



Universidad Latina de Costa Rica

Facultad de Ingeniería y Tecnologías de Información

Escuela de Ingeniería Civil

Licenciatura en Ingeniería Civil

Proyecto de graduación

Manual de requerimientos constructivos e instalación para el sistema de fachadas
prefabricadas unitizadas de muro cortina Extralum

Autor: José Arturo Marín Meléndez

Tutor: Ing. Alberto González

9 mayo de 2020

Heredia, Costa Rica

**CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL PROFESOR TUTOR DEL
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD PROYECTO DE GRADUACIÓN**

Heredia, 4 de Mayo del 2020

Sres.
Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, modalidad Proyecto de Graduación bajo el título **“Manual de requerimientos constructivos e instalación para el sistema de fachadas prefabricadas unitizadas de muro cortina Extralum”** por parte del estudiante: **Jose Arturo Marín Meléndez**, como requisito para que el citado estudiante pueda optar por la Licenciatura en Ingeniería Civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,

Ing. Alberto González Solera



UNIVERSIDAD LATINA
DE COSTA RICA

**CARTA DE APROVACIÓN POR PARTE DEL PROFESOR LECTOR DEL
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD PROYECTO DE
GRADUACIÓN**

Heredia, 4 de mayo del 2020

Sres.

Miembros del Comité de Trabajos de Finales de Graduación
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, modalidad Proyecto de Graduación, bajo el título **“Manual de requerimientos constructivos e instalación para el sistema de fachadas prefabricadas unitizadas de muro cortina Extralum”** por parte del estudiante : **José Arturo Marín Meléndez**, como requisito para el citado estudiante pueda optar por la Licenciatura en Ingeniería Civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenidos exigidos por la Universidad, y por lo tanto recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe Cordialmente.

Ing. José María Ulate Zárate

San José, 14 de mayo de 2020

Universidad Latina de Costa Rica
Facultad de Ingeniería y Tecnologías de Información
Escuela de Ingeniería Civil
Tribunal Examinador de Trabajos Finales de Graduación

Estimados(as) señores(as):

Por medio de la presente hago constar que yo, Álvaro Esteban Zúñiga Cascante, cédula 1-1398-0237, filólogo español, miembro activo de ACFIL bajo el número de carné 139, doy fe de haber corregido exhaustivamente el Trabajo Final de Graduación para optar por el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil, denominado *Manual de requerimientos constructivos e instalación para el sistema de fachadas prefabricadas unitizadas de muro cortina Extralum*, el cual estuvo a cargo por el estudiante José Arturo Marín Meléndez, cédula 1- 1358- 0845.

Para dicha corrección se contemplaron los siguientes aspectos:

1. Lexicografía, morfología, fondo y forma en su totalidad.
2. Uso correcto de las preposiciones.
3. Usos lingüísticos de los signos de puntuación, interrogación y exclamación.
4. Solecismos, barbarismos, cacofonías, anfibologías, monotonía del lenguaje, redundancias, pleonasmos y ortografía.

Por tanto, doy fe de que este proyecto contiene un fondo claro y preciso de la propuesta expresada en este, con ideas correctas que mantienen el hilo conductor a lo largo del documento.

Atentamente,



Álvaro Esteban Zúñiga Cascante

Filólogo

Céd. 1-1398-0237

ACFIL 139

Dedicatoria

Dedico este trabajo de graduación como punto culminante dentro de mi carrera y formación profesional a mi esposa Diana, quien me dio su apoyo incondicional, un motivo y la energía que necesité en cada momento, incluso en los más difíciles durante mi formación.

Agradecimientos

Primeramente, a mi Dios Jehová, quien me ha dado la vida y su espíritu, y me ha sostenido de su diestra en los momentos más difíciles. A Él le agradezco por inspirarme para estudiar esta hermosa carrera, con la cual espero poder colaborar en su organización y propósito.

En segundo lugar, a mi familia, en especial a mi madre Lydia y hermano Kevin que tanto me han apoyado. A mí tía Nuria, quien siempre a la distancia me hace llegar su apoyo.

Un especial agradecimiento también a Extralum por la oportunidad de participar en este proyecto tan importante para la compañía y el país, como puerta de entrada a un nuevo sistema. Quiero destacar el agradecimiento a la ingeniera Nathalia Sánchez, al ingeniero Luis Alonso Zamora y a Ronald Vargas Chávez, quienes me han guiado de especial manera en este proyecto. También un agradecimiento a Pedro Arguedas, Manuel Marín y Andrés González por las facilidades brindadas para el aprendizaje.

Externo un gran agradecimiento a todos los profesores que me han inspirado, enseñado y apoyado durante mi carrera, los cuales han contribuido tanto en mi formación profesional como humana. De todos he podido aprender mucho, por lo cual agradezco su tiempo. Quiero destacar a profesores como Alberto González, quien me ha guiado y me ha mostrado su calidad profesional y humana con valores muy notables que permiten darle humanidad a la Ingeniería. Al profesor José María Ulate, a quien admiro por su inteligencia y su humildad para compartir sus

conocimientos con mucho temor y admiración por la creación del universo y todo lo que como ingenieros descubrimos y aprendemos. Al profesor Ronald Jiménez, el cual me enseñó lo que es la pasión por la ingeniería, de él aprendí que con esfuerzo y habilidad se puede llegar muy lejos. Al profesor Giovanni Arguedas, un ingeniero que con mucha calidad humana permite al estudiante tomar confianza en sí mismo y enfrentar los retos que se presentan, gracias por su guía y apoyo. Al profesor Erick Gustavo Cruz, quien siempre resaltó la excelencia y puntualidad en todos los trabajos que se presentaron.

Y un especial agradecimiento a mi abuelo Adonías, quien duerme en la muerte. Siempre enfrentó y vivió la vida con ingenio, sabiduría y confianza en Dios. Fue él quien me inspiró para que la Ingeniería Civil fuera una de mis pasiones.

“Jehová puso los cimientos de la tierra con sabiduría. Estableció sólidamente los cielos con discernimiento. Por su conocimiento se dividieron las aguas profundas y los cielos nublados gotearon rocío. Hijo mío, no pierdas de vista estas cosas. Protege la sabiduría práctica y la capacidad de pensar: te darán vida y serán un adorno para tu cuello.”

Proverbios 3:19-22

RESUMEN

El sistema muro cortina tiene existencia en el mundo constructivo casi paralelo al tiempo del desarrollo de edificaciones verticales. El uso seguro del vidrio se ha logrado a través de la evolución de su fabricación y facilidad en su manufactura. Sus notables cualidades físicas, como la transparencia, control térmico y solar, control de ruido y aislamiento a la intemperie, lo convierten en un material noble y eficiente en el cumplimiento de expectativas a nivel constructivo. Esto ha permitido el desarrollo de sistemas prefabricados de ensamble final en obra en donde el sistema unitizado figura como uno de los pioneros en la construcción y formación de fachadas en Costa Rica. Extralum, como empresa líder en el mercado, ha logrado introducir el sistema al país para atender las necesidades del proyecto de Torre Universal ubicado en San José. Cumplir con las exigencias del proyecto, tanto en diseño, previstas estructurales e instalación constructiva, origina la necesidad de establecer un manual técnico que resuma cada etapa del proyecto y su correlación con el sistema. Cabe señalar que este manual no solo podrá utilizarse para el proyecto en construcción, pues se pretende dejar una referencia para nuevos proyectos a desarrollar por la empresa Extralum, líder en el mercado nacional, centroamericano y caribeño.

ABSTRACT

The curtain wall system has existence in the construction world almost parallel to the time of the development of vertical buildings. The safe use of glass has been achieved through the evolution of its manufacturing and ease of manufacturing. Its remarkable physical qualities such as transparency, thermal and solar control, noise control and outdoor insulation make it a noble and efficient material in meeting expectations at the construction level. This has allowed the development of prefabricated final assembly systems on-site where the unitized system is one of the pioneers in the construction and formation of facades in Costa Rica. Extralum, as a leading company in the market, manages to introduce the system to the country to meet the needs of the Universal Tower project located in San José. Complying with the requirements of the project both in design, structural planning and construction installation, it is necessary to establish a technical manual that summarizes each stage of the project and its correlation with the system. This manual should not only apply for the Construction project but also leave a reference for new projects to be developed by the company Extralum, a leader in the national, Central American and Caribbean markets.

Tabla de contenido

Dedicatoria.....	I
Agradecimientos	II
RESUMEN	V
ABSTRACT.....	VI
Índice de Ilustraciones	4
Índice de Tablas	6
INTRODUCCIÓN.....	7
Antecedentes	7
Planteamiento del problema de investigación	13
Hipótesis	13
Objetivo general.....	14
Objetivos específicos	14
Justificación.....	15
Alcance y limitaciones.....	15
Alcance.....	15
Limitaciones	16
Impacto	16
CAPÍTULO 1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	17
1.1 Configuración del sistema unitizado muro cortina.....	17
CAPÍTULO 2. MARCO METODOLÓGICO Y FUNDAMENTOS DEL SISTEMA	28
2.1 Paradigma	28
2.2 Categoría de análisis de investigación	28
2.3 Población y muestra.....	29
2.4 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos	29
2.5 Técnicas e instrumentos para el análisis de datos.....	30
2.6 Descripción del sistema muro cortina unitizado	30
2.7 Descripción de los componentes del sistema y los materiales.....	32
2.7.1 Anclaje HAC-40 91/300 F (Hilti, 2014):	32
2.7.2 Tornillo cabeza de martillo HBC-C8.8 (Hilti Mexicana, 2019):	33
2.7.3 Ancla Macho:	34
2.7.4 Ancla Hembra:.....	35
2.7.5 Refuerzo ancla:.....	37

2.7.6 Perfil porta tuerca:.....	38
2.7.7 Panel fachada:.....	39
2.7.8 Vidrio:.....	40
2.7.9 Aluminio:.....	43
2.7.10 Empaques y juntas para paneles sobre puestos:.....	44
2.7.11 Lana Mineral:	45
2.7.12 Sellador anti-fuego Hilti CFS-SP WB:.....	46
2.7.13 Silicón:.....	47
2.8 Control climático.....	48
2.9. Estudios previos.....	52
2.10 Diseño geométrico del sistema según los requerimientos estructurales.....	57
2.11 Fabricación de los paneles.....	59
2.12 Gestión y administración del proyecto y su instalación.....	62
2.13 Seguridad laboral.....	65
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	67
3.1. Planificación y coordinación del proyecto.....	67
3.1.1 Equipo de dirección y coordinación del proyecto.....	67
3.1.2 Planificación de la instalación del sistema de anclaje.....	72
3.1.3. Especificaciones del proyecto y contrato.....	72
3.1.3. Contratos y especificaciones por parte de los proveedores.....	73
3.1.4 Cronograma del proyecto.....	74
3.1.5 Lista de materiales, insumos y servicios.....	75
3.1.6 Revisión de los rendimientos por piso.....	76
3.2. Producción y traslado de materiales y componentes al proyecto.....	77
3.2.1 Producción.....	77
3.2.2 Transporte.....	77
3.3 Control y gestión de la operativa en el proyecto.....	78
3.4 Construir la geometría del sistema de anclajes.....	80
3.5 Plataformas o bahías y grúas de instalación.....	83
3.6. Verificación y preparación física de los paneles.....	84
3.7. Colocación de paneles y posicionamiento final.....	86
3.8. Empaques, sellado de bordes, revestimientos y estanqueidad.....	90
3.9 Acabados y entrega de piso.....	91

3.10. Mantenimiento y limpieza	92
3.11 Seguridad laboral en la instalación y otras etapas del proyecto	93
CAPÍTULO 4. PROPUESTA. MANUAL GRÁFICO.....	96
4.1. Traslado de materiales.....	96
4.2. Planificación y dirección del proyecto	97
4.2.1. Personal del proyecto	97
4.3. Administración del proyecto.....	100
4.2.1 Creación de hoja de cálculo para la administración de materiales	100
4.2.2 Cronograma de trabajo.....	103
.....	104
4.3. Lectura de planos, gestión de la instalación	105
4.4. Instalación de anclajes en losa de concreto	107
4.5. Bahías para recibo de material	110
4.6. Grúas para instalación de paneles	111
4.7 Preparación de los paneles para instalación.....	113
4.8. Colocación de paneles y posicionamiento final.....	115
4.9. Mantenimiento y limpieza	126
4.10. Seguridad laboral	127
Anexos.....	130
Glosario	143
Bibliografía	144

