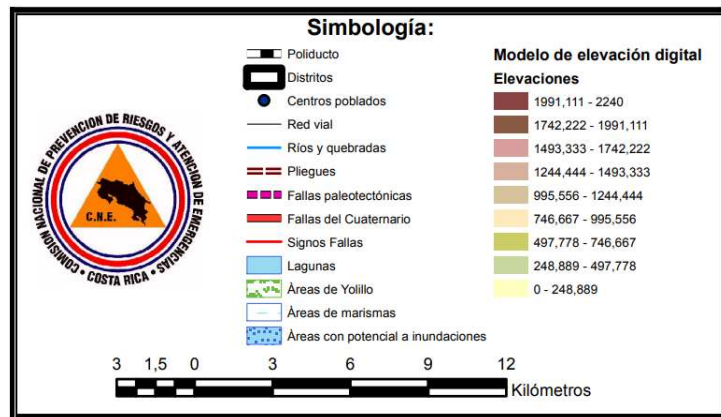


Ilustración 81. Simbología de Mapa de Amenazas y Peligros Naturales del Cantón de Matina - CNE.

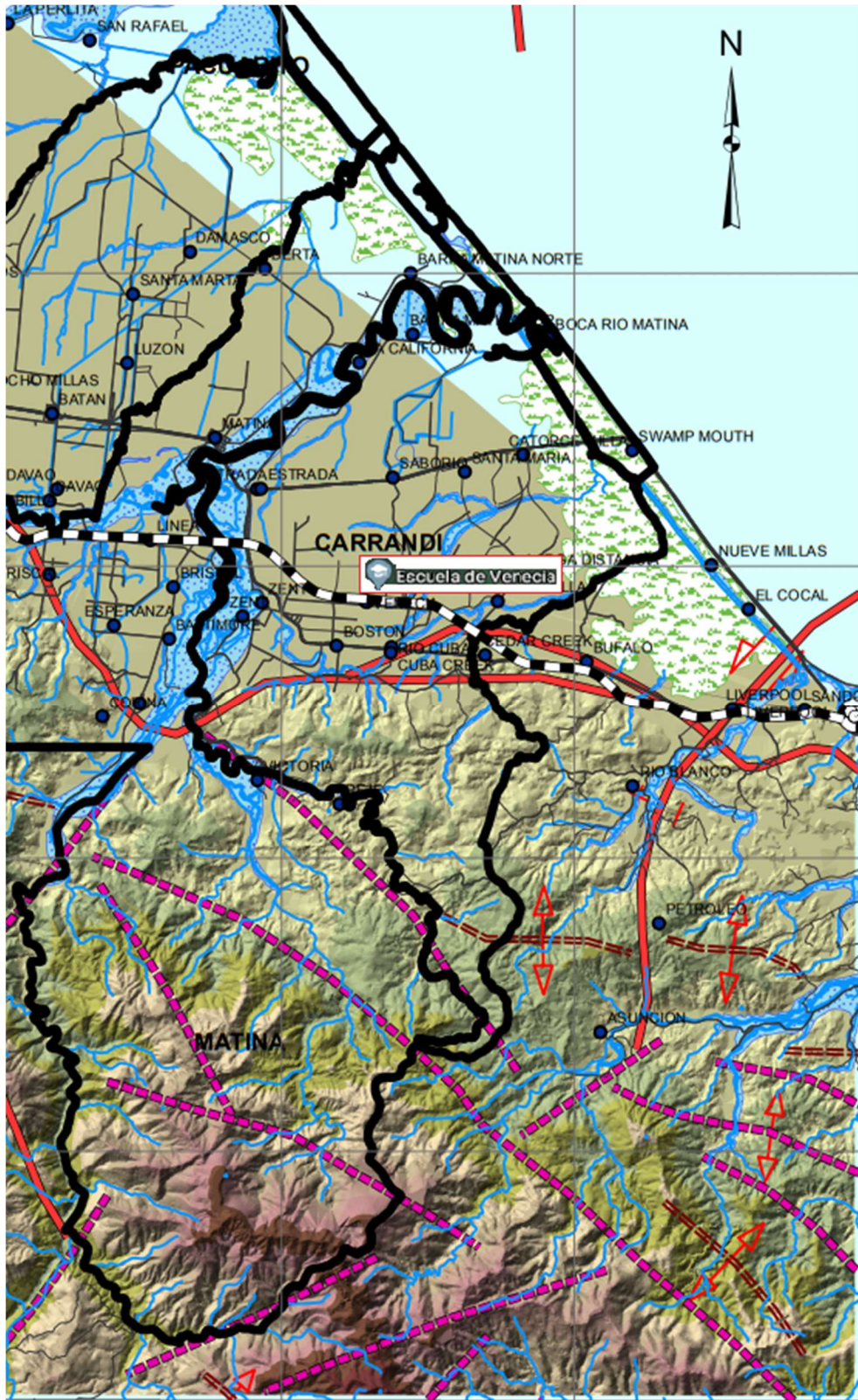


Ilustración 82. Vista ampliada con ubicación de Escuela de Venecia - Elaboración propia, 2020.

8.4.1.2 Datos de la obra

Se detallan a continuación algunos datos de interés según los planos del proyecto generados por la firma M&C Martínez Coto Ingenieros Consultores:

a. Nombre de proyecto

Escuela Venecia

b. Provincia, cantón, distrito

Limón, Matina, Carrandí

c. Propietario

Junta de Educación Escuela Venecia

d. Área de construcción

6,498 m²

e. Descripción

Consiste en una obra construida sobre columnas y una losa de entrapiso de concreto, cerramiento y compartimentos en liviano, no posee cerramientos en el nivel inferior, sin embargo, si posee una losa de contrapiso. En cuanto a sus áreas de uso cuenta en el nivel superior con quince aulas académicas y especializadas, biblioteca, cocina, comedor, bodegas, oficinas administrativas, apartamento para docentes, escaleras, rampas para discapacitados y baterías de baños, en el primer nivel cuenta con una plaza cívica, gimnasio multiuso, zonas para juego, áreas de parqueo y amplias zonas verdes alrededor de la propiedad.

8.4.1.3 Diseño arquitectónico

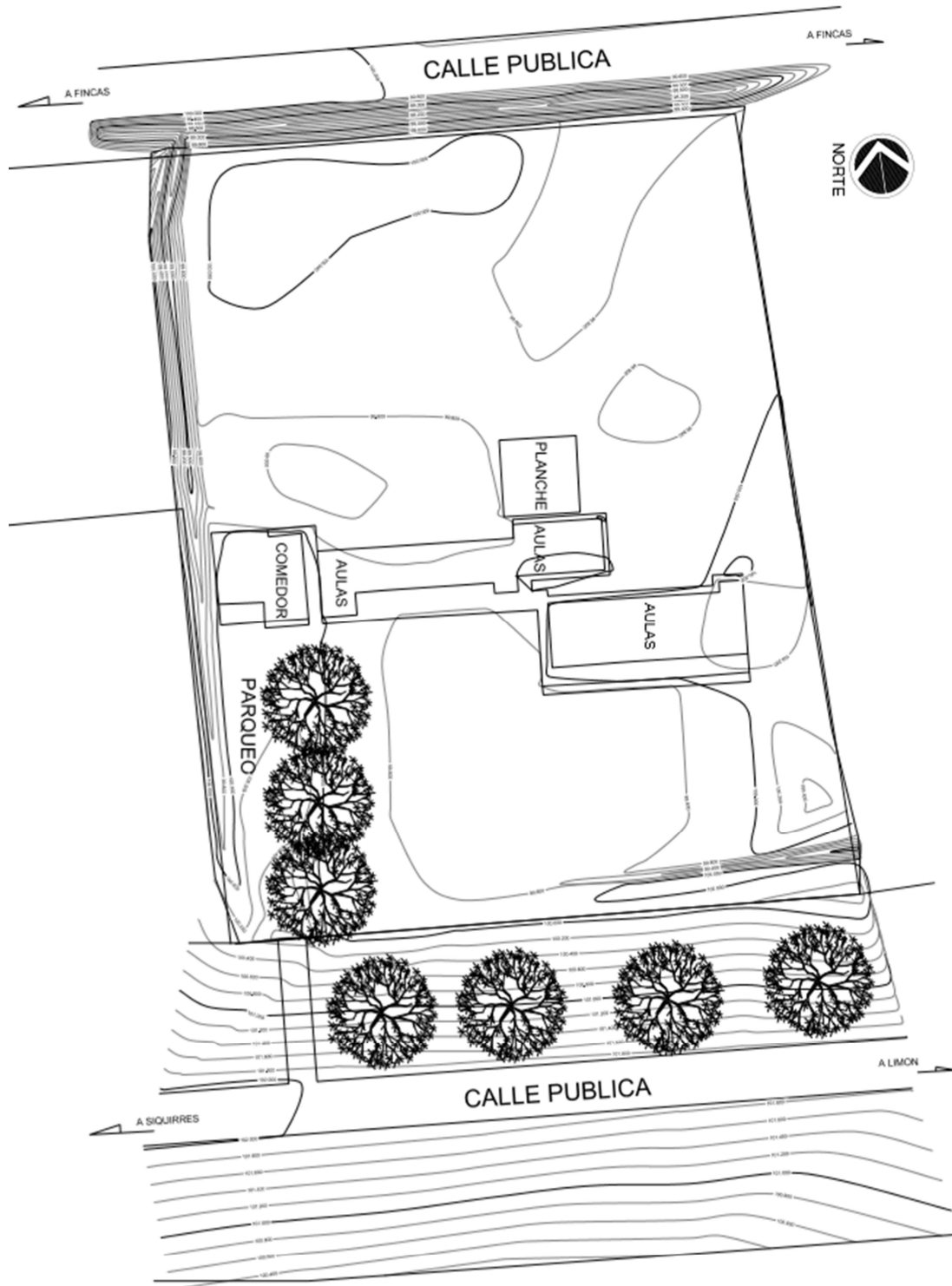


Ilustración 83. Planta de sitio existente a demoler - Martínez, 2019.