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Palacio de Versalles. Fuente: Google (2019)	8
Ilustración 2. Crystal Palace, Hide Park, 1851. Fuente: Universidad Politécnica de Madrid	9
Ilustración 3. Ubicación de proyectos. Fuente: La República (2018)	11
Ilustración 4. Panel armado. Fuente: Propia (2019)	18
Ilustración 5. Panel lado B armado. Fuente: Propia (2019)	19
Ilustración 6. Esquema de capa anódica típica. Fuente: Extralum (2019)	22
Ilustración 7. Composición física aluminio compuesto. Fuente: Extralum (2019)	23
Ilustración 8. Sistema muro cortina y sistema fachada panel. Fuente: Extralum (2019)	24
Ilustración 9. Sistema de anclaje fachada unitizado. Fuente: Propia (2019)	24
Ilustración 10. Previstas para anclar el sistema a la superestructura. Fuente: Propia (2019)	25
Ilustración 11. Anclajes adheridos al panel. Fuente: Propia (2019)	25
Ilustración 12. Anclajes panel a superestructura. Fuente: Propia (2019)	26
Ilustración 13. Recubrimiento membrana y silicón. Fuente: Propia (2019)	27
Ilustración 14. Anclaje HAC-40 91/300 F. Fuente Hilti (2014)	32
Ilustración 15. Anclaje HAC-40 91/300 F con elementos anclas y tornillo. Fuente: Propia (2019)	33
Ilustración 16. Tornillo cabeza de martillo HBC-C8.8 Hilti. Fuente: Propia (2019)	34
Ilustración 17. Detalle Ancla Macho. Fuente: Aluvisa (2019)	35
Ilustración 18. Detalle ancla hembra esquinas perfil 69173. Fuente: Aluvisa (2019)	36
Ilustración 19. Detalle ancla hembra perfil 70456. Fuente Aluvisa (2019)	37
Ilustración 20. Refuerzo Ancla. Fuente: Aluvisa (2019)	37
Ilustración 21. Refuerzo Ancla colocado en conjunto con ancla macho y ancla hembra. Fuente: Propia (2019)	38
Ilustración 22. Perfil porta tuerca. Fuente: Propia (2019)	39
Ilustración 23. Panel armado para instalación en obra. Fuente: Propia (2019)	40
Ilustración 24. Lana mineral colocada en panel. Fuente: Propia (2019)	46
Ilustración 25. Figura 1 IT-035 "Generalidades del vidrio flotado" Coeficiente de Ganancia de Calor Solar. Fuente: Extralum (2019)	52
Ilustración 26. Dimensiones del HAC. Fuente: Extralum (2019)	58
Ilustración 27. Ejemplo de plano de fabricación de panel. Fuente: Extralum (2019)	61
Ilustración 28. Detalle en planos fachada este, ejemplo de visualización de paneles en proyecto. Fuente: Extralum (2019)	64
Ilustración 29. Continuación detalle en planos fachada este, ejemplo de visualización de paneles en proyecto. Fuente: Extralum (2019)	65
Ilustración 30. Cotas de canastas. Fuente: Extralum (2019)	96
Ilustración 31. Detalle vista cantidad de paneles. Fuente: Extralum (2019)	96
Ilustración 32. Descarga. Fuente: Propia (2019)	97
Ilustración 33. Ejemplo de cronograma software Smartsheet. Fuente: Propia (2020)	104
Ilustración 34. Interpretación de ejes de referencia para instalación anclaje. Fuente: Extralum y propia (2020)	106
Ilustración 35. Anclajes. Fuente: propia (2019)	107
Ilustración 36. Instalación. Fuente: Extralum (2019)	107

Ilustración 37. Ubicación centroide y eje. Fuente: Extralum (2019) -----	107
Ilustración 38. Ubicación del anclaje en losa. Fuente: Extralum (2019) -----	108
Ilustración 39. Vista en planta anclaje. Fuente: Extralum (2019) -----	108
Ilustración 40. Detalle anclaje esquinas. Fuente: Extralum (2019) -----	108
Ilustración 41. Encofrado. Fuente: Extralum (2019) -----	109
Ilustración 42. Encofrado 2. Fuente: Extralum (2019) -----	109
Ilustración 43. Retiro de espuma. Fuente: Propia (2020) -----	110
Ilustración 44. Recibo de material en bahía. Fuente: Extralum (2019) -----	111
Ilustración 45. Bahía. Fuente: Extralum (2019) -----	111
Ilustración 46. Grúa de instalación. Fuente: Jekko (2020) -----	112
Ilustración 47. Preparación paneles. Fuente: Propia (2019) -----	113
Ilustración 48. Lana mineral. Fuente: Propia (2019) -----	114
Ilustración 49. Ancla hembra. Fuente: Propia (2019) -----	114
Ilustración 50. Ancla hembra en panel. Fuente: Propia (2019) -----	114
Ilustración 51. Viga de elevación. Fuente: Propia (2019) -----	120
Ilustración 52. Carritos. Fuente: Extralum (2019) -----	121
Ilustración 53. Detalle de instalación. Fuente: Extralum y propia (2020) -----	122
Ilustración 54. Colocación de lana mineral. Fuente: Extralum y propia (2020) -----	123
Ilustración 55. Angulares, membrana y silicón; ubicación en físico. Fuente: Propia (2019) -----	124
Ilustración 56. Sistema de anclaje ensamblado. Fuente: Propia (2020) -----	125
Ilustración 57. Equipo de protección básico. Fuente: Propia (2020) -----	128
Ilustración 58. Fachada este. Fuente: Extralum (2019) -----	130
Ilustración 59. Fachada noreste. Fuente: Extralum (2019) -----	131
Ilustración 60. Fachada norte. Fuente: Extralum (2019) -----	132
Ilustración 61. Fachada oeste. Fuente: Extralum (2019) -----	133
Ilustración 62. Fachada sureste. Fuente: Extralum (2019) -----	134
Ilustración 63. Fachada suroeste. Fuente: Extralum (2019) -----	135
Ilustración 64. Etapas tempranas del proyecto. Fuente: Propia (2019) -----	136
Ilustración 65. Inspección sobre protección silicón. Fuente: Propia (2019) -----	137
Ilustración 66. Inspección sobre plomos y nivelación. Fuente: Propia (2019) -----	138
Ilustración 67. Etapas tempranas de la instalación. Fuente: Propia (2019) -----	139
Ilustración 68. Etapas recientes instalación. Fuente: Extralum (2020) -----	140
Ilustración 69. Etapas recientes del proyecto. Fuente: Extralum (2020) -----	141
Ilustración 70. Etapas recientes del proyecto. Fuente: Extralum (2020) -----	142

Índice de Tablas

<i>Tabla 1. Nivel de ruido. Fuente: Extralum (2019)</i>	20
Tabla 2. Mejora en la reducción del ruido percibida al reemplazar vidrio de 3mm. Fuente Extralum (2019).....	21
Tabla 3. Configuración Vidrios. Fuente: Extralum (2019)	54
Tabla 4. Ejemplo de Ensayo adherencia y compatibilidad. Fuente: Extralum (2019).....	55
Tabla 5. Ejemplo de Ensayo adherencia y compatibilidad. Fuente: Extralum (2019).....	56
Tabla 6. Formato para control de perfiles de puesto para trabajadores. Fuente: Extralum con modificaciones propias (2020).....	71
Tabla 7. Formato para control de perfiles de puesto para trabajadores. Fuente: Extralum con modificaciones propias (2020).....	99
Tabla 8. Cuadro pedidos parte 1. Fuente: Propia (2019).....	101
Tabla 9. Cuadro pedidos parte 2. Fuente: Propia (2019).....	102

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

Históricamente, el uso de materiales en la construcción se ha ido transformando según las necesidades del ser humano, tal es el caso del vidrio. La *American Society of Testing of Materials* (ASTM), citada por Saint Gobain (2002, p. 18), define vidrio como “un producto inorgánico de fusión que se ha enfriado a una condición rígida sin cristalizarse”. Su propiedad física de transparencia concede a los diseñadores, clientes y ocupantes una solución constructiva que pocos materiales pueden igualar. A través de los siglos, el uso del vidrio en la construcción ha marcado una tendencia que hasta el día de hoy es difícil de sustituir por otro material.

El uso del vidrio se remonta hasta el siglo IV antes de Cristo, utilizado por egipcios para crear objetos. Asimismo, los romanos utilizaron el vidrio a partir del yeso para crear pequeñas ventanas (Lauret, 2018). Esto indica que desde la antigüedad el ser humano, en su desarrollo, ha querido crear espacios donde exista transparencia y, por temas visuales, ha emprendido una búsqueda por iluminar sus lugares de habitación con luz natural.

Según comenta Benito Lauret (2018), en su obra *Evolución histórica: muro cortina, lucernarios y vidrio estructural*, aunque para el siglo XVII el rey Luis XIV construye su palacio de Versalles con ventanas de vidrio que permitan visualizar sus jardines, el uso del vidrio para esa época tenía un costo elevado, dado el proceso de pulimiento que conlleva su fabricación. Ahora bien, para el siglo XIX, en la época victoriana, los procesos para la producción de vidrio plano- como el de corona y el de cilindro- abaratan los costos de fabricación y el vidrio empieza a ser más utilizado en obras de construcción, tal es el caso de los invernaderos victorianos que permitían crear ambientes propios para jardines exclusivos de la nobleza inglesa. Una obra particular llega a

ser el *Crystal Palace* (1850-1851) en Londres, Joseph Paxton lo construyó con técnicas de ensamble modular novedosas para la época. Justamente, este proyecto mostró la versatilidad del uso del vidrio para la construcción.



Ilustración 1. Palacio de Versalles. Fuente: Google (2019)



Ilustración 2. Crystal Palace, Hyde Park, 1851. Fuente: Universidad Politécnica de Madrid

Con estas dos obras, se muestra el vidrio como un material necesario para las construcciones que buscan adecuarse a un estatus de prestigio dentro de la época. En esta línea, para el siglo XIX, los italianos logran también obras importantes que marcan tendencia en el uso del vidrio para la construcción.

Por lo tanto, en el siglo pasado, el vidrio se convirtió en parte importante de la construcción dada su combinación junto al aluminio. El aluminio es un metal que por su ligereza fue atractivo para la industria militar, especialmente en el diseño y construcción de aviones. Una vez terminada la Segunda Guerra Mundial, la cantidad de aluminio para reutilizar producto de la guerra provoca que el mercado de la construcción lo adopte como material constructivo en grandes cantidades. Esto junto a la aparición de sistemas de empaque con EPDM y silicón con los que se logran resolver problemas de filtraciones y estanquidad (Lauret, 2018).

En relación con el vidrio, sus propiedades de control de energía y protección del medio ambiente sin sacrificar luz natural y visibilidad lo convierten en un material atractivo. Asimismo, propicia el manejo del ruido debido a cualidades en la protección acústica. Además, aporta seguridad a través de procesos como el templado y laminado. Todo esto convierte al vidrio en un

material seguro para su empleo en distintas edificaciones y con usos variados según la necesidad de cada proyecto.

La versatilidad del vidrio está precedida por la innovación obtenida a través del proceso de fabricación de los hermanos Pilkington en 1953 (Lauret, 2018). Ellos lograron desarrollar un sistema en donde la fundición de materiales con los que se fabrica el vidrio es vertida en un estanque de estaño, lo cual provoca un cambio de densidad que le permite a la mezcla flotar. Esto, dirigido por rodillos rotativos, posibilita graduar la velocidad de la mezcla y así obtener distintos espesores según sean las necesidades del mercado. Mediante este método se pueden alcanzar producciones diarias de entre 600 y 1000 toneladas de vidrio, lo cual convierte su fabricación en un proceso rentable y rápido; además de obtener acabados de gran calidad.

Estas innovaciones en la fabricación del vidrio han permitido que se pueda ir introduciendo la aplicación de este en el uso de fachadas estructurales en edificios de altura. El desarrollo de las grandes ciudades, en países como Estados Unidos de América y Canadá, y continentes como Europa y Asia, ha buscado crear edificaciones verticales de altura, y el uso del vidrio ha sido imprescindible en estas obras.

El escenario nacional en Costa Rica muestra que la construcción vertical va en aumento, lo cual favorecerá el uso de sistemas de fachadas de muro cortina. De acuerdo con un reportaje de *CB24 Noticias Centroamérica* basado en el Estado de la Nación, entre 1990 y el 2017 los condominios verticales pasaron de ser el 5,2% al 25% del área construida. Solo en San José, un 30% de los distritos urbanizó gran parte de su territorio, y 28 de 164 distritos ya tienen ocupado más del 85% de sus territorios (Lizano, 2018).

Asimismo, un reportaje del periódico *La República* muestra que actualmente en Costa Rica existen construidos o en construcción 129 proyectos inmobiliarios verticales, con unas 8 683 unidades habitacionales. A la fecha se le suman 21 más en preventa. Estos se encuentran ubicados en distintas regiones del país, según se muestra en la ilustración 3 (Cubero, 2018).

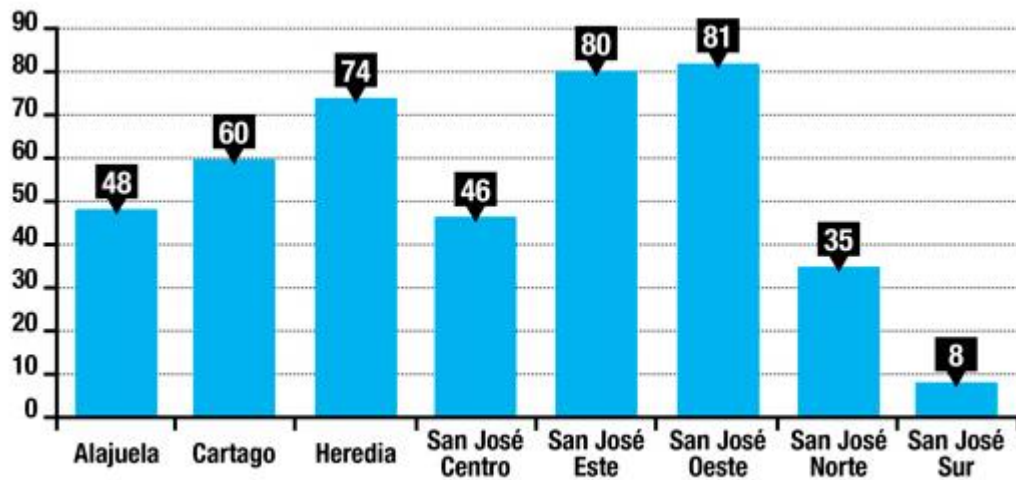


Ilustración 3. Ubicación de proyectos. Fuente: *La República* (2018)

Lo anterior confirma una realidad nacional: las obras futuras y próximas serán edificios verticales, esto como solución a la atención de espacios de vivienda, trabajo y servicios. Según estudios realizados por la firma Genere y publicados en *Design Forecast, 2016*, los edificios destinados al trabajo deben crearse de manera tal que favorezcan espacios con iluminación natural o condiciones que asemejen el medio ambiente natural para impulsar la buena salud de los empleados, así como su productividad. Parte de esto también incluye espacios donde las personas puedan desarrollar trabajos en colaboración, sin dejar de lado aquellos donde las personas puedan concentrarse en sus tareas individuales (Gensler, 2016). Para todo esto el sistema de fachadas

unitizadas permite al usuario condiciones de iluminación natural idóneas, así como protección contra las inclemencias del tiempo de una manera segura garantizado por su impermeabilidad. Asimismo, permite crear espacios idóneos tanto para el sector habitacional como para el sector laboral del país, lo que proporciona soluciones oportunas dado el crecimiento de las edificaciones verticales, tal como se mencionó anteriormente.

Extralum, como líder en el mercado centroamericano y caribeño, decide liderar la introducción de los sistemas de fachada unitizada de muro cortina y así responder a la creciente demanda en el sector construcción. Extralum es una empresa que nace en 1987 como Decoraciones Esvimar; luego, en 1990, adquiere la empresa Ventanería de Aluminio y pasa a llamarse Vitroaluminio Esvimar S.A. En el año 1995 abre su primera sucursal. En 1998, se fusiona con Extrusiones de aluminio S.A. que ya estaba posicionado en el mercado de Costa Rica y Panamá. En el año 2000 se abren sucursales en Honduras. Para el 2003, ingresa al mercado del Caribe y Estados Unidos. Desde esta fecha hasta el 2018 se abren nuevas sucursales en Costa Rica; además, en este año se crea la primera etapa de la planta ubicada en el Parque Industrial Parque Activa en Grecia, en donde a partir del 2019 se instala la línea productiva para el sistema de fachada unitizada muro cortina.

Por lo tanto, el respaldo y experiencia que Extralum puede ofrecer permite que el desarrollo de este sistema en el país tenga consecuencias positivas en la generación de soluciones acordes con las necesidades de desarrollo urbano. Tomando todo esto en cuenta, queda claro cuál puede ser una tendencia importante en la construcción y qué necesidades se deben cubrir. En este sentido, el proyecto tiene como fin realizar una instalación correcta y segura para el sistema de fachada unitizada muro cortina. Así pues, en este manual deben ser previstas las necesidades que puedan tener el instalador, el proyectista o el ingeniero. De esta manera, se busca la eficiencia y correcta

aplicación del sistema en obra. El sistema está siendo instalado por primera vez por parte de Extralum en el proyecto TUN (Torre Universal) ubicado al sur del Gimnasio Nacional en el Parque La Sabana (Ing. Nathalia Sánchez, comunicación personal, 1 de noviembre de 2019).

Como socio comercial de Extralum para este proyecto, Aluvisa se encarga de diseñar la configuración de la fachada, así como de proveer los materiales requeridos para la obra. Aluvisa es una compañía con 50 años en el mercado, encargada de suministrar diseño y productos de fachadas en muro cortina. Entre sus obras más destacadas se encuentra Torre Koi en Monterrey, México, construida en el 2015, la cual es la obra más alta del país a la fecha. Posteriormente, en el 2017, Aluvisa toma protagonismo al participar en la construcción más alta de Ciudad de México: la torre Mitikah. Ahora bien, cabe apuntar que Aluvisa mantiene su presencia en todo el continente americano.

Planteamiento del problema de investigación

¿Cuáles son los requerimientos estructurales para la instalación del sistema? ¿Cuáles son los requerimientos técnicos para la instalación del sistema? ¿Cuál es el paso a paso a cumplir para la correcta instalación del sistema? ¿Qué herramientas e insumos son necesarios para la correcta instalación del sistema? ¿Qué técnicas constructivas deben aplicarse?

Hipótesis

- a) Una mala planificación del diseño en obra puede impedir que el sistema sea utilizado. Esto relacionado con la colocación de anclajes durante la etapa constructiva del contrapiso.

- b) El trasladar las unidades de fachada de manera incorrecta, o cometer errores en la colocación del sistema en obra, puede crear daños y pérdidas humanas y de material.
- c) Una mala interpretación de los niveles topográficos puede poner en riesgo la correcta instalación.
- d) Un sellado incorrecto de los paneles puede crear problemas de estanqueidad y filtraciones de agua.

Objetivo general

Crear un manual técnico que permita conocer en detalle los requerimientos constructivos y de instalación para el sistema de fachada unitizada muro cortina Extralum en obras civiles de construcción vertical tipo dual por medio de la inspección del edificio Torre Universal.

Objetivos específicos

- a) Investigar el proceso constructivo utilizado, mediante entrevistas y visitas al proyecto, y crear recomendaciones.
- b) Proponer soluciones constructivas para facilitar la colocación de los paneles en obra.
- c) Documentar un método eficiente para la instalación del sistema en obra a través de un manual técnico.

Justificación

Debido a que el sistema es nuevo en el país, se generarán nuevos manuales para la instalación y sus requerimientos constructivos. Además, el manual podrá ser utilizado como referencia bibliográfica para otros sistemas que Extralum quiera emplear relacionados con fachadas estructurales en edificios de desarrollo vertical. Esto podrá favorecer el desarrollo urbano y social de Costa Rica, así como el de otros mercados en los cuales Extralum está presente.

Alcance y limitaciones

Alcance

- El proyecto será desarrollado a partir del proceso constructivo de los pisos 9 y 10 de la Torre Universal (Torre TUN) ubicada al costado sur del Gimnasio Nacional en el Parque La Sabana, en San José, Costa Rica.
- El proyecto solo creará un manual de recomendaciones constructivas para el sistema unitizado de fachadas muro cortina, contemplando su diseño geométrico, materiales, instalación, equipo necesario, diagramas de flujo y coordinación en obra.
- El proyecto contempla que los paneles ya lleguen prefabricados de planta Extralum a obra.

- El proyecto considera que los análisis estructurales y sismo resistentes han sido realizados por la empresa socia de Extralum, Aluvisa, y que quedan fuera de estudio para este proyecto el análisis y diseño estructural.

Limitaciones

- Los perfiles para el ensamble de los paneles no son extruidos por Extralum. Responden a un análisis estructural particular para el proyecto realizado por una empresa socia de Extralum, Aluvisa (consultar cargas y dimensiones del análisis estructural).
- Se utilizarán datos y parámetros provistos por Extralum.
- El proyecto se encuentra delimitado por la instalación en solo dos pisos del proyecto total, en los cuales existen particularidades o requerimientos diferentes a los otros pisos por parte del cliente.

Impacto

Según el análisis realizado, el impacto es constructivo. Extralum contará con un manual técnico que permitirá tomar decisiones correctas sobre el preensamblado y colocación del sistema en obra. Además, se creará una base bibliográfica para futuros proyectos de instalación o desarrollo. Por otro lado, desde el punto de vista académico, las consideraciones del sistema en la construcción de obras civiles serán un aporte para la disciplina.

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1 Configuración del sistema unitizado muro cortina

El sistema unitizado muro cortina está armado en tres configuraciones. La primera configuración está formada por marco y bordes de aluminio, vidrio doble vidriado hermético. La segunda, conformada por marco y bordes de aluminio vidrio laminado y doble vidriado hermético. Y una tercera, formada por marco y bordes de aluminio vidrio laminado y doble vidriado hermético junto con una sección de aluminio compuesto.



Ilustración 4. Panel armado. Fuente: Propia (2019)



Ilustración 5. Panel lado B armado. Fuente: Propia (2019)

Para brindar seguridad y mayor resistencia al vidrio, este es sometido a un proceso de templado. El proceso de templado somete al vidrio a temperaturas de 575 y 700 grados Celsius para después enfriarlo rápidamente a través del aire. Esto consigue tensiones internas y compresión externa, lo cual hace que el vidrio adquiera mayor resistencia estructural (Extralum, 2019).

Por otro lado, algunas solicitudes específicas para algunos pisos requieren de control acústico para el ruido. Según Extralum (2019), el ruido “se define como un sonido no placentero, perturbador y no deseado... Es una forma de contaminación”. Ahora bien, este control se obtiene al laminar el vidrio. El proceso de vidrio laminado se realiza uniendo dos o más hojas de vidrio mediante una película de butiral de polivinilo (PVB) o etil-vinil-acetato (EVA) a través de resinas activadas por luz ultravioleta (Extralum, 2019). También, el sistema de doble vidriado contribuye a la reducción del ruido debido a que el sistema “reduce la capacidad de desarrollar vibración por resonancia” (Extralum, 2019). Como puede notarse en la Tabla 1.

Nivel Sonido (dB)	Intensidad del Sonido	Sonidos típicos	Sensación
10	10	Hojas en la brisa	Muy débil
20	100	Murmullos	
30	1.000	Estudio de Radio	Débil
40	10.000	Calle tranquila en la ciudad	Moderada
50	100.000	Aposento mediano	
60	1.000.000	Conversación común	
70	10.000.000	Calle ruidosa	Fuerte
80	100.000.000	Salón de restaurante	
90	1.000.000.000	Calle muy activa	Muy fuerte
100	10.000.000.000	Martillo neumático	
110	100.000.000.000	Aviones	Dolorosa
120	1.000.000.000.000	Trueno	
140	100.000.000.000.000	Explosiones muy intensas	

Tabla 1. Nivel de ruido. Fuente: Extralum (2019)

Espesor de vidrio (mm)	Reducción (dB)	Efecto percibido
------------------------	----------------	------------------

6.0	3	Vagamente notable
6.38	5	Claramente notable
6.76	7	Claramente notable
10.38	11	Percibido como la mitad del ruido original

Tabla 2. Mejora en la reducción del ruido percibida al reemplazar vidrio de 3mm. Fuente Extralum (2019)

Un vidrio doble vidriado, o también llamado doble vidriado hermético, está compuesto por dos vidrios, monolíticos o laminados, unidos por una cinta termoplástica con un perfil metálico que en su interior tiene un componente antihumedad, o en algunos casos gases como el argón. Se trata de una cámara de aire estancado (Extralum, 2019). Dentro de sus propiedades, esta configuración proporciona aislamiento térmico y control acústico.

Asimismo, otro de los componentes del sistema unitizado es la perfilería de aluminio anodizado. Este es un aluminio que es sometido a un proceso de electrolítico, el cual consiste en crearle al aluminio una capa conocida como “alumina” que en realidad es óxido de aluminio. Este se obtiene haciendo pasar corriente eléctrica en un electrolito ácido, tomando como ánodo el aluminio (Extralum, 2019).

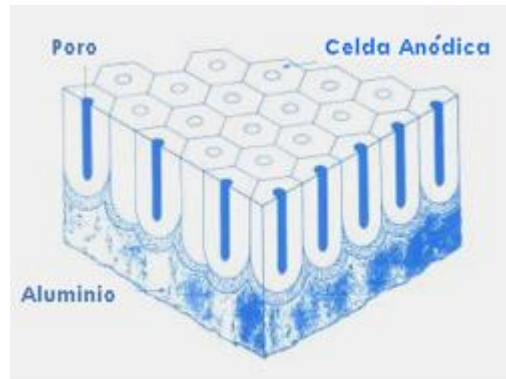


Ilustración 6. Esquema de capa anódica típica. Fuente: Extralum (2019)

Gracias a este proceso se logra mayor fortaleza y resistencia, estabilidad y capacidad de aislamiento en el aluminio. Por otro lado, la limpieza de este se logra de manera sencilla- solo con agua y jabón-, lo cual reduce los costos de mantenimiento. Además, el anodizado puede lograr una gran variedad de tonos, por lo que se obtiene una ganancia importante en la estética del producto. Asimismo, se convierte en un producto estable en tanto no se descompone, no es tóxico y no es combustible por debajo de los 660 grados Celsius. Del mismo modo, el producto continúa siendo reciclable. Ahora bien, es recomendable que el proceso de limpieza en la instalación inicie lo más pronto una vez instalado, esto para remover depósitos de la construcción como polvo, concreto, masillas, entre otros (Extralum, 2019).

En algunos de los paneles, la configuración incluye aluminio compuesto. Este componente es un material liviano, resistente a la corrosión, formado por dos hojas de aluminio más una de polietileno (Extralum, 2019). Es recomendable retirar las películas de protección no más de 60 días después de instalado. La limpieza se realiza solo con detergentes neutros con pH igual a 7. Esta limpieza debe hacerse con temperatura moderada no mayor a 40 grados Celsius.

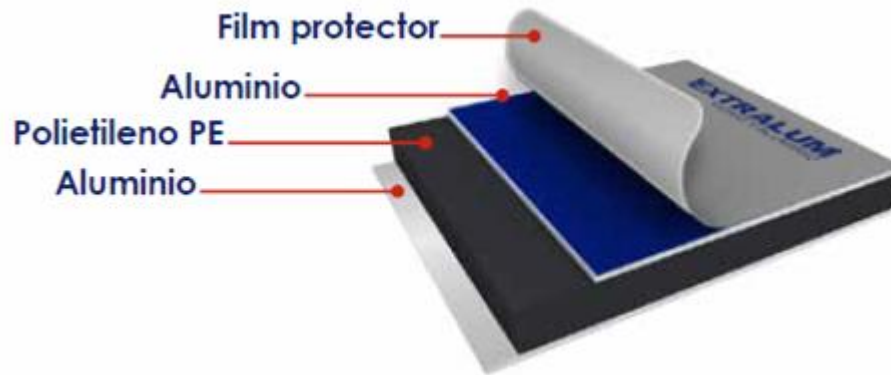


Ilustración 7. Composición física aluminio compuesto. Fuente: Extralum (2019)

El sistema unitizado se diferencia de los sistemas muro cortina convencional y fachada panel debido a que su anclaje no es colocado posterior a la colocación de concreto, según vigas o losas, sino que más bien debe adherirse a la superestructura durante la colocación de concreto para cada piso. El sistema unitizado va suspendido de sus anclajes en la parte superior de cada panel, solo creando un sello con la perfilería inferior a través de contacto contra empaque perimetral. Cada panel se coloca suspendido por grúa, luego se empotra al anclaje ya adherido a la superestructura y, posteriormente, es fijado y ajustado mediante tornillos. Tanto el panel como la superestructura ya tienen colocados anclajes que se unen por tornillos.