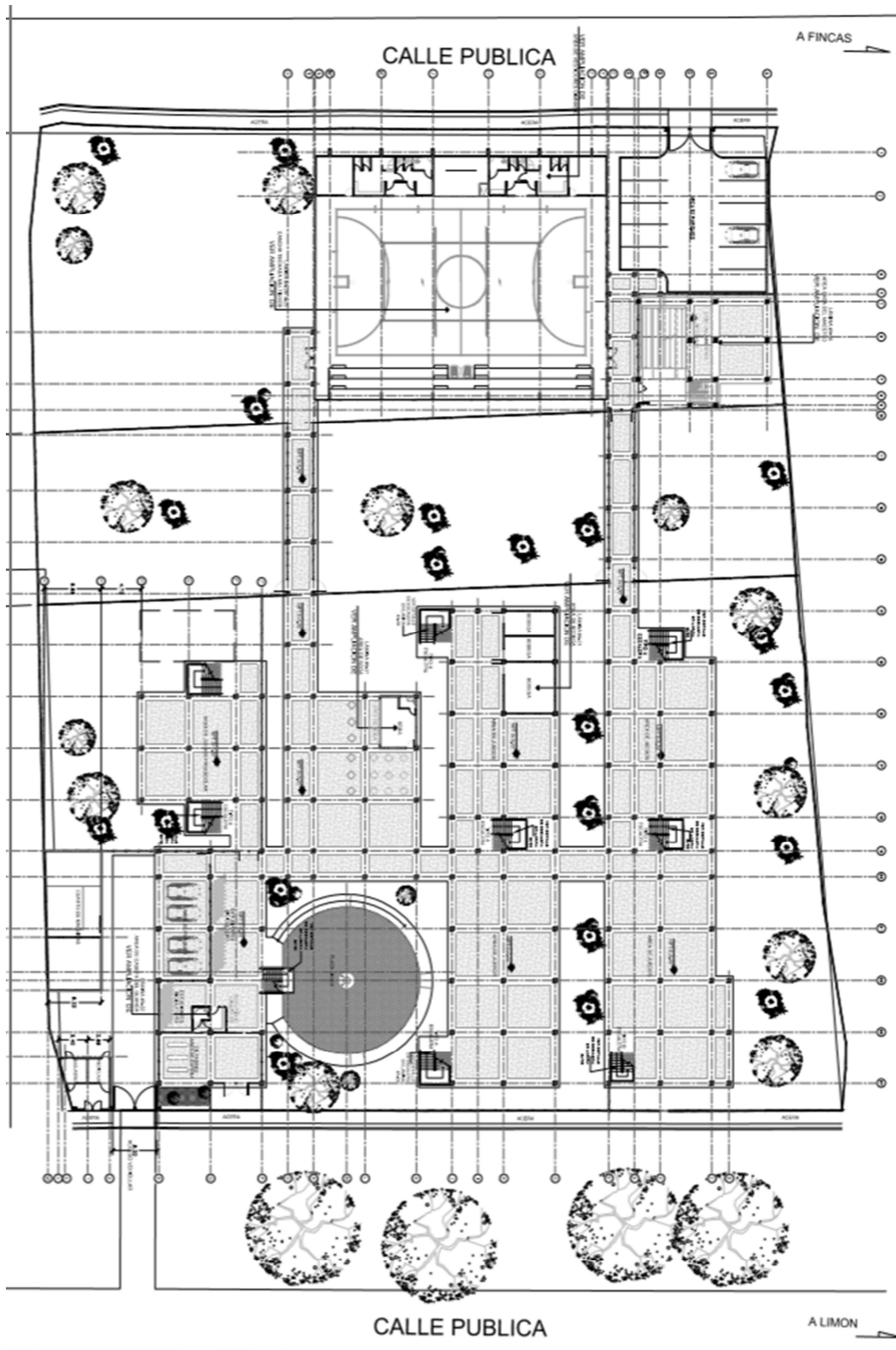


Ilustración 84. Planta arquitectónica primer nivel - Martínez, 2019.

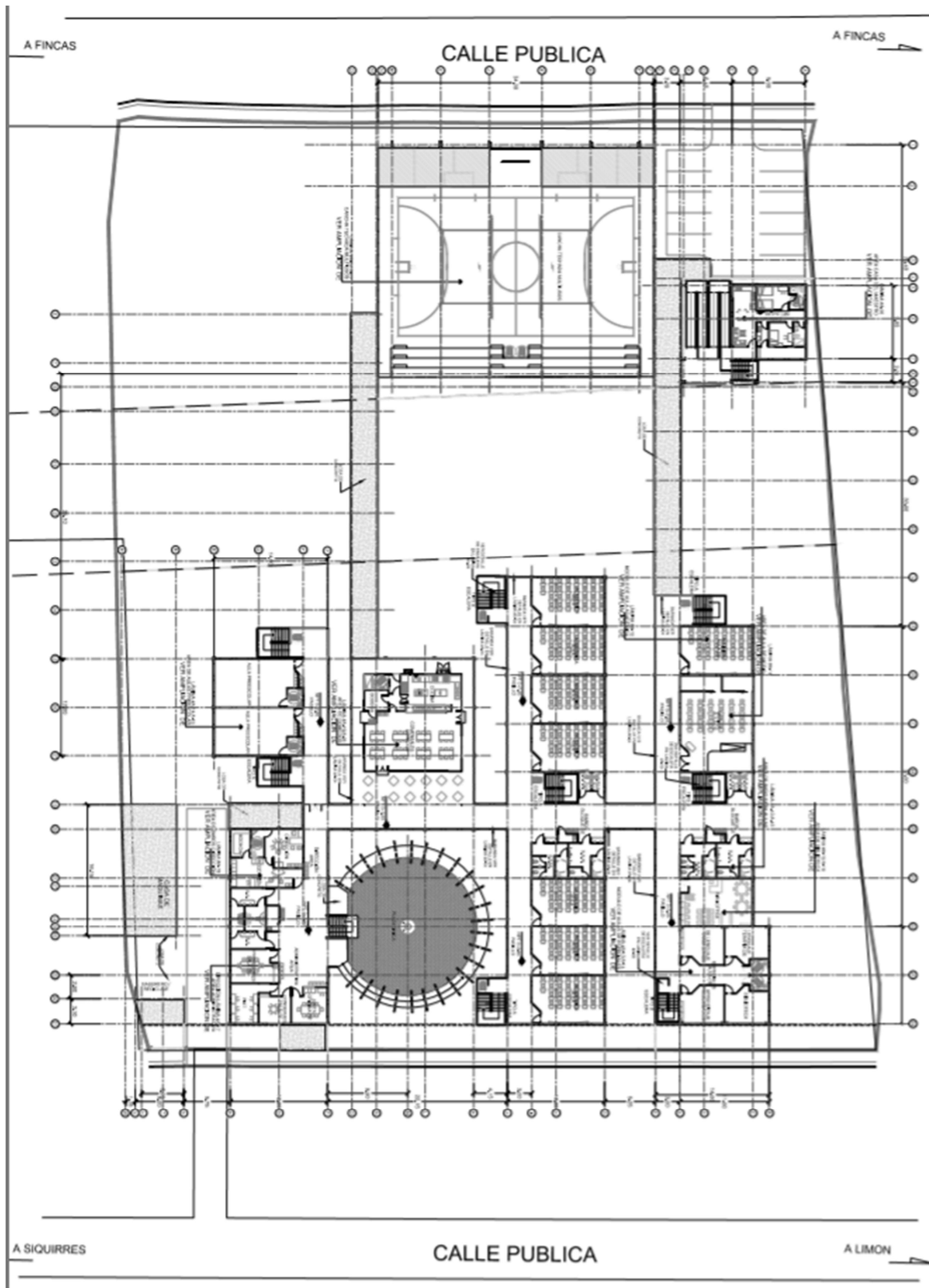


Ilustración 85. Planta arquitectónica segundo nivel - Martínez, 2019.

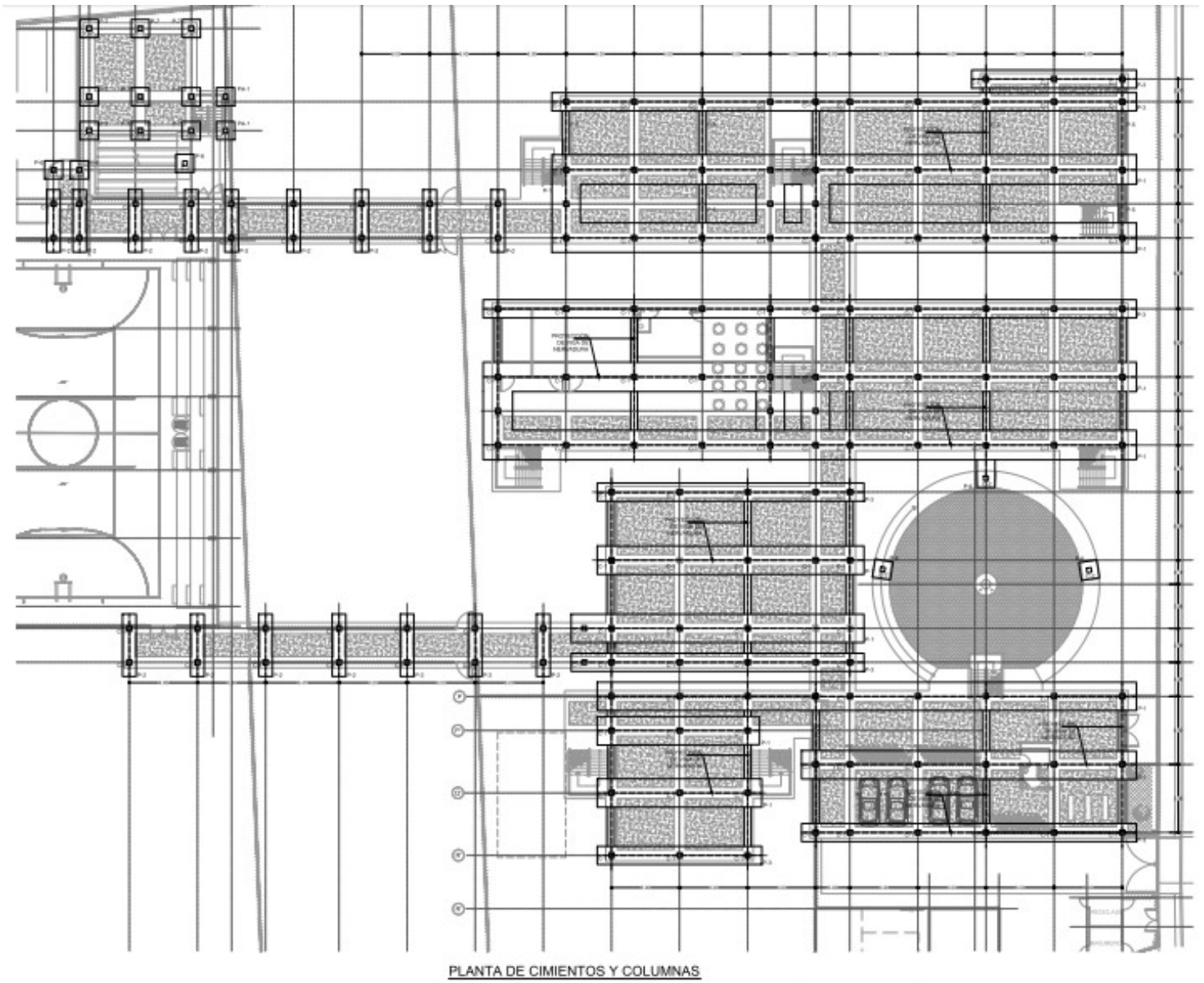


Ilustración 86. Planta estructural de cimientos y columnas de Escuela Venecia - Martínez, 2019.

8.4.1.4 Estudio geotécnico del sitio

Para este trabajo de investigación se obtuvo acceso al estudio geotécnico de suelos realizado en la Escuela Venecia, realizado por PROGETSA (Proyectos Geotécnicos S.A.) y suministrado con autorización de uso por parte del Ing. Roger Martínez.

Según se indica en el informe de estudio geotécnico de PROGETSA (2019), para la realización del trabajo *in situ* se procedió a ejecutar un total de 3 perforaciones mediante el método de percusión. Las perforaciones alcanzaron una profundidad de 5.00 m y se denominaron como P1, P2, y P3 respectivamente. Se aclara que los estratos encontrados corresponden a limos y arcillas de media a alta plasticidad y muy baja resistencia mecánica, con valores de NSPT ≤ 6 t/m² hasta la máxima profundidad explorada. La finalidad de los trabajos de campo era obtener información sobre las condiciones estratigráficas del sitio y la resistencia mecánica, que complementados con los estudios de laboratorio permitan modelar las condiciones geotécnicas de la zona.

Durante la ejecución de los sondeos se utilizó el ensayo de penetración estándar ASTM D1586 (SPT), el cual permite la determinación de la resistencia del suelo a la penetración mediante la utilización de una toma muestras tubular de acero, al mismo tiempo que se realiza la recolección de muestras alteradas para su identificación mediante el perfil geotécnico típico y la ejecución de ensayos de laboratorio. Con el SPT se obtiene además el parámetro NSPT (número de golpes necesarios para que el penetrómetro estándar logre entrar una profundidad de 30 cm en el suelo), valor que permite obtener las propiedades ingenieriles para los diversos tipos de suelos, mediante la determinación de las propiedades internas del material y su capacidad de resistencia. En la elaboración de este estudio, la información obtenida mediante el ensayo de penetración estándar se complementó con los resultados obtenidos mediante clasificación visual y ensayos de laboratorio que permitieran obtener la información necesaria para establecer el análisis geotécnico.

8.4.1.5 Estratigrafía y valores de N_{SPT}

Según se indica en el informe de estudio geotécnico de PROGETSA (2019), a partir de los resultados obtenidos se puede establecer una estratigrafía constituida básicamente por limos de poca plasticidad, limos y arcillas de plasticidad media. A continuación, se comenta la descripción estratigráfica:

a. Estrato 1A

Material areno-limoso color grisáceo oscuro, con presencia de betas limosas café claro. Plasticidad baja. Consistencia muy blanda.

b. Estrato 1B

Suelo limoso arcilloso color café claro con betas grisáceas claras. Plasticidad media. SUCS = MH, con LL = 64 e IP = 26. Consistencia muy blanda.

c. Estrato 2A y Estrato 3B

Material areno- limoso arcilloso de color gris oscuro. Plasticidad media a baja. Según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) el material clasifica como un limo de baja plasticidad (ML) con Límite Líquido (LL) = 41 e Índice Plástico (IP) = 10. Consistencia entre muy blanda y blanda.

d. Estrato 2B y Estrato 3A

Material arcilloso areno-limoso color café claro. Plasticidad de media a baja. Consistencia blanda.

Tramo (m)	Perfil estratigráfico		
	P1	P2	P3
0.00-0.50	E1. A	E1. B	E1. B
0.50-1.00			
1.00-1.50			
1.50-2.00	E2. A	E2. A	E2. B
2.00-2.50			
2.50-3.00			
3.00-3.50	E3. A	E2. A	E3. B
3.50-4.00			
4.00-4.50			
4.50-5.00			

Ilustración 87. Perfil Estratigráfico Escuela Venecia - PROGETSA, 2019.

Tramo (m)	Valores de N_{SPT}		
	P1	P2	P3
0.00-0.50	PM	PM	PM
0.50-1.00	PM	PM	PM
1.00-1.50	PM	PM	PM
1.50-2.00	PM	PM	PM
2.00-2.50	PM	2	PM
2.50-3.00	PM	2	PM
3.00-3.50	4	4	PM
3.50-4.00	6	5	PM
4.00-4.50	5	6	6
4.50-5.00	6	6	6

Ilustración 88. Valores N_{SPT} Escuela Venecia - PROGETSA, 2019

8.4.1.6 Recomendaciones del laboratorio

Según consta en el informe de estudio de suelos, se concluye y recomienda:

- a) La estratigrafía del sitio está constituida básicamente por limos y arcillas, el sitio corresponde a un área de cimentación tipo S4 y una zona sísmica III, con una aceleración pico efectiva de 0.36 g.
- b) Durante este trabajo, no se detectaron en la zona delimitada como área de estudio y hasta la profundidad explorada por los sondeos, la existencia de suelos problemáticos como son: limos porosos, arcillas expansivas, ni rellenos o botaderos de mala calidad.
- c) La capa superficial (Estrato 1) corresponde a limos y arcillas, los cuales son de baja resistencia, valores de NSPT ≤ 6 t/m² y presentan susceptibilidad a la licuación.
- d) En la exploración de campo se detectó el nivel freático en 3 sondeos al día 18/03/2018.
- e) Desde el punto de vista de las cimentaciones, no se encontraron condiciones geotécnicas aceptables para la propiedad estudiada, por lo que no pueden utilizarse sistemas de cimentación convencional a profundidades someras.
- f) Se recomienda utilizar sistemas de cimentación especial, tipo pilote u optar por una losa de piso reforzada.

Sobre estas recomendaciones se puede indicar que la capacidad soportante encontrada en la zona, limita y restringe la posibilidad de utilizar cimentaciones menos robustas o de menos área efectiva como por ejemplo sistemas típicos de placas aisladas. Esto compromete al proyecto en el uso de cimentaciones de mayor volumen y área, siendo primordial que se plantee de la forma más optimizada posible, garantizando que se evite la generación de asentamientos diferenciales u otros fenómenos como la licuefacción del suelo, con el fin de preservar de manera efectiva la vida útil del inmueble público, en aras de evitar gastos mayores a futuro en restauraciones estructurales.

8.4.2 Revisión y análisis del diseño de cimentaciones del sistema constructivo prototipo del MEP-DIEE y del sistema constructivo del caso modelo

8.4.2.1 Sección del caso modelo a analizar

Según se puede observar en la página web del DIEE, los planos prototipo se generan por módulos específicos, ya sean estos, módulos de aulas de varias disciplinas como académicas, de música, de inglés, de educación especial entre otras, o bien módulos como comedores, baterías de baños, bibliotecas, oficinas de dirección o administrativas. En el archivo digital de nombre “256217._pabellones_elevados_a_y_b” (2017), el cual se ubica en la página web del DIEE, se presentan dos opciones de módulos de aulas, uno llamado PABELLÓN ELEVADO TIPO A (3 MÓDULOS) y otro con el nombre PABELLÓN ELEVADO TIPO B (PARA 2 MODULOS), se toman estos planos prototipo como objeto de análisis debido a que son el equivalente al esquema de diseño mencionado previamente en la descripción del caso modelo, el cual es una escuela con pabellones elevados, construida sobre una cuadrícula de columnas de concreto reforzado.

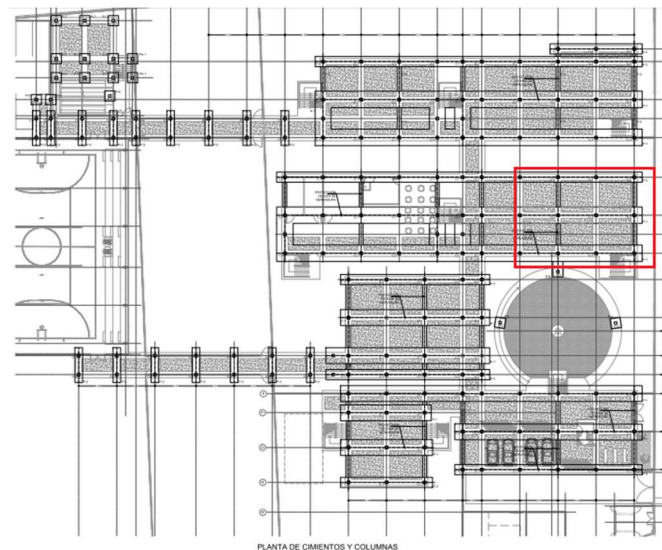


Ilustración 89. Sección de planta estructural a analizar - Martínez, 2019.

Según se puede observar en la Ilustración 89, se marca en rojo una sección del pabellón elevado de 3 módulos con el fin de realizar el análisis entre la cimentación de esta área y la que se refleja en planos prototipo del DIEE para un pabellón de 3 módulos.

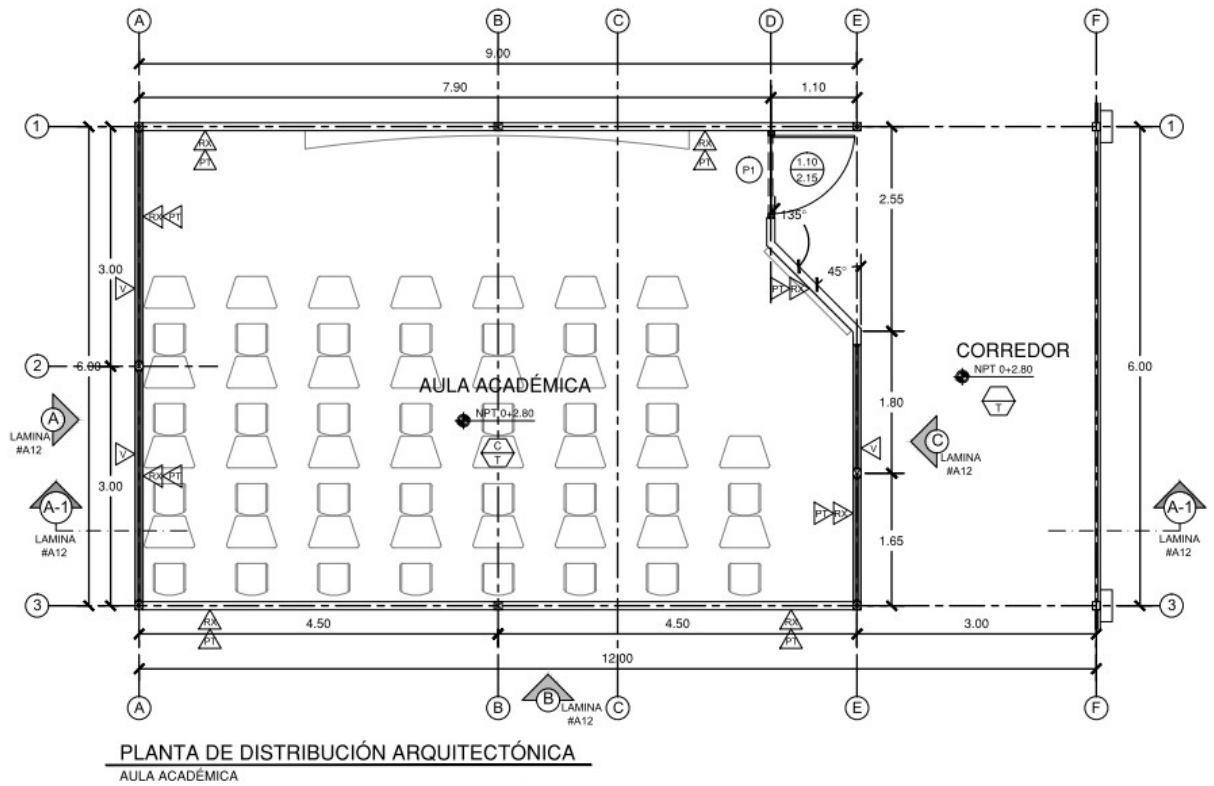


Ilustración 90. Planta de distribución Aula Académica - Martínez, 2019.