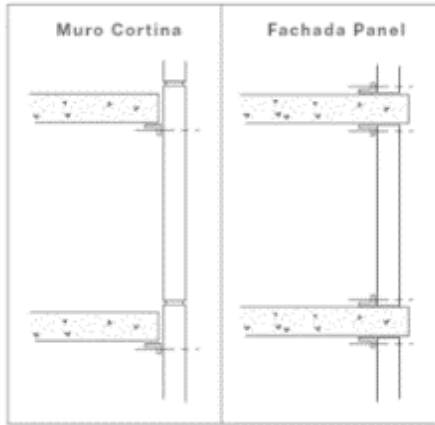


Ilustración 8. Sistema muro cortina y sistema fachada panel. Fuente: Extralum (2019)



Ilustración 9. Sistema de anclaje fachada unitizado. Fuente: Propia (2019)



Ilustración 10. Previstas para anclar el sistema a la superestructura. Fuente: Propia (2019)

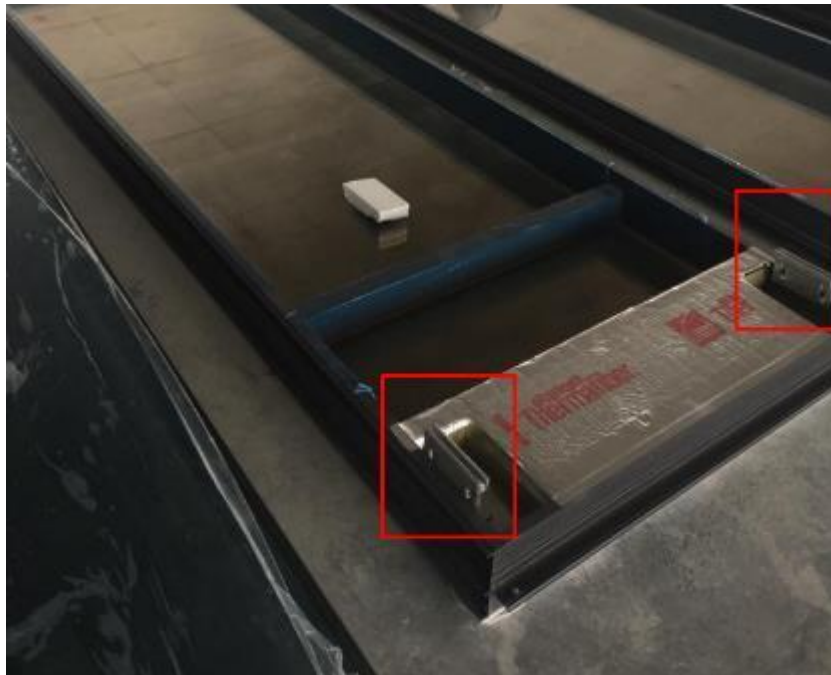


Ilustración 11. Anclajes adheridos al panel. Fuente: Propia (2019)

Cada panel en su parte superior es reforzado con juntas metálicas, las cuales deben ser recubiertas por una membrana antihumedad, y recubierto completamente, junto al canto del perfil por silicona ambiental. Esto para proteger la estructura de filtraciones de agua. La colocación simétrica y precisa de panel sobre panel es indispensable. Se puede alcanzar gracias a los tornillos de ajuste, los cuales pueden mover el panel una vez que haya sido sujetado a la superestructura.



Ilustración 12. Anclajes panel a superestructura. Fuente: Propia (2019)



Ilustración 13. Recubrimiento membrana y silicón. Fuente: Propia (2019)

Los anclajes son elementos que funcionan para fijar cada panel a la superestructura. Cada uno de ellos en sus intervalos soporta los esfuerzos concentrados. Se diseñan para la facilidad de montaje de la fachada. Pueden ser anclajes deslizantes o fijos (Arán, 2011).

El sistema una vez colocado en la obra debe ser aislado con paneles metalizados para aislar temperaturas y humedad, así como también impermeabilizados con una capa de silicón estructural ambiental que permita sellar y crear un ambiente totalmente hermético del sistema unitizado.

CAPÍTULO 2. MARCO METODOLÓGICO Y FUNDAMENTOS DEL SISTEMA

2.1 Paradigma

El sistema unitizado proporciona mayor facilidad para instalación que otros sistemas de fachada muro cortina debido a sus previstas en obra que permiten solo la colocación de paneles. A su vez, los paneles ya preensamblados posibilitan una colocación y ajuste de mayor rapidez que en otros sistemas, pues la unión a la superestructura está prefabricada. De igual manera, el sistema posee un ajuste individual a cada panel, lo cual permite una nivelación muy exacta y precisa respecto al nivel de piso ya existente en el edificio. Además, provee una solución hermética que protege de manera efectiva contra las inclemencia o condiciones ambientales a los ocupantes y edificio. De esta manera, crea la posibilidad de tener un ambiente personalizado según sea la necesidad de cada cliente.

2.2 Categoría de análisis de investigación

El proyecto tiene un enfoque cualitativo bajo un diseño de investigación no experimental. Al tratarse de un nuevo sistema para el país, Extralum y el investigador buscan descubrir qué requerimientos son contemplados y solicitados dentro del diseño y etapas constructivas para el sistema unitizado, esto a través de empezar a conocer las variables que se presentan en el proyecto. Para ello, se realizará una exploración de los primeros pisos creados, con miras a establecer el manual técnico; además, la investigación tomará en cuenta los requerimientos constructivos para el tipo de edificio para el cual se diseñó el sistema. De este modo, cabe apuntar, se pretende abrir

la posibilidad para nuevas aplicaciones en otros tipos de edificio que busquen utilizar el sistema unitizado.

2.3 Población y muestra

El proyecto está ubicado en la Torre Universal (TUN), la cual se encuentra en construcción al momento de realizar la investigación. Se tomará para el estudio el proceso de instalación de los pisos 9 y 10, ya que tienen la particularidad de ser los primeros en instalarse debido a que se sugiere son los de mayor complejidad por el tamaño de los paños y el contorno de la superestructura. Para estos pisos, existen grúas previstas para la instalación; por lo tanto, se evaluará su eficiencia dentro de las expectativas que deben asegurar la correcta instalación de los paneles. Al respecto, la cantidad de paneles a estudiar es 177 unidades por nivel. Por otro lado, en relación con el proyecto, cabe señalar que existen fechas de entrega de producto terminado por piso, lo cual demanda mayor atención a los aspectos técnicos que deben cumplir con lo ofrecido y pactado en los contratos de Extralum.

2.4 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

Los datos serán observables, por lo que se recolectarán a través de una libreta de campo, así como de registros fotográficos y videos. Se revisarán los planos del diseño y se realizarán entrevistas a los involucrados en obra; es decir, ingenieros, proyectistas, instaladores, transportistas y administradores.

2.5 Técnicas e instrumentos para el análisis de datos

Se utilizarán las fotografías y videos para discutir los resultados de las etapas constructivas y de instalación, así como programas de diseño para imágenes en ilustración de los procesos a documentar en el manual que se creará. También, serán utilizados programas de dibujo computarizado, como AutoCAD, para el diagramado de componentes. Asimismo, se sumarán hojas de cálculo para analizar tiempos y realizar diagramas de flujo, así como evaluaciones de materiales para la composición del manual a crear.

2.6 Descripción del sistema muro cortina unitizado

El sistema muro cortina unitizado provee una piel de protección a la estructura del edificio, además de suministrar protección a sus ocupantes del exterior. También, la configuración de este busca crear un muro de protección ante viento y lluvia, disminuir el ruido y brindar protección solar. Todo esto bajo estructuras distintas que pueden diseñarse a través de sus componentes y materiales.

El sistema se compone de anclas que se encuentran embebidas dentro de la losa de concreto ya colada y fraguada. Esta configuración es evaluada previamente por estudios realizados por el proveedor. Se utilizan anclas tipo HAC-40 (Hilti, 2014), las cuales se instalan directamente dentro de la losa de concreto junto al acero estructural de cada losa con dimensiones específicas, con una profundidad de empotramiento efectivo. Las anclas serán los puntos de apoyo.

A su vez, la unión al exterior se realiza mediante dos pernos HBC-B (Hilti, 2014); posteriormente se instalan los paneles, los cuales son preensamblados en fábrica. La unión del panel al anclaje requiere de un ancla macho y un ancla hembra. Sus configuraciones varían de su

posición dentro de la fachada. Pueden contener configuraciones de perfiles de aluminio y vidrio laminado con doble vidriado y cámara de aire, perfiles de aluminio vidrio doble vidriado con cámara de aire, perfiles de aluminio vidrio doble vidriado con cámara de aire y aluminio compuesto. El panel debe ser recubierto con filminas de protección ante partículas que puedan dañar su acabado.

El ensamble del sistema se da bajo cuatro procesos independientes constructivos. Primero, la colocación de las anclas HAC-40. Segundo, la colocación de concreto para losa y su fraguado. Tercero, la preparación e instalación de los paneles a la estructura. Finalmente, una cuarta etapa que se puede nombrar “etapa de acabados” que consiste en un aislamiento final entre superestructura y fachada.

Cabe señalar que los estudios estructurales del sistema no se encuentran dentro del alcance de este estudio, pues son realizados y revisados por el proveedor; no obstante, son esenciales para contar con la seguridad necesaria ante eventos de sismo o las mismas cargas muertas y vivas a las que se someterá el sistema. Por consiguiente, se debe contar con esto para iniciar con la fabricación e instalación del sistema. La calidad del acabado de los materiales debe ser tal que en obra solo se deba instalar, ya que al no poder contar con esto puede retrasar los ciclos de instalación y perder tiempo en reparaciones o reemplazos.

2.7 Descripción de los componentes del sistema y los materiales

2.7.1 Anclaje HAC-40 91/300 F (Hilti, 2014):

Diseño en forma de V de 28mm que permite mejor transmisión de cargas a las estructuras de concreto, disminuyendo a bordes más cortos. Posee una profundidad de desarrollo de 94mm con 91mm de longitud de eje ancla de fijación. Su canal está sellado por espuma temporal llamada “LDPE Foam” (Hilti, 2014) que permite mantener libre de incrustaciones o contaminantes que puedan introducirse al canal durante el proceso constructivo; puede ser retirado en el momento requerido con facilidad a través de una cejilla de operación.

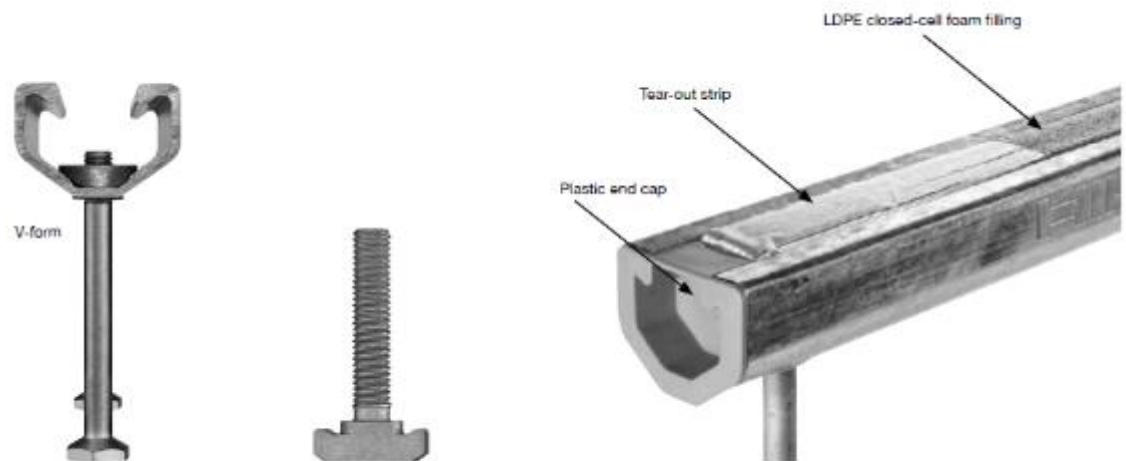


Ilustración 14. Anclaje HAC-40 91/300 F. Fuente Hilti (2014)



Ilustración 15. Anclaje HAC-40 91/300 F con elementos anclas y tornillo. Fuente: Propia (2019)

2.7.2 Tornillo cabeza de martillo HBC-C8.8 (Hilti Mexicana, 2019):

Acero carbono grado 8.8, electro galvanizado. Tipo perno M12 x 50 mm. Este tornillo permite la unión de las anclas; es decir, es el puente conector entre lo ensamblado previamente entre la losa de concreto (Ancla HAC 40) y las anclas que conectan cada panel previamente ensamblado en fabrica. Su forma permite una rápida instalación.



Ilustración 16. Tornillo cabeza de martillo HBC-C8.8 Hilti. Fuente: Propia (2019)

2.7.3 Ancla Macho:

Elemento de aluminio aleación 6061, temple 6. Con un espesor de $10 \pm 0,20$ cm. Se conecta al anclaje HAC-40 91/300 F mediante el tornillo cabeza de martillo HBC-C8.8. Reforzado por la placa de refuerzo. Posteriormente esta ancla se ensambla al ancla hembra.

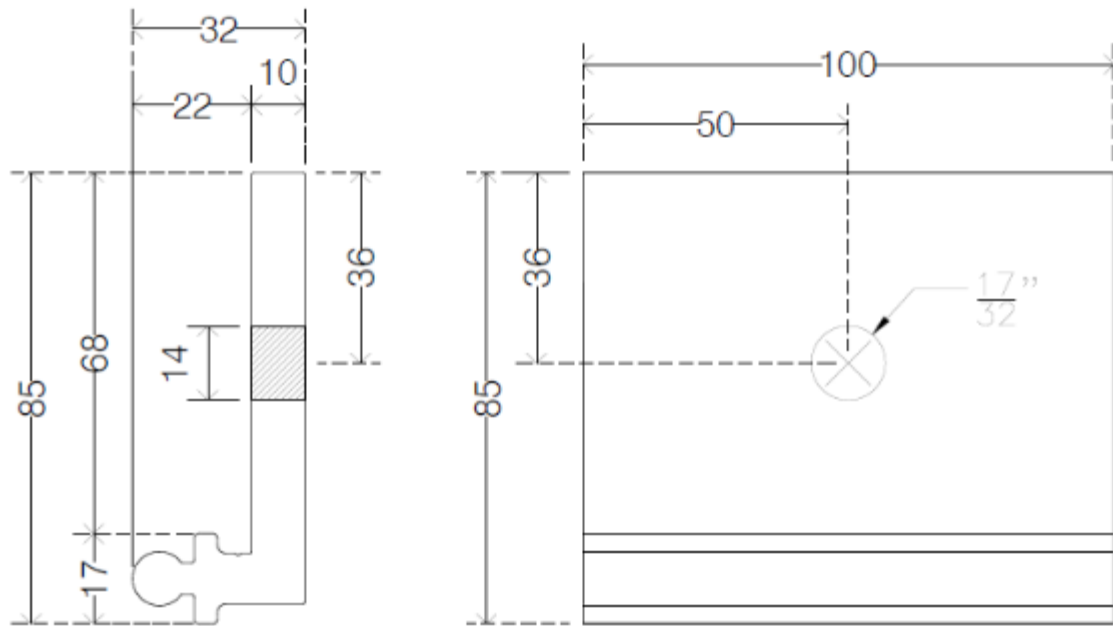


Ilustración 17. Detalle Ancla Macho. Fuente: Aluvisa (2019)

2.7.4 Ancla Hembra:

Elemento de aluminio aleación 6061, temple 6. Con un espesor de $9,53 \pm 0,20$ cm. Conecta al panel ensamblado al ancla macho y, por ende, en conjunto se fija el sistema como tal al edificio. Contiene un tornillo regulador para ajustar en instalación, el cual no puede salir de su borde. Existen dos versiones: la primera para ensamble en esquinas y una segunda versión para secciones rectas.