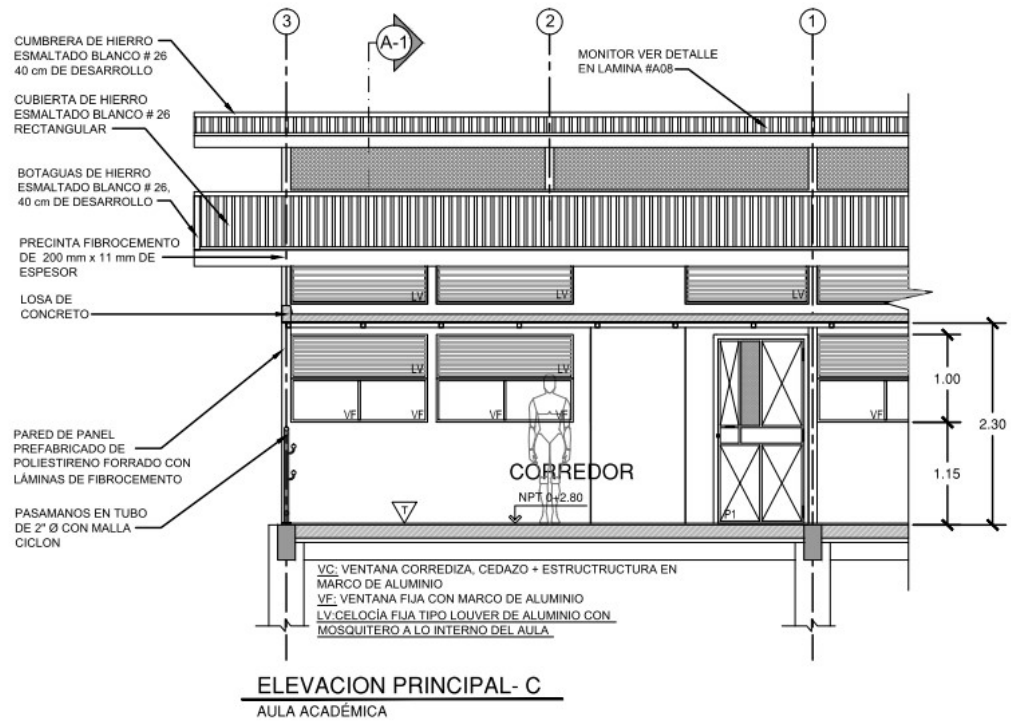


Ilustración 91. Elevación principal - Martínez, 2019.

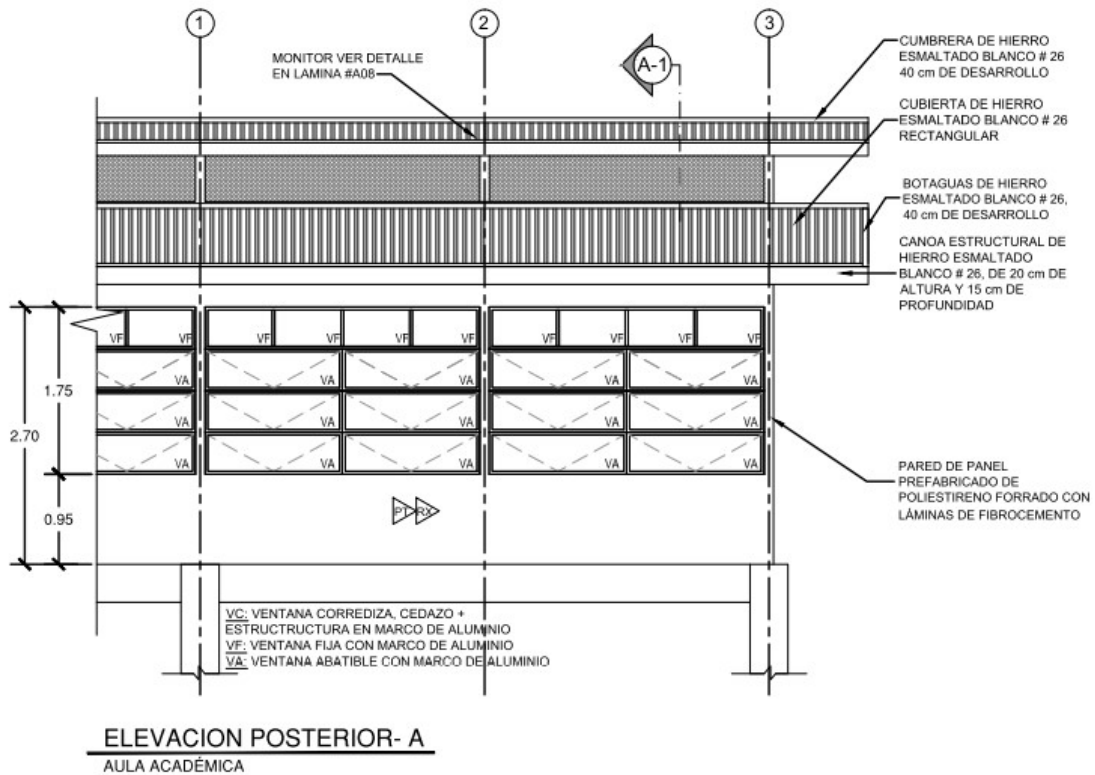


Ilustración 92. Elevación posterior - Martínez, 2019.

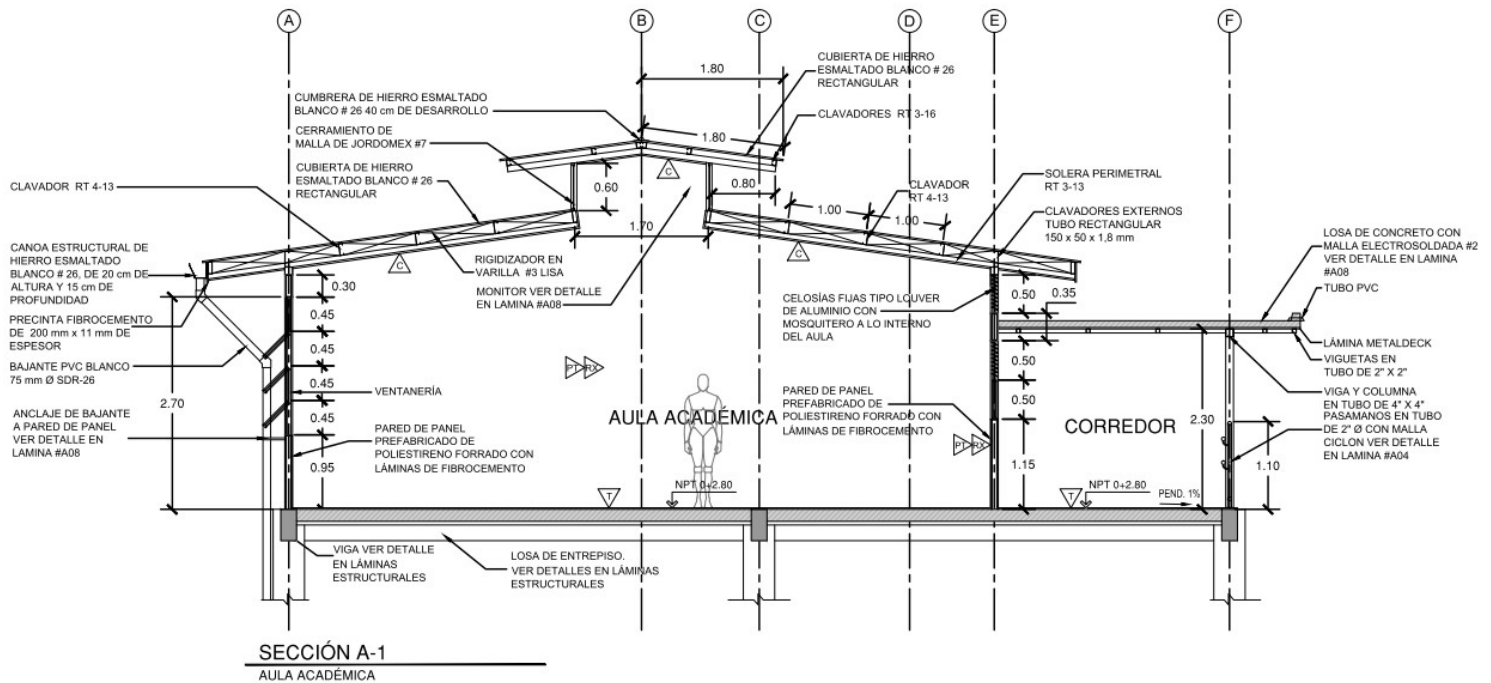


Ilustración 93. Sección A-1 - Martínez, 2019.

8.4.2.2 Descripción del sistema de cimentaciones según planos prototipo del DIEE

Según se puede observar en los planos prototipo del DIEE, en el archivo digital de nombre “256217. _pabellones_elevados_a_y_b” (2017), el cual se ubica en la página web del DIEE, la siguiente imagen correspondería a una planta estructural de cimientos para un pabellón elevado de 3 módulos.