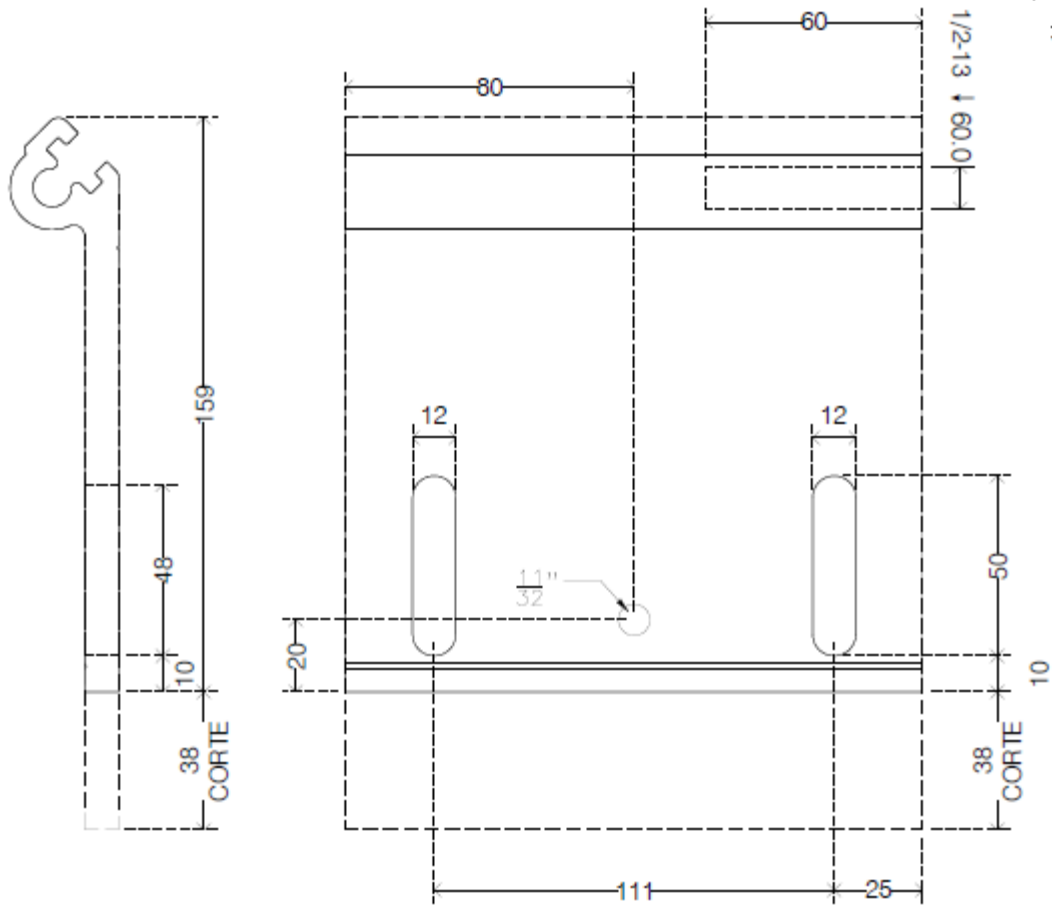


Ilustración 18. Detalle ancla hembra esquinas perfil 69173. Fuente: Aluvisa (2019)

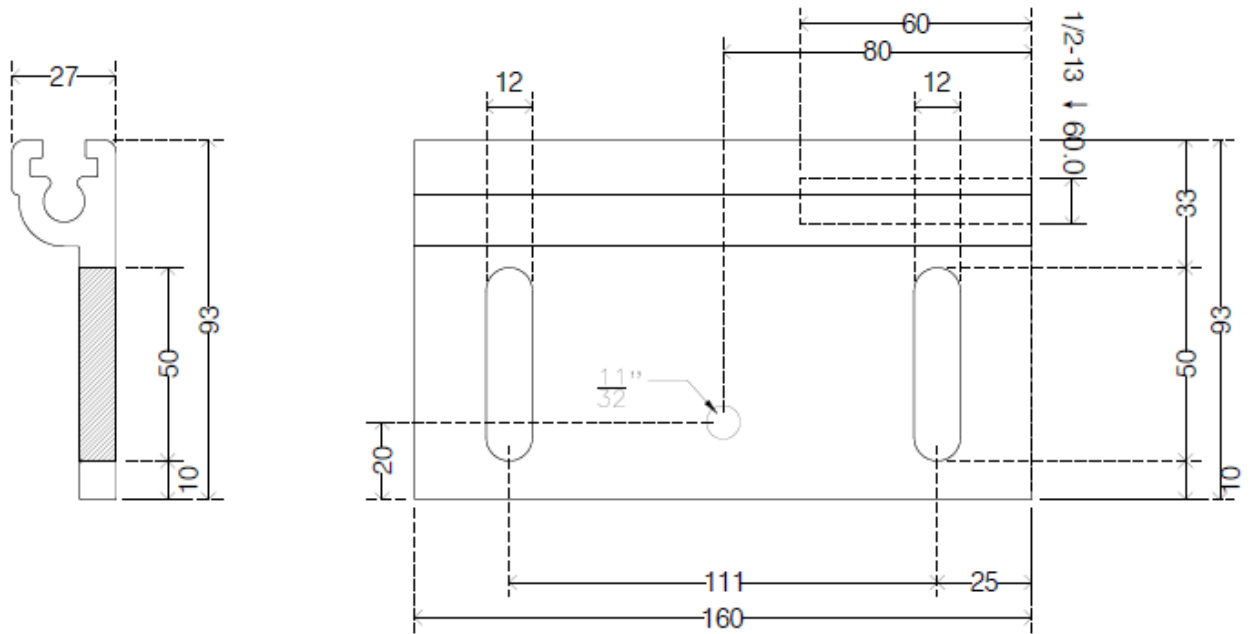


Ilustración 19. Detalle ancla hembra perfil 70456. Fuente Aluvisa (2019)

2.7.5 Refuerzo ancla:

Placa de refuerzo de 6cm de espesor que se sitúa entre el perno de fijación HBC-C8.8 y el ancla macho.

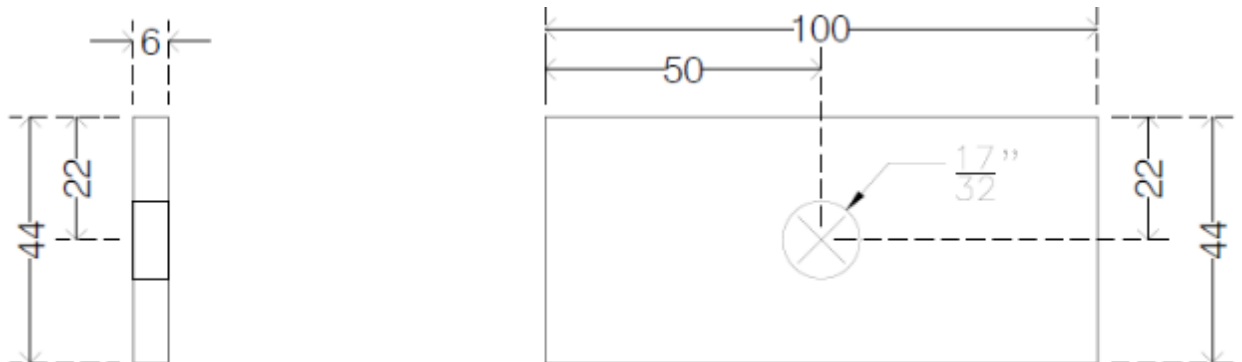


Ilustración 20. Refuerzo Ancla. Fuente: Aluvisa (2019)



Ilustración 21. Refuerzo Ancla colocado en conjunto con ancla macho y ancla hembra. Fuente: Propia (2019)

2.7.6 Perfil porta tuerca:

Perfil de aluminio que permite la conexión del ancla hembra con el panel fachada. Es un perfil de aluminio con huecos prefabricados para el acople de pernos al panel, es parte del ensamble de cada panel en fábrica.

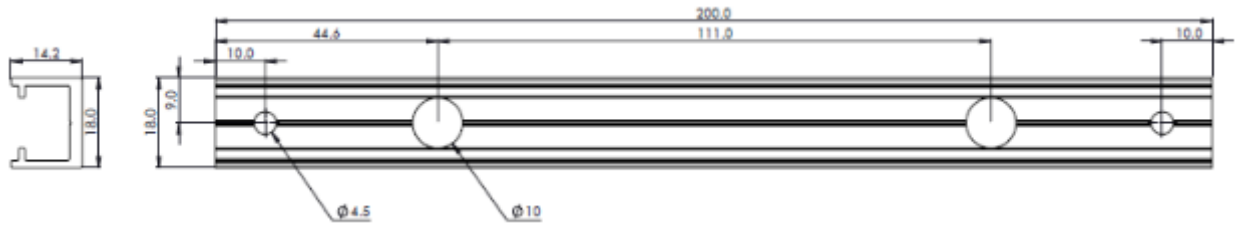


Ilustración 22. Perfil porta tuerca. Fuente: Propia (2019)

2.7.7 Panel fachada:

Compuesto por elementos de vidrio en configuraciones doble vidriado con cámara de aire o vidrio laminado y doble vidriado con cámara de aire; asimismo, contiene perfiles y tubos de aluminio, laminas metálicas galvanizadas, empaques EPDM y secciones de silicón. Cubierto, además, por aislamiento de lámina mineral contra fuego.

Los paneles para los niveles en estudio, 9 y 10, suman un total de 90 configuraciones distintas. Se diferencian por las dimensiones de sus componentes y, por lo tanto, del panel. Se puede llevar un control de instalación por su nomenclatura.

El panel, como tal, es el conjunto de elementos anteriormente indicados. Se menciona como parte de los componentes del sistema pues, aunque es producto de un armado, constituye un solo elemento en su instalación, ya que su producción se da en fábrica y llega como una sola pieza al proyecto. Para el estudio presente se considerará un solo elemento llamado panel.

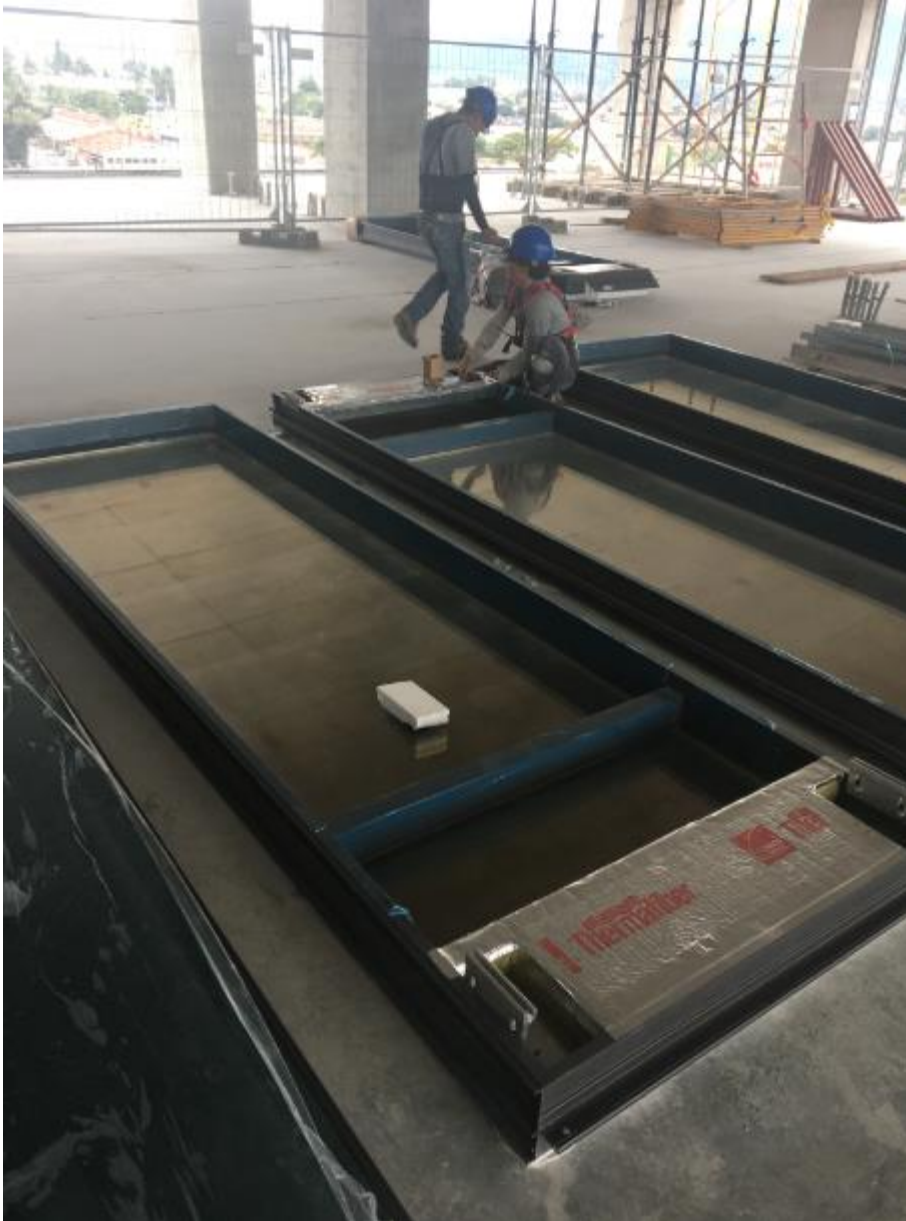


Ilustración 23. Panel armado para instalación en obra. Fuente: Propia (2019)

2.7.8 Vidrio:

Para este proyecto existen dos configuraciones del vidrio utilizado, ambas como vidrio templado doble vidriado. Según lo define Extralum, un vidrio doble vidriado está compuesto por

dos configuraciones de hojas de vidrio unidos por una cámara de aire deshidratado (Extralum, 2019). Con las configuraciones propuestas se busca mitigar el nivel de ruido de la zona y lograr control climático ante el calor y radiación solar. Las configuraciones se definen a continuación: la primera, que llamaremos configuración “A”, está conformada en su cara al exterior de la obra por vidrio *Green Glass* 6mm, cámara de aire de 12mm más vidrio Claro 6mm en la cara interior de la configuración. La segunda configuración, que llamaremos de ahora en adelante “B”, la componen en su cara externa vidrio *Green Glass* 6mm más cámara de aire de 19mm más vidrio laminado 6mm Claro más 1,52mm de butiral de polivinilo claro más vidrio Claro 6mm en su cara interior. Estéticamente, los vidrios tendrán una apariencia verde – azul (Glassec Viracon, 2019).