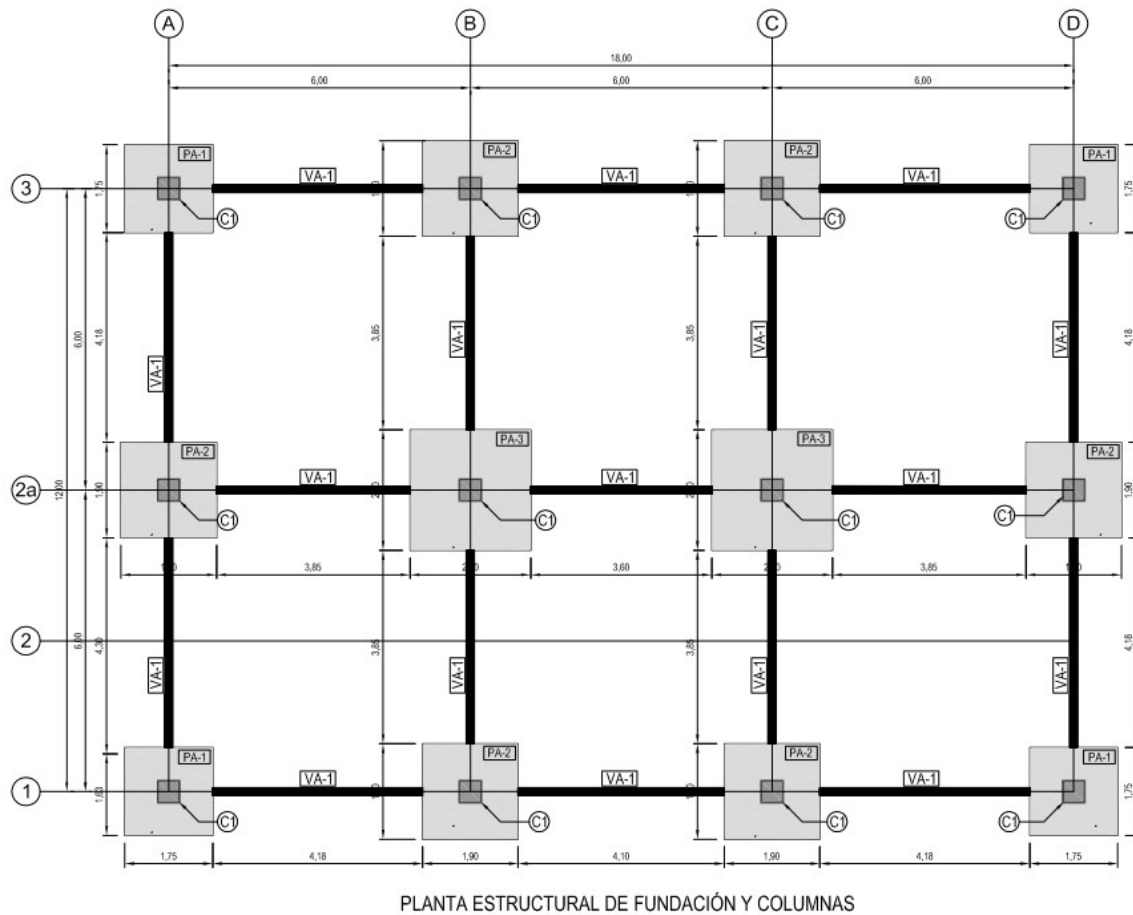
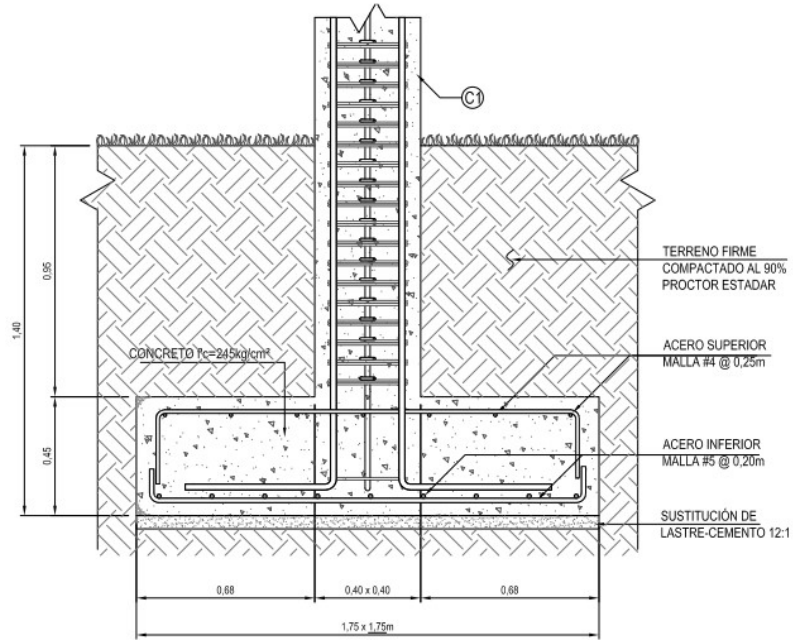


Ilustración 94. Planta estructural de cimentaciones - DICE, 2017.

Según se puede observar en la Ilustración 94, el esquema estructural consiste en un sistema de 12 placas aisladas sujetas entre sí por vigas de amarre, las cuales tienen el fin de evitar desplazamientos horizontales y asentamientos diferenciales.

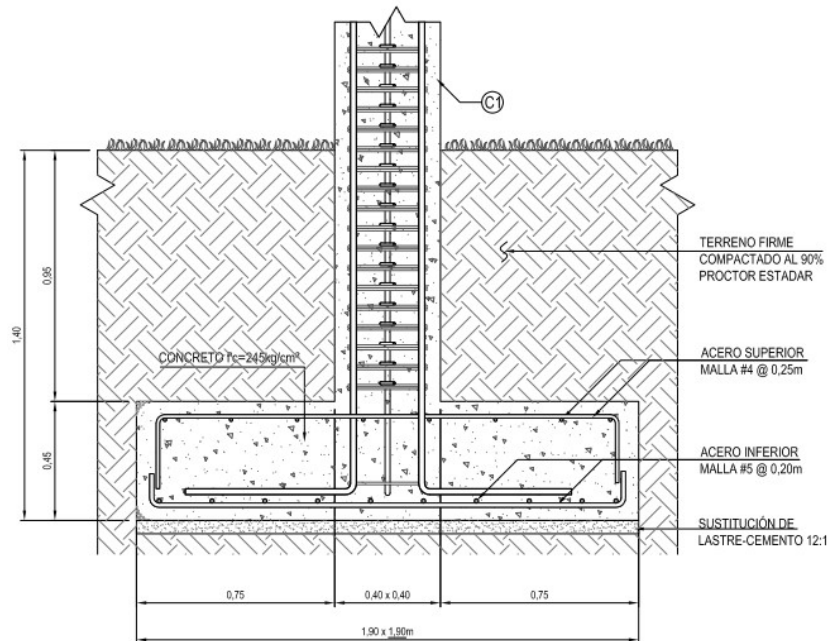
Adicionalmente las dimensiones de las placas aisladas varían desde dimensiones de la siguiente manera:

- 6) PA-1 de 1.75 m por 1.75 m con 45 cm de espesor.
- 7) PA-2 de 1.90 m por 1.90 m con 45 cm de espesor.
- 8) PA-3 de 1.90 m por 2.40 m con 45 cm de espesor.



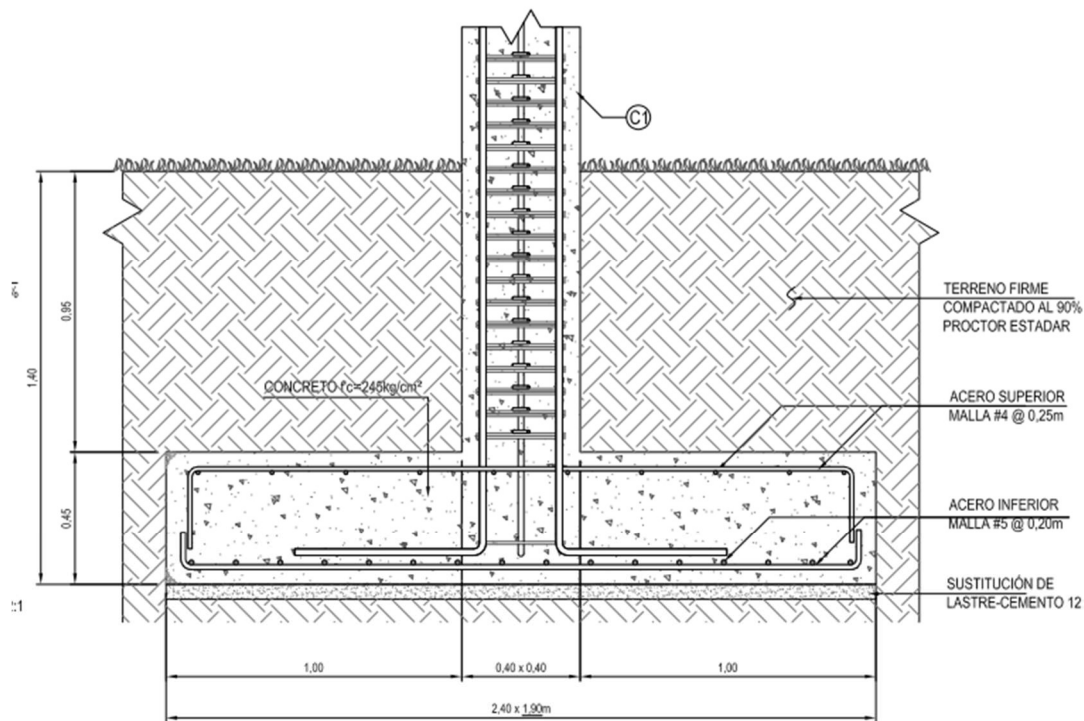
DETALLE DE PLACA AISLADA PA-1

Ilustración 95. Placa aislada tipo PA-1 de Planos Prototipo - DIEE, 2017.



DETALLE DE PLACA AISLADA PA-2

Ilustración 96. Placa aislada tipo PA-2 de Planos Prototipo - DIEE, 2017.



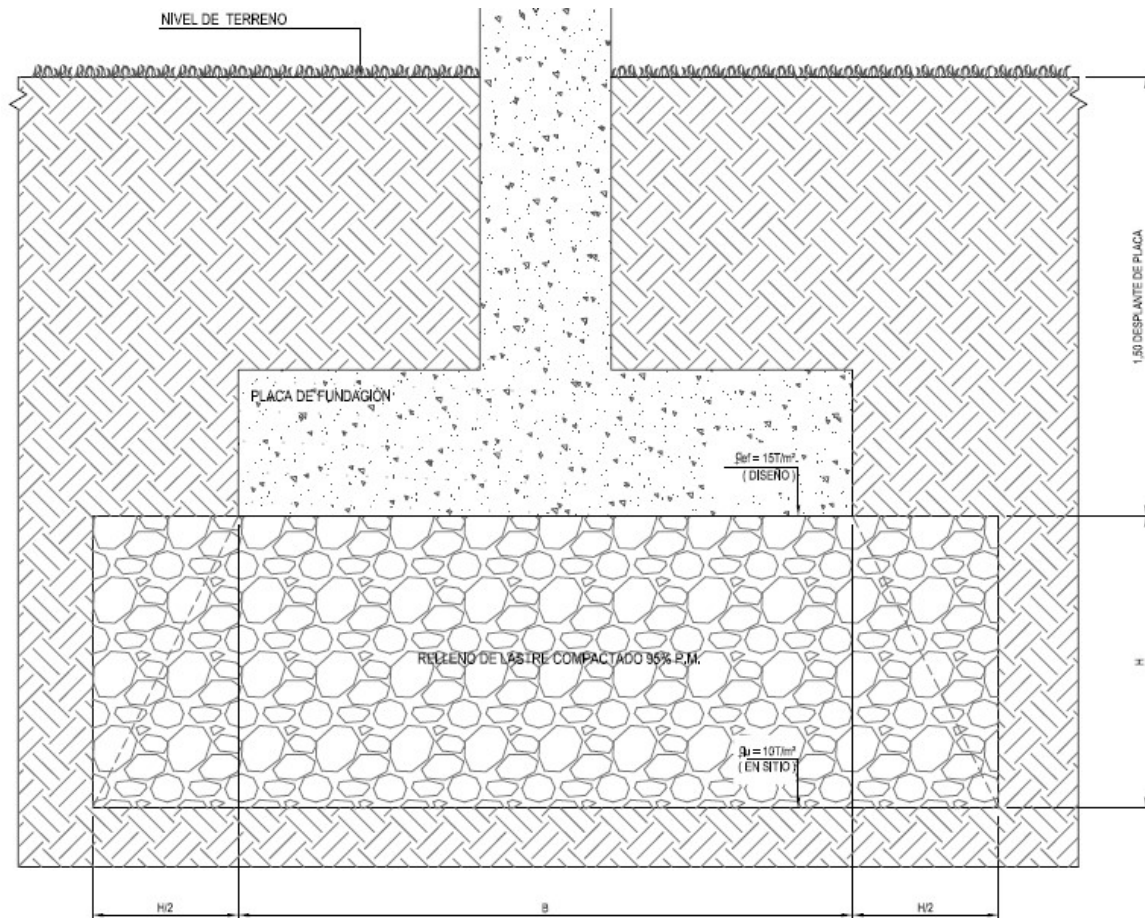
DETALLE DE PLACA AISLADA PA-3

Ilustración 97. Placa aislada tipo PA-3 de Planos Prototipo - DIEE, 2017.