Las propiedades físicas del vidrio se establecen por el porcentaje de luz visible que se transmite a través del vidrio; es decir, el porcentaje de luz que se refleja hacia el interior y exterior del vidrio, el porcentaje de energía solar transmitida a través del vidrio, el porcentaje de energía solar reflejada desde el vidrio hacia el exterior, el porcentaje de energía solar retenida por el vidrio, el porcentaje de energía solar transferida hacia el interior de la edificación, el coeficiente de sombra- que es el coeficiente de ganancia de calor de un vidrio reflectante con un vidrio transparente-, el Valor U- que es el coeficiente global de calor solar transmitido por conducción- y el coeficiente de ganancia de luz solar- el cual se obtiene al dividir el porcentaje de luz visible que se transmite a través del vidrio entre el coeficiente de ganancia de calor-.

De acuerdo con *Glassec Viracon* (2019), para la configuración “A” las propiedades físicas son las siguientes:

- Porcentaje de luz visible que se transmite a través del vidrio: 32%.
- Porcentaje de luz que se refleja hacia el exterior del vidrio: 19%.

- Porcentaje de luz que se refleja hacia el interior del vidrio: 18%.
- Porcentaje de energía solar transmitida a través del vidrio: 15%.
- Porcentaje de energía solar reflejada desde el vidrio hacia el exterior: 12%.
- Porcentaje de energía solar retenida por el vidrio: 73%.
- Coeficiente de ganancia de calor de un vidrio o energía solar transferida hacia el interior de la edificación: 0.22.
- Coeficiente de sombra: 0.25.
- Valor U verano btu (h.ft².°F): 0.32.
- Valor U verano w (m².°K): 1.82.
- Coeficiente de ganancia de luz solar: 1.45.

Por su parte, las propiedades físicas para la configuración “B”, según *Glassec Viracon* (2019), son las siguientes:

- Porcentaje de luz visible que se transmite a través del vidrio: 31%.
- Porcentaje de luz que se refleja hacia el exterior del vidrio: 19%.
- Porcentaje de luz que se refleja hacia el interior del vidrio: 17%.
- Porcentaje de energía solar transmitida a través del vidrio: 13%.
- Porcentaje de energía solar reflejada desde el vidrio hacia el exterior: 12%.

- Porcentaje de energía solar retenida por el vidrio: 75%.
- Coeficiente de ganancia de calor de un vidrio o energía solar transferida hacia el interior de la edificación: 0.22.
- Coeficiente de sombra: 0.24.
- Valor U verano btu (h.ft².°F): 0.25.
- Valor U verano w (m².°K): 1.42.
- Coeficiente de ganancia de luz solar: 1.41.

2.7.9 Aluminio:

Piezas y perfilera de aluminio producidas a partir del proceso de extrusión. La aleación de aluminio del proyecto es de clase 6. Esta aleación es compuesta por aluminio, magnesio y silicio como principales elementos, estos dos últimos presentes en la composición como siliciuro de magnesio (Mg₂Si), también contiene cobre y cromo. Para el sistema se utilizan aleaciones 6061, 6063 y 6105. En la aleación 6061 existe una composición de un 0,6% de silicio, 0,28% de cobre, 1% de magnesio y 0,20% de cromo, el porcentaje restante es aluminio. Para la aleación 6063, existe una composición de 0,40% de silicio y 0,70% de magnesio, el porcentaje restante es aluminio. Por último, la aleación 6105 contiene una composición de 0,8% de silicio y 0,60% de magnesio, el porcentaje restante es aluminio (Kaufman, 2000).

Para aumentar la resistencia del material, en su fabricación se agregan procesos de templado. El aluminio presente en el proyecto es clasificado con un templado clase T, el cual figura

como el tratamiento térmico más usado en aleaciones. Esta aplicación produce templados estables para el aluminio. Para el proyecto es utilizado aluminio con temple T5 y T6. Por un lado, el temple T5 es un proceso en el cual el aluminio es enfriando luego de encontrarse a altas temperaturas, posteriormente es envejecido artificialmente. Por otro lado, el temple T6 lleva un tratamiento térmico en solución envejecida artificialmente para lograr endurecimiento por precipitación (Kaufman, 2000). Al respecto, según el ingeniero químico Johnny F. Obando (2014), “el proceso de envejecimiento, también conocido como revenido o maduración, es un proceso que puede ocurrir a temperatura ambiente (envejecimiento natural) o a temperaturas en el orden de los 120°C (envejecimiento artificial)... Este proceso es el encargado de dar la resistencia final y la dureza requerida”.

Ahora bien, es oportuno indicar que la selección del temple y aleación del aluminio presente en el proyecto se define según el estudio estructural previamente realizado, el cual está fuera del alcance de este trabajo; por lo cual no se menciona ni se detalla.

2.7.10 Empaques y juntas para paneles sobre puestos:

Empaques y aislantes tipo EPDM (*Ethylene propylene diene monomer rubber*). Es un tipo de empaque obtenido mediante el proceso de vulcanización dinámica. De acuerdo con Mark, Esmun y Roland (2013, p. 377):

El proceso de vulcanización dinámica de los elastómeros termoplásticos se produce luego de la mezcla fundida de plástico y caucho se le agregan agentes de vulcanización. La vulcanización de la fase de caucho ocurre a medida que se mezcla. Cuando la mezcla se retira de la mezcladora, se puede picar, extruir, granular, moldear por inyección, etc. Dicha

composición se describe como una dispersión de partículas muy pequeñas de caucho vulcanizado con una matriz de resina termoplástica.

La vulcanización dinámica genera mejoras en su proceso productivo, así como mejor resistencia a la fatiga (Mark et al.,2013). Esta composición permite empaques flexibles que a su vez tengan la dureza necesaria para mantenerse dentro de la estructura, sellar el vidriado y garantizar la protección contra factores naturales como agua y polvo. Generalmente, este empaque estará ubicado entre el vidrio y aluminio de los paneles, así como en elemento de sellado entre panel en sus partes superior e inferior.

2.7.11 Lana Mineral:

Funciona principalmente como protección contra fuego. Se agrega una lámina de lana mineral a los paneles en sus secciones ocultas que se colocan contra el espesor de losa. También funciona como un perímetro de contención, pues es un producto no combustible, resistente a la humedad, no corrosivo, de poco deterioro y resistente a las alimañas. Además, provee aislamiento térmico y acústico (Owens Corning, 2017). Así pues, la lámina de lana mineral permite una resistencia a temperaturas de 2000°F (1093 °C). Del mismo modo, conserva energía. Está compuesta por al menos 70% de material reciclado. El uso de este componente contribuye en créditos para certificaciones LEED y *Green Globe* (Owens Corning, 2017).



Ilustración 24. Lana mineral colocada en panel. Fuente: Propia (2019)

2.7.12 Sellador anti-fuego Hilti CFS-SP WB:

Sellador de color rojo diseñado para pisos de concreto que topan con paredes de muro cortina. Es resistente al fuego y es de especial aplicación para juntas de protección donde existe movimiento. De base acrílica. Con una densidad de $1,3 \text{ g/cm}^3$. Su aplicación debe ser en un rango de temperatura entre 4°C y 40°C . El tiempo de curado será de 24 horas en condiciones de humedad del 50% (Hilti Inc., 2020).

2.7.13 Silicón:

El silicón utilizado para el proyecto es fabricado por el proveedor DOW. Según el uso requerido, se presentan tres tipos de silicón, a partir de las recomendaciones del fabricante. El primer producto utilizado es el Dowsil 791 Sellador Impermeable de Silicona mono-componente, neutro, diseñado específicamente para vidriados general, muro cortina y fachadas. Entre sus características se puede citar que es ideal para juntas, conexiones y perímetros. Con una capacidad del movimiento de extensión/compresión mayor al 50% del ancho original de la junta. Su tiempo de manipulación es de 20 minutos. Con un tiempo de secado al tacto de 40 minutos. Su tiempo de curado es de 7 a 14 días. Estos datos a una temperatura promedio de 25°C y 50% de humedad relativa en el ambiente (Dow, 2020).

El segundo silicón utilizado es el Dowsil 795 Sellador Neutro de Silicona mono-componente. Su uso es idealmente para aplicaciones de sellado para acristalamientos ante la intemperie. Este producto es resistente a luz solar, lluvia, nieve, ozono y temperaturas entre -40°C y 149°C. Tiene una capacidad de movimiento de extensión/compresión en la junta del 50%. Su tiempo de manipulación es de 20 a 30 minutos. Su tiempo de secado al tacto es de 3 horas. Su tiempo de curado es de 7 a 14 días. El tiempo de adhesión total es de 14 a 21 días. Todo lo anterior a partir de una temperatura promedio de 25°C y 50% de humedad relativa en el ambiente (Dow, 2020).

La tercera opción presentada por el proveedor es el Dowsil 983 Sellador de Silicona para Vidriado Estructural Bicomponente y de Curado Neutro. Diseñado para aplicaciones estructurales y de estanqueidad para armado de paneles en taller. Proporciona uniones flexibles e impermeables garantizadas hasta por 20 años. Se puede utilizar para aplicaciones que requieran capacidad de

movimiento de hasta el 25%. Su tiempo de manipulación es de 15 a 25 minutos. El tiempo para manipular las unidades es de 4 a 24 horas. El tiempo de curado para el escurrimiento es de 1 día. El tiempo para alcanzar dureza es de 7 días. Esto tomando en cuenta una temperatura promedio de 25°C y 50% de humedad relativa en el ambiente (Dow, 2020).

Se acompaña el proceso de ensamble con un primer marca Dow Dowsil 1200 OS Primer. Este es un acelerando y mejorador de adhesión para aplicar entre los elementos de aluminio y vidrio. Debe aplicarse previo a la colocación de silicón. En humedades cercanas al 50%, el tiempo de secado al aire es de 15 a 90 minutos (Down, 2020).

Uno de los controles de calidad es el desensidriado según los porcentajes recomendados por el proveedor del silicón. El objetivo de este control de calidad radica en verificar la buena adhesión o adherencia del silicón y el correcto llenado de la junta estructural. El método consiste en separar por completo el vidrio del panel, revisando la adherencia del silicón en ambas superficies; por consiguiente, para una mejor revisión se debe preservar la integridad del panel y del vidrio. De igual forma, se debe revisar la dimensión observada del bite (Bite es la profundidad estructural o ancho de la superficie de contacto de silicón aplicada), el espesor del cordón de silicón, adherencia, estado del sellador aplicado y, asimismo, observar si existen defectos como burbujas, uniformidad de color, entre otros (Dow, 2018).

2.8 Control climático

En toda obra diseñada para la ocupación humana se busca que la luz natural sea aprovechada durante la mayor cantidad de tiempo posible, ya que esto permite mejores condiciones para la salud humana. Al respecto, Saint Gobain Glass (2002, p. 29), en su *Manual*

del vidrio Saint Gobain, menciona que “el ser humano pasa gran parte del día en un lugar bajo techo, por lo que la calidad del entorno luminoso tiene enormes consecuencias sobre su seguridad, salud, estado de ánimo y también sobre su eficiencia”.

Además, una mejor visión con más luz natural incentiva el menor uso de luz artificial, lo cual favorece en menos gasto económico por servicio eléctrico y, por ende, resulta en un edificio más sostenible en el marco ambiental. En relación con este tema, es importante prever el efecto invernadero que pueda aportar el cerramiento provisto por el sistema o la cantidad de calor que este genere en el edificio, pues la energía solar que los vidrios permiten transmitir hacia el interior queda atrapada dentro del local y esta radiación es emitida por los vidrios que se calientan; en consecuencia, se produce calor (Saint Gobain Glass, 2002). Ahora bien, no es esperado el uso excesivo de equipos de enfriamiento por aire acondicionado, ya que esto significa gastos en energía eléctrica y, en consecuencia, puede comprometer la sostenibilidad ambiental del edificio.

En nuestro caso, el vidrio es indispensable para la elaboración de los paneles, ya que mediante este se establece una barrera entre el interior y exterior del edificio. De este modo, es de vital importancia por su propiedad física de transparencia, lo cual permite el paso de radiación solar de donde se deriva la luz natural y el calor (Saint Gobain Glass, 2002). Por lo tanto, lo que busca el sistema unitizado de muro cortina es proveer la mayor cantidad de área disponible para la entrada de luz natural a la obra, sirviendo además de barrera ante la radiación solar en forma de calor que pueda aportar naturalmente el sol y el ambiente.