Los 3 módulos de aulas significarían un área de construcción total de 216 m², donde según especificaciones técnicas requiere que el suelo tenga una capacidad de 15ton/m², tal requerimiento se vuelve importante pues como se muestra en el estudio de suelos, al menos hasta los 5 m de profundidad, no se cuenta con esta capacidad, sino solo con 6 ton/ m².

También se destaca que en el detalle se solicita un desplante a 1.4 m de profundidad con respecto al nivel cero donde encontraríamos una capacidad de solo 2 ton/ m².

Las especificaciones hacen la nota, de que en dado de no encontrarse 15 ton/m² a los 1.4 m, se debe hacer una sustitución hasta encontrar la capacidad de al menos 10 ton/m², tal como se puede leer en la siguiente nota extraída de planos prototipo:



DETALLE TÍPICO DE SUSTITUCIÓN DE TERRENO.

ESCALA _____ 1:15

NOTA DE SUSTITUCIÓN :

- SI NO SE CUENTA CON UNA CAPACIDAD DE 15T/m², HASTA LOGRAR LA CAPACIDAD REQUERIDA.
 - SI SE TIENE LA CAPACIDAD DE 15T/m² A 1,50m (DESPLANTE DE PLACA)
- SE DEBE DE COLAR UN SELLO DE CONCRETO POBRE DE 50mm DE ESPESOR
- H=0,225 x B

Ilustración 98. Detalle de sustituciones - DIEE, 2017.

8.4.2.3 Descripción de sistema de cimentaciones del caso modelo no prototipo DIEE

Según se puede observar en los planos estructurales de diseño del caso modelo, se muestra en la Ilustración 99, el diseño de cimentaciones un pabellón elevado de 3 módulos. Las dimensiones de la placa corrida varían según se indica en la tabla de dimensionamientos de placa corrida de la Ilustración 101, teniendo la P-1 de 2.60 m por 21 m de longitud (de acuerdo con la sección seleccionada para

el análisis) y una P-3 de 1.60 m por 21 m de longitud (de acuerdo con la sección seleccionada para el análisis). De igual manera se componen los 3 módulos de aulas en 216 m² de construcción. Además, se presenta la inclusión de un diente o nervio en la zona inferior de la placa corrida, el cual es importante para aportar rigidez y evitar deformaciones en el plano vertical y horizontal de la placa corrida. El ingeniero Martínez se refiere a este sistema como cimentación de T (te) invertida.

Este sistema posee más área efectiva de cimentaciones en contacto con el suelo que el sistema de placas aisladas, logrando acercarse más a la recomendación brindada por el laboratorio de estudio de suelos, el cual era una losa flotante, pero buscando la optimización máxima para evitar la losa flotante.

El detalle de la viga de nervadura se puede observar en el detalle típico de placa. Cabe destacar que, en el plano estructural completo, se muestra de manera perpendicular a las placas corridas, cada eje por medio, una proyección de la viga de nervadura, que funge también como viga de amarre y brinda rigidez en el sistema de cimentación para evitar de igual forma asentamientos diferenciales o desplazamientos horizontales.

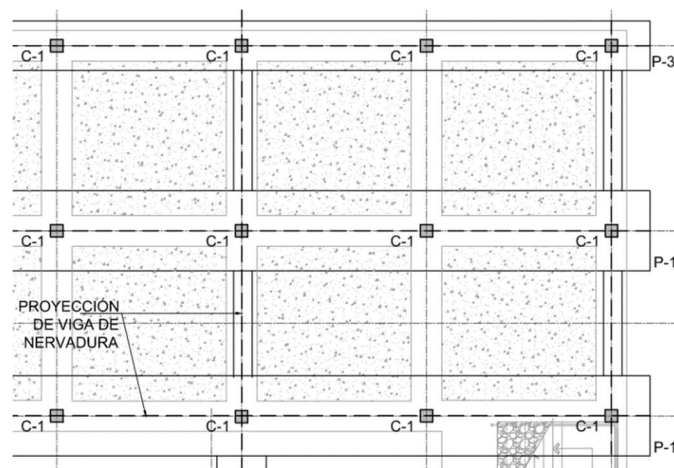
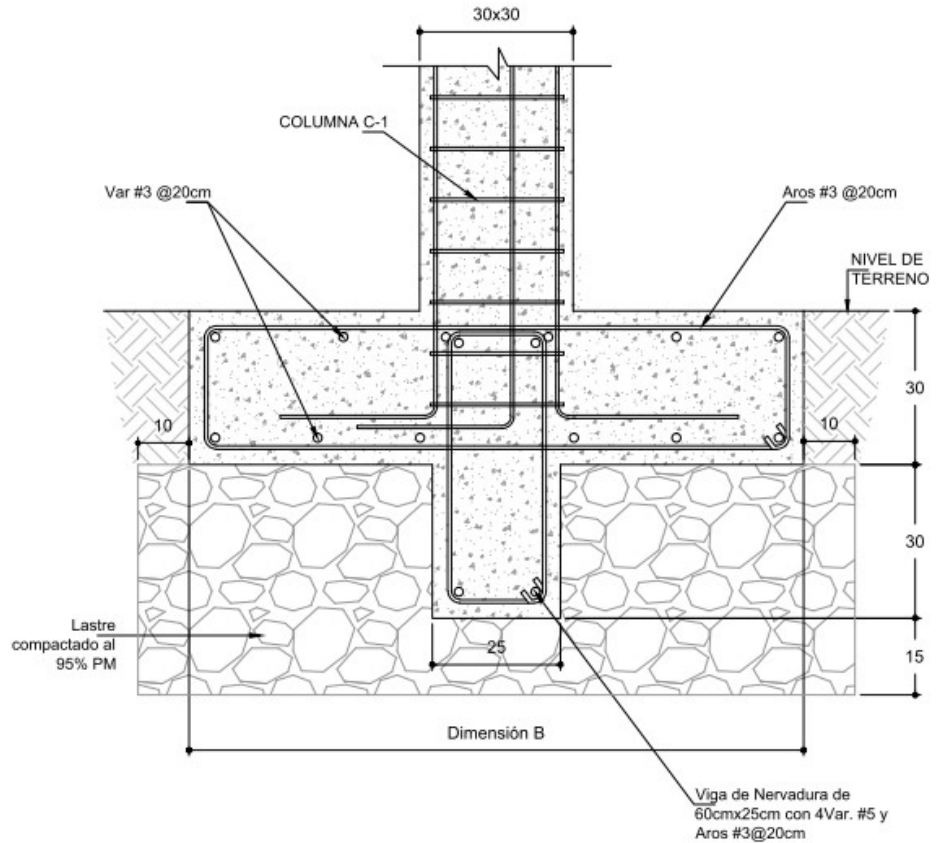


Ilustración 99. Planta estructural de cimentaciones - Martínez, 2019.



DETALLE TÍPICO DE PLACAS

Ilustración 100. Detalle típico de placas corridas - Martínez, 2019.

DIMENSIONES - "B"	
Placa P-1	260cm
Placa P-2	120cm
Placa P-3	160cm
Placa P-5	60cm
** Concreto: $f'c$ 210 kg/cm ² ** Acero Grado 40 ($f_y=2800$ kg/cm ²) ** Recubrimientos contra el terreno =5cm, el resto de los elementos 3cm	

Ilustración 101. Tabla de dimensionamiento de placas corridas - Martínez, 2019.

8.5 Evaluación de impacto ambiental por medio de huella de carbono de los sistemas de cimentación

Según Vega (2014), en síntesis, para calcular la huella de carbono se suman las emisiones de gases de efecto invernadero de diferentes actividades, productos o servicios, en este caso materiales de construcción, convirtiendo las emisiones a kilogramos de dióxido de carbono equivalente (KgCO_{2e}), esto debido a que el CO_2 representa a los gases de efecto invernadero (GEI), los cuales se consideran como los principales causantes del calentamiento global.

Sin embargo, para este proceso de cálculo hay varias normas o procedimientos previamente establecidos, para que estas estimaciones se realicen de una forma estandarizada. Por ejemplo, desde 2008, se cuenta con la norma PAS 2050 (Publicly Available Specification, por sus siglas en inglés), por parte del grupo de normas británicas BSI (British Standards Institution, por sus siglas en inglés) que mediante su publicación “Especificación del ciclo de vida de emisiones de GEI de bienes y servicios”, indica los cinco pasos principales para el cálculo de emisiones, los cuales son:

- 1) Construir un mapa del proceso requerido para obtener el bien o servicio analizado.
- 2) Definir límites y alcances del análisis.
- 3) Recolectar información sobre los materiales y actividades requeridas en el ciclo de vida del bien o producto.
- 4) Cálculo de huella de carbono.
- 5) Determinar la precisión del análisis realizado.

El punto uno de la lista anterior considera analizar todo el ciclo de vida del producto, desde la producción de su materia prima, actividades de fabricación del producto, su transporte, consumo y hasta su vertido o reciclaje. Sin embargo, en esta investigación se contemplará solo la cantidad de material a instalar en la obra “caso modelo”, a su vez se realizará el cálculo solo para los materiales principales de las cimentaciones; acero y concreto.

Existen dos metodologías para la asignación de KgCO_{2e} , una es por presupuesto o cantidad de materiales, asignando un factor de conversión previamente conocido o calculado, para la unidad de material y multiplicándolo por la cantidad de este, o bien por el método de energía acumulada, donde se asigna un factor de conversión en Mega Joules (MJ) de energía acumulada por los m^2 de construcción de un sistema constructivo en específico, donde a su vez este valor se convierte en kilowatt/hora y posteriormente a CO_{2e} . Para el ejercicio a realizar en este documento, se llevará a cabo por el método de cantidad de materiales, utilizando factores de conversión conocidos, para varillas de acero y concreto.

Para realizar el cálculo de cantidad de materiales de acero y concreto y que su comparación de huella de carbono sea correcta, deben analizarse ambos sistemas de cimentación en el escenario donde sean construibles en el caso de estudio. En este sentido, el diseño de la cimentación del caso modelo sí cumple para ser analizado, pues según el diseñador, puede trabajar en capacidades del suelo desde 2 ton/m^2 , sin embargo, para el diseño prototipo del DIEE, se deberá realizar una equivalencia de esfuerzos para realizar el cálculo de huella de carbono, con una dimensión de cimentación que si sea apta para suelos de $\pm 2 \text{ ton/m}^2$.

Siendo esto así, aplicando el principio de la fórmula general de esfuerzos:

$\sigma = \frac{F}{A}$	Dónde: σ es el esfuerzo. F es la fuerza. A es el área.
------------------------	---

Ilustración 102. Formula general de esfuerzos - Desconocido.