Para los pisos en estudio, la fachada en comparación con la fachada norte o sur tiene un 60% más de metros lineales expuestos a la luz solar. Es natural pensar que el diseño del edificio busca el aprovechamiento de luz natural, pero sin sacrificar la cantidad de calor a recibir por las razones antes mencionadas. Los paneles a través de sus vidrios, desempeñan el control sobre la

transmisión de radiación solar. El objetivo de la configuración de los vidrios es permitir el ingreso de luz visible, siempre con la prioridad de impedir la transmisión de calor.

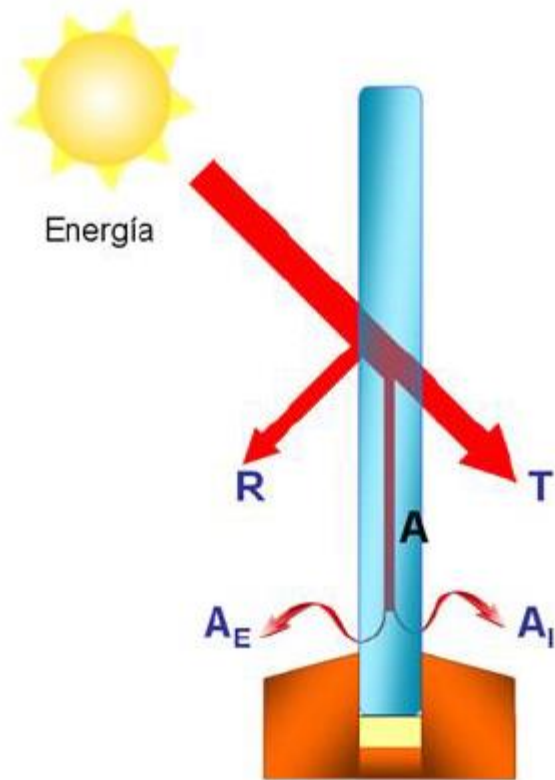
Según datos del Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica, para la estación cercana al sitio del proyecto, la Estación Meteorológica de Zapote, se registran temperaturas máximas entre 24°C y 28°C, esto durante todo el año, en donde se registra un mínimo de temperatura de 16°C en cuatro meses al año. Estos datos y la ubicación geográfica considerada como tropical permiten discernir que lo requerido para la obra es que se repela el calor para permitir condiciones menos cálidas dentro del edificio. En este sentido, no es del interés para el proyecto conservar calor en la edificación, como podría suceder en países donde es requerido mantener el calor, dadas las bajas temperaturas durante el invierno. Respecto a este control climático, el panel puede aportar- mediante su vidrio- factores bajos de transmisión de calor sin perder la transmisión de luz visible.

Existen parámetros ópticos que nos permiten conceptualizar el control climático aportado por el vidrio, como es el porcentaje de luz visible que el vidrio permite transmitir hacia el interior de la edificación. El vidrio, al ser un material poco poroso, permite reflejar luz de su superficie, este reflejo también se mide en porcentaje reflejado hacia el exterior e interior del edificio. Estos porcentajes son comparables a condiciones en donde no existe un medio más que el ambiental fuera del edificio. Además, al contemplar el doble vidriado hermético como parte de la configuración “B”, se atenúa el aislamiento térmico.

También, existen coeficientes que permiten comparar el desempeño o rendimiento de los vidrios. El primero a mencionar en este estudio es el Coeficiente de Ganancia de Calor Solar (SHGC), este es el porcentaje del total de energía solar que es transferida hacia el interior del edificio sumándole la energía solar absorbida por el vidrio y emitida hacia el interior (Extralum, 2019). Según la ilustración 25, se muestra este coeficiente como la suma entre las variables

mostradas en la ilustración como T más A₁. El segundo coeficiente por considerar es el Coeficiente de Sombra (SC), el cual es la ganancia de calor de un vidrio en comparación a la ganancia de calor de una hoja de vidrio de 3mm de espesor. Ambos coeficientes, mientras menores son, mejor rendimiento tiene el vidrio (Extralum, 2019).

Todos estos parámetros, ya mencionados en la descripción del vidrio como componente del sistema, muestran cómo la absorción o retención de energía solar por parte del vidrio es de 73% y 75% para las configuraciones A y B, respectivamente; es decir, son parámetros bastante aceptables para el control climático. También se denota un coeficiente de ganancias de calor solar bajo de 0,22 en ambas configuraciones, A y B; con un coeficiente de sombra de 0,25 y 0,24 para las configuraciones A y B, respectivamente, un valor bastante bajo en comparación con un vidrio monolítico de 3mm de espesor nominal. Los porcentajes de energía solar transmitidas a través del vidrio respectivamente para las configuraciones A y B es de 15% y 13%. Todo lo anterior evidencia que el calor a recibir y percibir por los usuarios en su interior será bajo en comparación con lo percibido por obras similares ubicadas en la zona en cuestión. Esto deja claro que el sistema unitizado de muro cortina, además de sus otras virtudes, provee un control climático destacable, lo que constituye una solución acorde con las necesidades de la construcción moderna.



- T = Energía Transmitida directamente hacia el interior
- R = Energía Reflejada
- A = Energía Absorbida por la masa del vidrio
- A_I = Porción de la energía absorbida, irradiada hacia el interior
- A_E = Porción de la energía absorbida, irradiada hacia el exterior

Ilustración 25. Figura 1 IT-035 "Generalidades del vidrio flotado" Coeficiente de Ganancia de Calor Solar. Fuente: Extralum (2019)

2.9. Estudios previos

Tal como se mencionó en el alcance de este proyecto, el diseño estructural y geométrico respecto a la configuración de los anclajes y paneles, así como sus insumos (silicón o pernos), se rigen a partir de estudios proporcionados por Aluvisa, socio de Extralum. Bajo este apartado, se mencionarán dichos estudios con el fin de entender en qué se basan los procesos de instalación. Cabe señalar que, como el alcance del proyecto no considera el estudio de estos parámetros, se da

por un hecho que es una etapa de diseño previa que se da como aceptada para la instalación, por lo cual solo se mencionarán los estudios realizados por Extralum y sus socios.

Asimismo, se hace una revisión con el proveedor de la configuración deseada para alcanzar los coeficientes de Ganancia de Calor Solar (SHGC) y coeficiente de Sombra (SC). Esto se consigue a través del fabricante Viracon, quien determina los parámetros antes mencionados para el material vidrio. Cada vidrio aporta diferentes propiedades según su color, tipo de recubrimiento con capa metálica o reflectiva, baja emisividad de radiación, así como su espesor y dimensiones. Se establecen estos coeficientes según lo norma la *National Fenestration Rating Council*, una organización de los Estados Unidos de América encargada de emitir los valores o coeficientes energéticos mencionados para el control climático referido en este estudio. El estándar utilizado para el proyecto es propio de esta organización, según el NFRC-2010 (GlassecViracon, 2019).

DATASHEET

Customer: Extralum
Project: Torre Universal

Date: 09/04/2019

Glass Type		24mm Insulating Solar Control	38.52mm Insulating Solar Control
Make-up	Outboard	6mm Green Glass - GA Ins 139 #2	6mm Green Glass - GA Ins 139 #2
	Airspace	12mm Air Spacer	19mm Air Spacer
	Inboard	6mm Clear Glass	6mm Clear Glass + 1.52mm PVB Clear + 6mm Clear Glass
Aesthetic		Blue/Green	Blue/Green
VLT		32%	31%
LRe		19%	19%
LRi		18%	17%
ST		15%	13%
SR		12%	12%
Abs		73%	75%
SHGC		0.22	0.22
SC		0.25	0.24
U-Value Summer btu/(h.ft ² .°F)		0.32	0.25
U-Value Summer w/(m ² .°K)		1.82	1.42
LSG		1.45	1.41

The standards used for calculation are NFRC 2010.

These performance data are estimated according to the software from the glass' fabricators.

Tabla 3. Configuración Vidrios. Fuente: Extralum (2019)

Existen también estudios y diseño para los anclajes y pernos. Estos se llevan a cabo en colaboración con el proveedor del sistema de anclaje, Hilti, el cual realiza los cálculos estructurales con base en lo establecido por el *American Concrete Institute* en su código: *ACI-318-14 Building Code Requirements for Structural Concrete* y según lo aprobado por ICC (*International Code Council*) en la evaluación realizada *ESR-3520 Hilti anchor channel HAC and hilti channel bolts HBC-C and HBC-C-N in cracked and uncracked concrete*. Se realiza las recomendaciones para el sistema de anclajes colocados en concreto colado en sitio, esto con el objetivo de establecer cuáles son las medidas o cotas requeridas para la correcta colocación del sistema de anclajes, así como

también los requerimientos estructurales, y por ende constructivos, para el sistema. Esto establece la geometría a seguir en su instalación. Los cálculos se realizan con base en el panel ensamblado con mayores dimensiones y contemplando los efectos del viento en el proyecto bajo estudio. En este caso, es utilizado un software propio de la empresa Hilti llamado *Profis Engineering Suite*, el cual funciona como una herramienta de diseño para todo lo considerado en el diseño del sistema de anclajes (Hilti, 2019).

En el caso del silicón se realizan ensayos de adherencia y compatibilidad por parte del proveedor Dow. Estos ensayos son ejecutados para los materiales que componen el sistema unitizado de muro cortina. De este modo, se prueban distintos silicones para poder recomendar su uso en el sistema (Dow, 2019).

1. Sample Nr 172686		Substrate Details	
Substrate Type		Aluminum - FEVE (poly-fluoroethylene/vinyl ether) Paint	
Substrate Mnf Name / Supplier Name		Cuprum	
Substrate Description		PINTURA GRIS A-739	
Surface to Test		Painted Face	
Cleaner		Isopropanol	
Sealant	Primer	Application Recommendation	
DOWSIL™ 791 Silicone Weatherproofing Sealant	No Primer	Approved for Weatherseal Applications	
DOWSIL™ 791 Silicone Weatherproofing Sealant	DOWSIL™ Primer-C OS	Approved for Weatherseal Applications	
DOWSIL™ 795 Silicone Building Sealant	No Primer	Approved for Weatherseal Applications	
DOWSIL™ 795 Silicone Building Sealant	DOWSIL™ Primer-C OS	Approved for Structural and Weatherseal Applications	

Tabla 4. Ejemplo de Ensayo adherencia y compatibilidad. Fuente: Extralum (2019)

2. Sample Nr 172691		Substrate Details	
Substrate Type	Glass - Clear		
Substrate Mnf Name / Supplier Name	Viracon		
Substrate Description	PLANILUX 6 MM, COOL LITE KS 130 II, 12 AIR, PLANILUX 6MM AMBOS TEMPLADOS		
Surface to Test	Glass Lite #4		
Cleaner	Isopropanol		
	Sealant	Primer	Application Recommendation
	DOWSIL™ 795 Silicone Building Sealant	No Primer	Approved for Structural and Weatherseal Applications
	DOWSIL™ 983 Structural Glazing Sealant	No Primer	Approved for Structural and Weatherseal Applications

3. Sample Nr 173249		Substrate Details	
Substrate Type	Glass - IG Unit		
Substrate Mnf Name / Supplier Name	Viracon		
Substrate Description	PLANILUX 6 MM, COOL LITE KS 130 II, 12 AIR, PLANILUX 6MM AMBOS TEMPLADOS - Ground Edges		
Surface to Test	Edge		
Cleaner	Isopropanol		
	Sealant	Primer	Application Recommendation
	DOWSIL™ 791 Silicone Weatherproofing Sealant	DOWSIL™ 1200 OS Primer	Approved for Weatherseal Applications
	DOWSIL™ 791 Silicone Weatherproofing Sealant	No Primer	Approved for Weatherseal Applications
	DOWSIL™ 795 Silicone Building Sealant	DOWSIL™ 1200 OS Primer	Approved for Weatherseal Applications

Tabla 5. Ejemplo de Ensayo adherencia y compatibilidad. Fuente: Extralum (2019)

También, se realizan revisiones del sistema unitizado de muro cortina mediante la evaluación de maquetas a escala real. La evaluación se realiza mediante un laboratorio en donde se determina: infiltración de aire, según la norma *ASTM E283-04 (2012) Standard Test Method for determining rate of air leakage through exterior Windows, Curtain Walls and doors under specified pressure differences across the specimen*, presión estática y resistencia al agua, según la norma *AST E331-00 (2016) Standard test method for water penetration of exterior Windows, skylights, doors, and curtain wall by uniform static air pressure difference*, presión estática para la resistencia del agua, según la norma *AAMA 501.1-17 Standard test method for water penetration of windows, curtain walls and doors using dynamic pressure*, rendimiento estructural, según la norma *ASTM E330/E330M-14 Standard test method for structural performance of exterior*

windows, door, skylights and curtain walls by uniform static air pressure difference, desplazamiento horizontal entrepisos, según la norma AAMA 501.4-09 Evaluation curtain wall and storefront systems subjected to seismic and wind induced interstory drifts, y desplazamiento vertical entrepisos, según la norma AAMA 501.7-11 Evaluation windows, window wall, curtain wall and storefront systems subjected to vertical inter-story movements (Aluvisa, 2018).

2.10 Diseño geométrico del sistema según los requerimientos estructurales

El sistema unitizado de muro cortina se diferencia de los sistemas de muro cortina convencionales en que su instalación inicia con el colado de cada losa dentro del proyecto, lo cual permite que el desarrollo de la fachada inicie al mismo tiempo que la obra gris. Esto genera ahorros importantes en tiempo de instalación; por ello, al iniciar el proceso en la etapa del colado de las losas deben existir requisitos geométricos muy específicos en la colocación de los anclajes debido a que una corrección por una mala instalación se vuelve inaceptable para los intereses del proyecto.