Se muestra que el esfuerzo es inversamente proporcional al área y a su vez, esta área de la fórmula, representa al área de cimentación en contacto con el suelo. Este es por ejemplo es uno de los motivos por los cuales el estudio de suelos recomienda idealmente la implementación de una losa de cimentación, pues esta tendría más área efectiva en contacto con el suelo para disipar las cargas y lograr edificar sobre suelos con las capacidades mencionadas.

El diseño prototipo del DIEE en sus 12 placas aisladas más sus vigas de amarre, posee solo 43.03 m² en contacto con el suelo, de sus 216 m² de área de construcción. Por lo tanto, aplicando la misma fórmula, se determinará cual será el esfuerzo del suelo utilizando la cimentación recomendada por el estudio de suelos; losa flotante, utilizando los 216 m² de construcción igualmente como área de cimentación. Para esto es necesario primero averiguar la carga estimada del diseño prototipo, que se realizará utilizando la misma fórmula, introduciendo los valores que ya se conocen, como esfuerzo de 15 ton/m² y un área de 43.03 m², de la siguiente forma:

$$F = A * \sigma$$

$$F = 43.03 \text{ m}^2 * 15 \text{ ton/ m}^2$$

$$F = 645.45 \text{ ton}$$

Luego,

$$\sigma = \frac{645.45 \text{ ton}}{216 \text{ m}^2}$$

$$\sigma = 2.9 \text{ ton/ m}^2$$

Ilustración 103. Equivalencia de esfuerzos - Elaboración propia, 2021.

Según se pudo mostrar en el ejercicio anterior, aplicando la recomendación del estudio de suelos, una losa flotante si podría ser adecuada para que al aplicar la carga estimada del diseño prototipo, el suelo si tenga la capacidad soportante.

Por lo tanto, se procederá a realizar el cálculo de huella de carbono con las dimensiones correspondientes del diseño prototipo del DIEE, pero ajustado al área de cimentación requerida para los suelos existentes, es decir, con losa flotante.

Los factores de emisión a utilizar serán los siguientes, según Vega (2014), son valores genéricos para el cálculo de huella de carbono por cantidad de materiales en obra:

MATERIAL	FACTOR DE EMISIÓN
VARILLA #3	0.0705 Kg CO _{2e} / m
VARILLA #4	0.1251 Kg CO _{2e} / m
VARILLA #5	0.1953 Kg CO _{2e} / m
CONCRETO 210 KG/cm ²	298 Kg CO _{2e} / m ³

Ilustración 104. Factores de emisión de CO_{2e} de materiales - Vega, 2014.

El cálculo de la huella de carbono para el sistema de cimentación prototipo DIEE sería el siguiente:

CAICULO DE HUELLA DE CARBONO SISTEMA PROTOTIPO DIEE				
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	FACTOR DE EMISIÓN	HUELLA DE CARBONO
CONCRETO	97	m ³	298 Kg CO _{2e} / m ³	28.90 ton CO _{2e}
VARILLA #4	1,728	m	0.1251 Kg CO _{2e} / m	0.21 ton CO _{2e}
VARILLA #5	2,160	m	0.1953 Kg CO _{2e} / m	0.42 ton CO _{2e}
TOTAL				29.53 ton CO_{2e}

Ilustración 105. Cálculo de huella de carbono sistema prototipo DIEE - Elaboración propia, 2021.

El cálculo de la huella de carbono para el sistema del caso modelo sería el siguiente:

CAICULO DE HUELLA DE CARBONO SISTEMA CASO MODELO				
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	FACTOR DE EMISIÓN	HUELLA DE CARBONO
CONCRETO	51	m ³	298 Kg CO _{2e} / m ³	15.19 ton CO _{2e}
VARILLA #3	2,652	m	0.0705 Kg CO _{2e} / m	0.18 ton CO _{2e}
TOTAL				15.37 ton CO_{2e}

Ilustración 106. Cálculo de huella de carbono sistema caso modelo - Elaboración propia, 2021.

Se muestra que el sistema DIEE genera más emisiones de que el sistema de cimentación del caso modelo.

Como revisión adicional se agrega en este apartado una estimación de emisiones de GEI del sistema de cerramiento SIP y el sistema prefabricado de baldosas y columnas horizontales, para determinar y comparar la huella ambiental generada por cada sistema.

Según Sáenz (2015), un valor estimado de emisión de CO₂ por la fabricación de columnas y baldosas prefabricadas es de 0.37 ton CO₂ / m³ de concreto prefabricado.

Por lo tanto, aplicando este valor al escenario del caso modelo tendríamos el siguiente aporte de GEI:

CAICULO DE HUELLA DE CARBONO SISTEMA CASO MODELO				
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	FACTOR DE EMISIÓN	HUELLA DE CARBONO
CONCRETO PREF.	7	m ³	370 Kg CO _{2e} / m ³	2.59 ton CO _{2e}
TOTAL				2.59 ton CO_{2e}

Ilustración 107. Aporte GEI de sistema prefabricado - Elaboración propia, 2021.

Respecto al sistema SIP, según Cruz y Zaldúa (2018), el valor estimado de emisión de CO₂ por kg de EPS es de 3.67 kg CO₂ / kg EPS, por lo tanto, se obtienen los siguientes resultados a partir de un EPS de densidad de 15 kg / m³:

CAICULO DE HUELLA DE CARBONO SISTEMA SIP				
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	FACTOR DE EMISIÓN	HUELLA DE CARBONO
EPS	275	kg	3.67 Kg CO _{2e} / kg EPS	1.00 ton CO _{2e}
TOTAL				1.00 ton CO_{2e}

Ilustración 108. Aporte GEI del EPS del sistema SIP - Elaboración propia, 2021.

Si bien es cierto, hay una noción en la sociedad de que el EPS es contaminante, sin embargo, es igual de contaminante que cualquier otro residuo que no tenga una adecuada disposición. Según las investigaciones es más

contaminante el concreto y se continúa utilizando. La situación con el EPS está en los residuos, principalmente de envases y empaques, que por una incorrecta disposición de residuos terminan en el medio ambiente.

Sin embargo, el EPS utilizado en construcción o en la industria es sinónimo de beneficio para el medio ambiente, pues siendo utilizado como aislante térmico ahorra grandes cantidades de consumo de energía, ya sea en refrigeración de productos o por aires acondicionados y calefacción.

En Costa Rica se aprobó y entró en vigencia la Ley N°9703 y su reglamento que decretan la prohibición de importación, comercialización y entrega de envases o recipientes de poliestireno expandido, pero que permite en algunos usos específicos continuar con la utilización normal del EPS, según lo indica la página web del Ministerio de Salud “La Ley N°9703 y su reglamento (Decreto Ejecutivo No. 42833-S) plantean una serie de excepciones a la prohibición del uso del estereofón:

- a) Los casos en los que por cuestiones de conservación o protección de los productos no sea ambientalmente viable el uso de materiales alternativos.
- b) Los embalajes de electrodomésticos y afines.
- c) Los usos industriales.
- d) Los usos en equipo de protección personal, cascos de motos y bicicletas.
- e) Los usos en equipo de flotación para salvamento acuático.
- f) Los usos como aislante térmico o acústico.
- g) Los empaques secundarios o embalajes para vacunas y medicamentos.
- h) Los empaques secundarios o embalajes para alimentos para regímenes especiales de preparados para lactantes, y suplementos a la dieta.

i) Los empaques secundarios o embalajes para los que el fabricante/importador cuente con un sistema de recolección y responsabilidad extendida del productor/importador de conformidad con el Decreto 38272-S, del 7 de enero del 2014 "Reglamento para la Declaratoria de Residuos de Manejo Especial," y para los que cuente con un contrato vigente de tratamiento, valorización, reciclaje o destrucción a través de un gestor de residuos autorizado por el Ministerio de Salud, o para el aprovechamiento energético.

j) Los usos como productos o acabados en proyectos constructivos, en que el material esté inmovilizado durante la vida útil del edificio y sea requerido para su funcionalidad."

8.6 Evaluación de impacto económico cimientos y cerramientos en liviano para la sección a analizar del caso modelo

A continuación, se muestra el estimado presupuestario del costo de cimientos de acuerdo con el diseño prototipo del DIEE:

ESTIMACIÓN DE COSTOS CIMENTACIÓN DIEE APLICADA EN CASO MODELO				
	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNIT.	TOTAL
MATERIALES CIMENTACIÓN	216	m²	€129.72	\$28,020.33
LOSA	216.00	m2	\$129.72	\$28,020.33
EXCAVACIÓN	313.20	m3	\$10.00	3,132.00
RELLENO	203.09	m3	\$12.00	2,437.11
VARILLA #4	288.00	und	\$6.90	1,987.20
VARILLA #5	360.00	und	\$10.85	3,906.00
CONCRETO	97.20	m3	\$170.35	16,558.02
MANO DE OBRA	50%	MATERIALES		\$14,010.16
COSTOS INDIRECTOS	15%	COSTO DIRECTO		\$6,304.57
TOTAL			\$223.77	\$48,335.06

Ilustración 109. Estimación de costos cimentación DIEE aplicada en caso modelo, elaboración propia, mayo 2021.

A continuación, se muestra el estimado presupuestario del costo de cimientos de acuerdo con el diseño del sistema del caso modelo:

ESTIMACIÓN DE COSTOS CIMENTACIÓN CASO MODELO

	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNIT.	TOTAL
MATERIALES CIMENTACIÓN	216	m²	\$57.71	\$12,465.61
PA-1	2	und	\$4,425.82	\$8,851.64
EXCAVACIÓN	53.2	m3	\$10.00	\$532.00
RELLENO	23	m3	\$12.00	\$276.00
VARILLA #3	144	und	\$3.83	\$551.52
CONCRETO	18	m3	\$170.35	\$3,066.30
PA-3	1	und	\$2,900.57	\$2,900.57
EXCAVACIÓN	32.8	m3	\$10.00	\$328.00
RELLENO	13.5	m3	\$12.00	\$162.00
VARILLA #3	109	und	\$3.83	\$417.47
CONCRETO	11.7	m3	\$170.35	\$1,993.10
VIGA DE NERVADURA	15	m	\$47.56	\$713.40
EXCAVACIÓN	0.2	m3	\$10.00	\$2.00
VARILLA #3	3	und	\$3.83	\$11.49
CONCRETO	0.2	m3	\$170.35	\$34.07
MANO DE OBRA	50%	MATERIALES		\$6,232.80
COSTOS INDIRECTOS	15%	COSTO DIRECTO		\$2,804.76
TOTAL			\$99.55	\$21,503.17

Ilustración 110. Estimación de costos cimentación caso modelo - Elaboración propia, mayo 2021.

Nota: Los costos unitarios de este presupuesto corresponden a precios del mercado nacional a mayo 2021.

Se refleja que, para dicha área en análisis, el sistema prototipo de DIEE aplicado en suelos de capacidades soportantes desde 2 ton/m² tiene un costo por m² de construcción de cimentaciones de 223.77 USD contra 99.55 USD por m² del sistema del caso modelo, una diferencia del 55%, ante estos escenarios se descartaría por razones económicas el uso del sistema de cimentaciones del DIEE.

A continuación, se muestra el estimado presupuestario del costo de cerramientos en liviano de acuerdo con el diseño prototipo del DIEE:

ESTIMACIÓN DE COSTOS CERRAMIENTO SISTEMA DEFS - SIN AISLACIÓN EPS

	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNIT.	TOTAL
MATERIALES CERRAMIENTO	162	m²	\$46.00	\$7,452.30
ÁREA DE PAREDES - DEFS	183	m ²	\$40.72	\$7,452.30
MANO DE OBRA	50%	MATERIALES		\$3,726.15
COSTOS INDIRECTOS	15%	COSTO DIRECTO		\$1,676.77
TOTAL			\$70.25	\$12,855.22

Ilustración 111. Estimación de costos sistema DEFS - Elaboración propia, 2021.

Nota: Los costos unitarios de este presupuesto corresponden a oferta de servicios constructivos de la empresa constructora AIC S.A de Marzo, 2020.

A continuación, se muestra el estimado presupuestario del costo de cerramientos en liviano prototipo DEFS convertido en sistema EIFS, añadiendo aislación con EPS.

ESTIMACIÓN DE COSTOS CERRAMIENTO SISTEMA EIFS				
	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNIT.	TOTAL
MATERIALES CERRAMIENTO	162	m ²	\$54.43	\$8,818.06
ÁREA DE PAREDES - EIFS	183	m ²	\$48.19	\$8,818.06
MANO DE OBRA	50%	MATERIALES		\$4,409.03
COSTOS INDIRECTOS	15%	COSTO DIRECTO		\$1,984.06
TOTAL			\$83.12	\$15,211.16

Ilustración 112. Estimación de costos sistema EIFS - Elaboración propia, 2021.

Nota: Los costos unitarios de este presupuesto corresponden a oferta de servicios constructivos de la empresa constructora AIC S.A de Marzo, 2020.

A continuación, se muestra el estimado presupuestario del costo de cerramientos en liviano con el sistema recomendado:

ESTIMACIÓN DE COSTOS CERRAMIENTO SISTEMA SIP				
	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNIT.	TOTAL
MATERIALES CERRAMIENTO	162	m ²	\$51.32	\$8,313.32
ÁREA DE PAREDES - SIP	183	m ²	\$45.43	\$8,313.32
MANO DE OBRA	35%	MATERIALES		\$2,909.66
COSTOS INDIRECTOS	15%	COSTO DIRECTO		\$1,683.45
TOTAL			\$70.53	\$12,906.43

Ilustración 113. Estimación de costos sistema SIP - Elaboración propia, 2021.

Nota: Los costos unitarios de este presupuesto corresponden a valores brindados vía telefónica por personal de PANACOR en mayo, 2021.

Se refleja que, para dicha área en análisis, el sistema prototipo de DIEE tiene un costo por m² de pared de cerramientos livianos de 70.25 USD por m² de pared contra 70.53 USD por m² del sistema liviano recomendado, una ligera diferencia de solo 0.3% a favor del sistema DEFS. Sin embargo, esta mínima diferencia económica es descartable, ya que prácticamente por el mismo costo se estaría dejando de utilizar un sistema que tiene mejores aportes ambientales y condiciones

de aislamiento térmico que el DEFS, el cual, si se quisiera igualar al sistema SIP al menos en su capacidad de aislamiento térmico, tendría que especificarse el sistema EIFS, que tiene un costo de 83.12 USD por m² de pared, una diferencia del 15%.

Aunado a que el costo se torna mayor al del sistema SIP, la inclusión del sistema EIFS adicionaría un mayor espesor o grosor al ensamble final de pared lo cual generaría una pérdida de área útil del proyecto.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

9.1 Conclusiones de: Objetivo específico A

En relación con este objetivo, cabe resaltar que analizaron las 10 variables con su resultado diferencial de ventajas entre sistemas, dada la necesidad de proporcionar a los estudiantes un sistema de cerramiento liviano que brinde un adecuado confort térmico. Tal aseveración emanó del sexto informe del Estado de la Educación mencionado en este documento el cual también planteó el tema de la sostenibilidad, tanto en la generación de desechos en obra cómo en la emisión de CO₂ en sus procesos de fabricación. Por todos elementos se concluye que el sistema SIP posee mayores ventajas y beneficios en su uso con respecto al sistema utilizado en planos prototipo del DIEE para cerramientos livianos, y con respecto también a los otros dos sistemas constructivos livianos analizados.

9.2 Conclusiones de: Objetivo Específico B

Para este caso, no existe una capacidad del suelo de 15 ton/m² en área de estudio y por lo tanto se hace necesaria una equivalencia de esfuerzos para determinar la dimensión necesaria que debería tener la cimentación prototipo del DIEE en este escenario para poder realizar un cálculo de emisiones de CO_{2e} con dos cimentaciones aptas para suelos de las capacidades indicadas. Así las cosas, se alcanza un resultado claro en demostrar que el diseño de cimentaciones del caso modelo genera 47% menos emisiones de GEI que el sistema de cimentación prototipo aplicado en suelos con menor capacidad que la especificada.

9.3 Conclusiones de: Objetivo específico C

La evaluación de costos refleja un beneficio económico por la implementación tanto del sistema SIP para cerramientos como el sistema de cimentación del caso modelo, al momento de realizar el balance entre las necesidades reales a cubrir y los costos asociados a estas.

CAPÍTULO VI. RECOMENDACIONES

10.1 Recomendaciones de: Objetivo específico A

Se recomienda la implementación del sistema liviano SIP para cerramiento de escuelas tipo pabellones elevados, construidas en zonas inundables con baja capacidad soportante, debido a los beneficios y ventajas analizadas en este documento, principalmente en el impacto social positivo que brinda un sistema aislante en el proceso educativo mediante el confort y seguridad de los usuarios.

10.2 Recomendaciones de: Objetivo específico B

Se recomienda la implementación del diseño de cimentaciones del caso modelo, como prototipo DIEE para zonas de baja capacidad soportante, pues es un sistema adaptable a suelos desde 2 ton/m², que permite reducir las dimensiones de cimentación o mejoramientos de suelos, emitiendo menores porcentajes de GEI que sistemas más robustos.

10.3 Recomendaciones de: Objetivo específico C

Se recomienda la incorporación de ambos sistemas, SIP para cerramientos y el sistema de cimentación del caso modelo, como diseño prototipo de superestructura y subestructura, respectivamente, para escuelas de pabellones elevados, a construirse en zonas inundables, pues se evidencia que hay un balance positivo entre costos, impacto ambiental y beneficio social, utilizando estos sistemas, en sitios con condiciones de altas temperaturas, altos niveles de humedad y baja capacidad soportante de los suelos, implicando menores gastos de fondos públicos construyendo obras eficientes y funcionales adaptadas al entorno físico y ambiental.

Se sugiere adicionalmente realizar, en futuras investigaciones, un estudio hidrodinámico para analizar la socavación y erosión en cimentaciones en suelos inundables.

CAPÍTULO VII. REFERENCIAS

11.1 Libros

- Barrantes (2013). *Investigación: Un camino al conocimiento*. San José, Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia.
- Das (2012). *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones*. Ciudad de México, México: Cengage Learning Editores, S.A.
- Hernández-Sampieri (2014). *Metodología de la Investigación*. Ciudad de México, México. McGraw-Hill / Interamericana Editores SA.
- Ley N° 3481 “*Ley Orgánica del Ministerio de Educación Pública*”, creada el 13 de enero de 1965.
- Ley N° 4788 “*Ley de creación Ministerio de Cultura, Juventud y Deportes*”.
- Solís D. M y Araya A. S. (2016) *Sistemas de cimentaciones para proyectos de infraestructura educativa para los suelos de la zona norte en los cantones de Guácimo, Pococí y Sarapiquí*. (Tesis de Licenciatura) Universidad Fidélitas, Costa Rica.
- Palomo M. (2017) *Aislantes térmicos. Criterios de selección por requisitos energéticos*. (Trabajo fin de grado) Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. (1987) *Nuestro futuro común*. Informe de las Naciones Unidas.
- Schneider, H y J, Samaniego. (2010) *La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Naciones Unidas.
- Gobierno de Costa Rica. (2018) *Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050*, Costa Rica.

- Consejo Nacional de Rectores. (2017) *Sexto informe de Estado de la Educación Costarricense*, Costa Rica.
- Vega S. (2014) *Cálculo y reducción de la huella de carbono en materiales de construcción de viviendas de interés social*. (Proyecto final de graduación) Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- Cruz y Zaldúa (2018) *Análisis de ciclo de vida del poliestireno expandido usado en contenedores de alimentos en Colombia*. (Artículo) Universidad Central de Colombia.
- Sáenz (2015) *Comparación de la huella de carbono generada al construir paredes de una vivienda unifamiliar de 45 m² en obra gris, utilizando las emisiones calculadas al usar losas prefabricadas de concreto y al usar teca*. (Proyecto de Graduación) Universidad de Costa Rica, Costa Rica.

11.2 Páginas Web

- MEP (2020). *Misión y Visión del MEP*. Recuperado el día 15 de enero de 2020. de la página <https://www.mep.go.cr/transparencia-institucional/informacion/mision-y-vision-del-mep>.
- MEP-DIEE (2020). *Reseña Histórica*. Recuperado el día 15 de enero de 2020. de la página <https://diee.mep.go.cr/acerca-de/resena-historica>.
- MEP-DIEE (2020). *Planos Prototipo*. Recuperado el día 15 de enero de 2020. de <https://diee.mep.go.cr/centros-educativos/publicos/planos-prototipo>.
- Carvajal L. (2018). Lizardo Carvajal. *Sujeto de investigación*. Recuperado el día 16 de enero de 2020 de <https://www.lizardo-carvajal.com/sujeto-de-investigacion/>.
- Rivera y González (2015) y citado por Hernández Sampieri (2008). Repository. *Fuentes de información*. Recuperado el día 16 de enero de 2020

de <https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/16700/LECT132.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

- Structural Insulated Panel Association (SIPA). Recuperado de <https://www.sips.org/>.
- Asociación Nacional de Poliestireno Expandido (ANAPE). Recuperado de <http://www.anape.es/>.

11.3 Manuales Técnicos o Manuales Constructivos

- Manual Técnico de Panacor, Sistema I-SI Panel.
- Manual Técnico de Playcem, Sistema Panel SIP.
- Manual Técnico de Grupo Sur, Sistema MKS.
- Manual Constructivo de Emmedeu, Sistema M2 (2008).
- Manual Constructivo de Panelco, Sistema Constructivo Panelco (2009).
- Manual Técnico de USG, Sistema Constructivo DUROCK (2016).
- Manuel Tecnico de PC, Sistema Prefa PC.

11.4 Planos constructivos o informes técnicos

- Planos prototipo del DIEE - PABELLONES ELEVADOS A Y B 696 M2 PROTOTIPO DIEE (2017).
- Planos constructivos del Ing. Róger Martínez – PROYECTO ESCUELA VENECIA (2019).
- Estudio de suelos Escuela Venecia, PROGETSA (2019).
- Comisión Nacional de Emergencias (CNE), Mapa de Amenazas y Peligros Naturales.