Por tanto, se puede definir entonces que la instalación del sistema unitizado de muro cortina comprende dos etapas: primero, la etapa de instalación de los sistemas de anclaje que se realizan previo a la colocación del concreto, y una segunda etapa que requiere de la instalación de los paneles sobre el sistema de anclaje una vez el concreto haya fraguado. En relación con la primera etapa del proyecto, se recomienda un sistema de anclajes para el sistema unitizado de muro cortina un anclaje marca Hilti HAC-40 91/300 F. Esto tomando como referencia que el espesor de la losa es de 20 cm para el proyecto, con un concreto con resistencia a la compresión de $f_c = 350 \text{ kg/cm}^2$ (Hilti. 2019). Según el diseño para cumplir con la resistencia a las cargas, el anclaje marca Hilti HAC-40 91/300 F debe tener una profundidad de empotramiento efectivo de 91 mm, considerando

el canal topando totalmente en el borde de la losa. La ubicación del centroide del canal debe ubicarse a 110 mm mínimo del lecho superior de la losa. La longitud del canal debe ser de 300 mm. La distancia entre anclas debe ser de 250 mm, estas anclas son las que profundizan en la losa saliendo del canal. El ancho del canal debe ser de 41 mm. La altura del canal debe ser de 28 mm. La distancia entre pernos HBC-C 8.8 F, M12 x 50 mm debe ser de 172 mm.

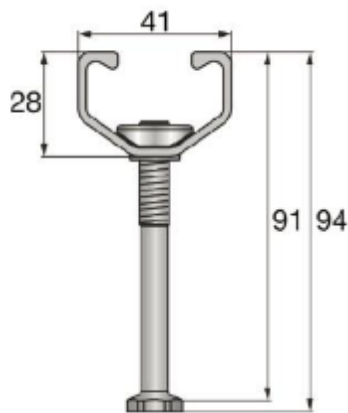


Ilustración 26. Dimensiones del HAC. Fuente: Extralum (2019)

Para la sujeción de los anclajes HAC-40 91/300 F, se debe asegurar que los encofrados sean debidamente arriostrados y deberán ser lo suficiente impermeables para que no existan pérdidas de concreto. Se permiten tolerancias $-5\text{mm} + 10\text{mm}$ en la sección de cualquier elemento del concreto terminado. Se permiten tolerancias de $-12\text{mm} + 12\text{mm}$ en la salida de borde de losa y trabes del concreto terminado. En el largo de los alineamientos horizontal y vertical de aristas y superficies de losas y vigas se permitirá una tolerancia de $-5\text{mm} + 5\text{mm}$ (Aluvisa/Extralum, 2019). Estas tolerancias son establecidas a partir de las correcciones que el sistema de anclajes permita

ajustar hacia los paneles para que, a su vez, estos logren mantener la planicidad de la fachada, evitando dejar claros en los sellos que permiten estanqueidad en el sistema.

2.11 Fabricación de los paneles

La fabricación de los paneles o ensamble de los materiales que lo conforman no se da en obra. Esto se puede considerar como una etapa intermedia entre la colocación del sistema de anclajes durante el armado de las losas, antes de colocar el concreto y que este pueda fraguar, y la etapa segunda de instalación de los paneles. Esto debido a que no se ensamblan los paneles en obra, sino que se arman desde fábrica. Es importante entender este proceso para dar pie a la siguiente etapa del proyecto.

La etapa de fabricación va de la mano con la administración del proyecto en obra, ya que no se puede ni fabricar ni trasladar todos los paneles al mismo tiempo, aun considerando que se trate de un solo piso, pues esto significaría un incremento en los costos por la necesidad de generar metros cuadrados de almacenamiento, mayor cantidad de transporte, un flujo de caja limitado debido a los avances económicos por piso y mayor exposición del producto a que se dañe. Por tales razones, el director del proyecto en planificación, en conjunto con el encargado de producción en fábrica, debe establecer la cantidad de paños requeridos en obra por día y cuál es el orden según su referencia. La referencia está dada de acuerdo con las dimensiones y configuración que tenga un paño en cada piso, según un orden específico dado por el proyectista.

Para el piso 9 existen 49 distintas configuraciones de paneles; en cambio, para el piso 10 existen 41 distintas configuraciones de paneles. Para planificar la producción de los paneles deben consultarse los planos de configuración de la fachada, pues los paneles se fabrican y se arman según una configuración ya establecida por una etapa previa de planos. Dentro de las

consideraciones en la fabricación está la tolerancia del ancho de corte de sierra para el aluminio, la cual debe ser de $+0,00 \text{ mm} - 1,00\text{mm}$; el tamaño de corte de pieza igual a $+ 0,00 \text{ mm} - 1,00\text{mm}$; el tamaño de las perforaciones igual a $\pm 0,50 \text{ mm}$; la localización de las perforaciones igual a $\pm 1,00 \text{ mm}$; cortes, retestados y desbastes igual a $\pm 1,00 \text{ mm}$; el tamaño de los dobleces igual a $\pm 1,00 \text{ mm}$; angularidad en los dobleces de las láminas igual a ± 1 grado; tamaño de los radios igual a \pm una vez el espesor del material (Aluvisa/Extralum, 2019). Además, se utiliza Dowsil 983 Sellador de silicona para la confección de los paneles, ya que permite un secado del producto más rápido que los otros silicones sugeridos y, por ende, una manipulación más pronta de los paneles, sin correr el riesgo de vulnerar su integridad (Dow, 2019). El silicón utilizado en obra, aunque busca el mismo objetivo, tiene un tiempo de secado al tacto mayor, lo cual no influye de manera negativa dada la naturaleza estática de la instalación.

En síntesis, deben existir controles de calidad en donde las métricas de calidad definidas por el proveedor puedan ser comprobadas, previamente definidas y documentadas por herramientas de gestión de la calidad, auditorías de calidad y análisis de procesos (*Project Management Institute, Inc.*, 2013).

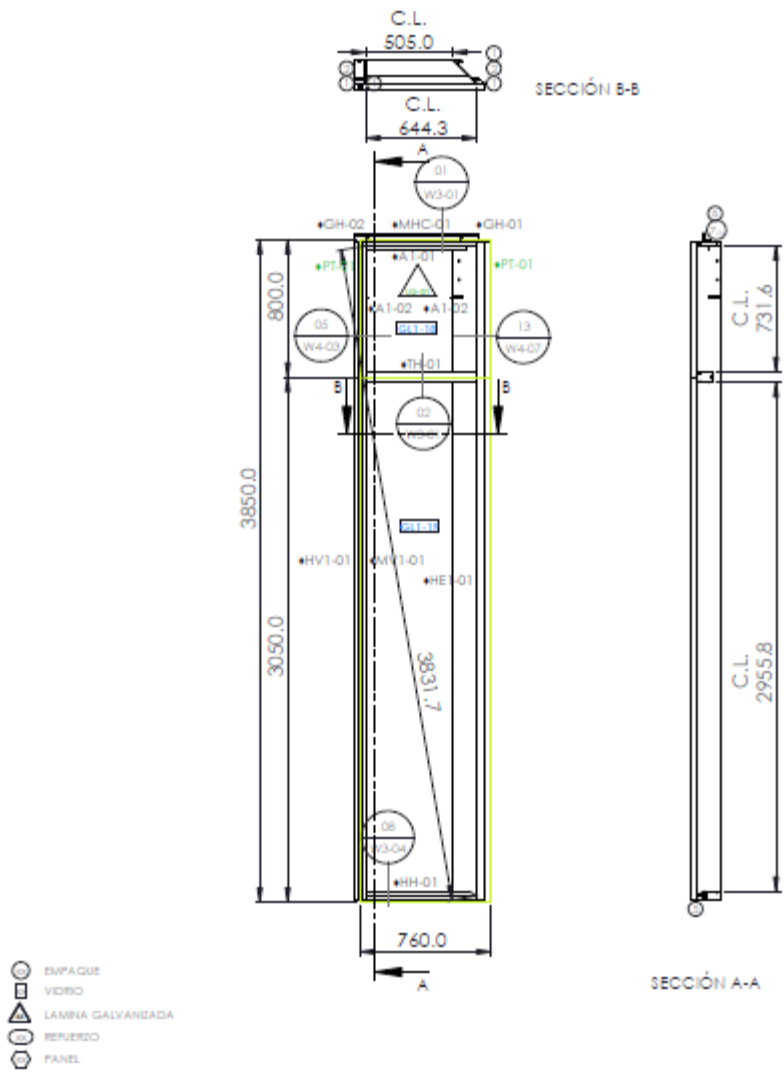


Ilustración 27. Ejemplo de plano de fabricación de panel. Fuente: Extralum (2019)

2.12 Gestión y administración del proyecto y su instalación

El sistema, al ser prefabricado, contará con una nomenclatura donde identifique cada panel y su ubicación en cada piso. El control de esto reviste de mucha importancia, ya que se debe ensamblar, trasladar e instalar en un orden adecuado para la instalación. Lo anterior se logra a la vez de una distribución en planos de cada panel dentro de la fachada. Así pues, del proveedor existe ya un plano elaborado por cada fachada en el que muestra la ubicación geométrica del panel. Esto debido a que en fábrica el despiece de los paneles llega en piezas completas que se deben cortar; por ejemplo, el aluminio o vidrios a la medida según cada configuración.

Por ello, el proyectista o director de proyecto debe considerar esta asignación a la hora de planificar el montaje diario de paneles, como anteriormente fue mencionado donde se especifica que es un proceso que guarda estrecha coordinación con el proceso de fabricación y ensamble, pues el sistema se entrelaza entre sí. Esto quiere decir que si se coloca un panel que no corresponda, sus dimensiones o apariencia no coincidirán con la fachada total, lo que puede implicar costos adicionales en la operación dado el gasto en insumos como selladores, láminas minerales, silicón y mano de obra; además de exponerse a multas por incumplimiento en los tiempos de entrega de cada piso.

Por consiguiente, en gran cantidad de proyectos existe una coordinación previa de tiempos establecidos para la construcción de cada parte o etapa del proyecto. En este proceso, las fachadas constituyen parte importante, ya que proveen cerramiento y protección al edificio; además, es uno de los elementos que más lo caracterizan debido a que a la vista es lo más expuesto de este. Asimismo, determina las condiciones de luz y control climático que tendrá el inmueble. Por tanto,

una mala planificación, fabricación y entrega de paneles en obra puede hacer perder tiempo y recursos, ya que estos objetivos no llegarán a ser cumplidos.

Para el proyecto en estudio, es de considerar que sí existen fechas de entrega por piso, de modo que el ensamble debe ser coordinado en paneles diarios a instalar; por lo tanto, se debe asegurar que la configuración correcta de cada panel por piso sea recibida en obra y, así, no perder productividad y eficiencia en la instalación. La nomenclatura propuesta debe ser alfanumérica. Cada panel estará representado con las letras “MP” en caso de contener aluminio compuesto; y una letra “M” en caso de no contenerlo. Además, se agregará un número que distinga las configuraciones según tamaño, componentes, tipo de vidrio y vista desde exterior.

Por ende, se debe llevar una matriz de control que permita visualizar el avance de la instalación. De acuerdo con el ingeniero Luis Zamora: “Se puede llevar el control en una hoja de cálculo electrónica donde se pueda llevar bajo un sistema de marcas el control de los paneles instalados y por lo cual el avance de la obra” (comunicación personal, 21 de febrero de 2020). En conformidad, se han implementado también en el proyecto pizarras e impresión de planos colocados en la sala y bodega de control para visualizar de una manera física y en tiempo real la configuración y orden de la instalación según sea el avance diario. Esto constituye parte de la administración del proyecto.

Cabe resaltar que no solo un incumplimiento con el ensamble- debido a su forma o tiempo- puede afectar el edificio, sino también la fragilidad y detalle que tienen los materiales de la fachada. En este caso, el sistema muro cortina unitizado posee como materiales primarios el vidrio y aluminio, los cuales- ante daños causados por golpes, suciedad propia del polvo, concreto, soldadura y relacionados- pueden sufrir daños irreversibles que lleguen a comprometer la función de los elementos como parte celular del total de la fachada.

Así pues, teniendo en cuenta los daños que puedan sufrir los componentes, y a sabiendas de que se instalan mientras la construcción de la obra gris del edificio aún sucede, se coloca un filme protector a cada panel, el cual puede ser retirado posterior a la instalación, no más de 60 días como máximo, ya que el filme puede ser complicado de quitar debido a su adherencia al material que protege, por lo que puede ocasionar manchas o desperfectos en la superficie que atenten contra la estética de la fachada del sistema unitizado de muro cortina, la parte más visible de la obra.

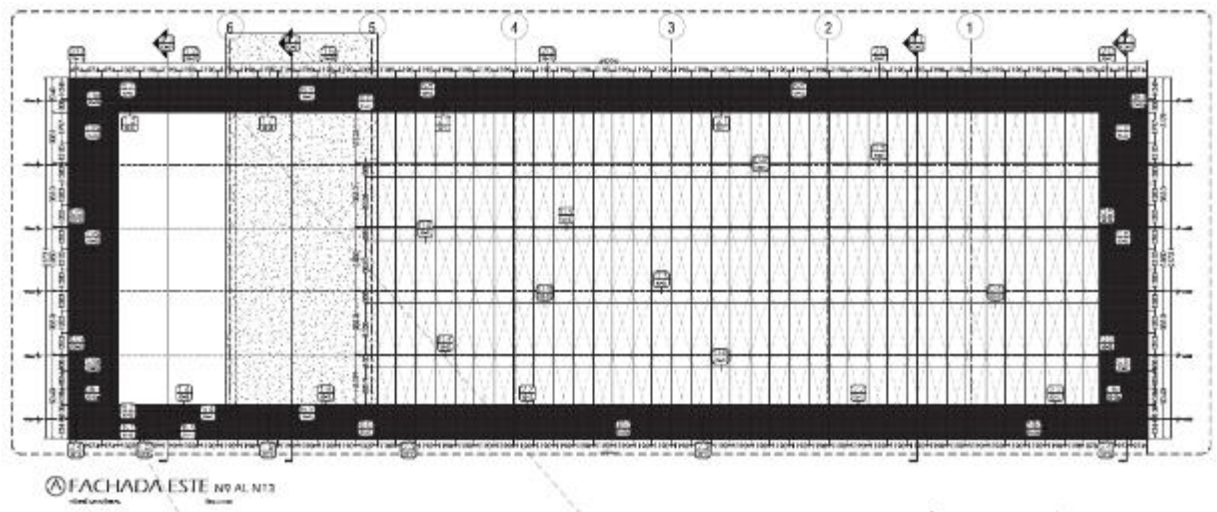


Ilustración 28. Detalle en planos fachada este, ejemplo de visualización de paneles en proyecto. Fuente: Extralum (2019)

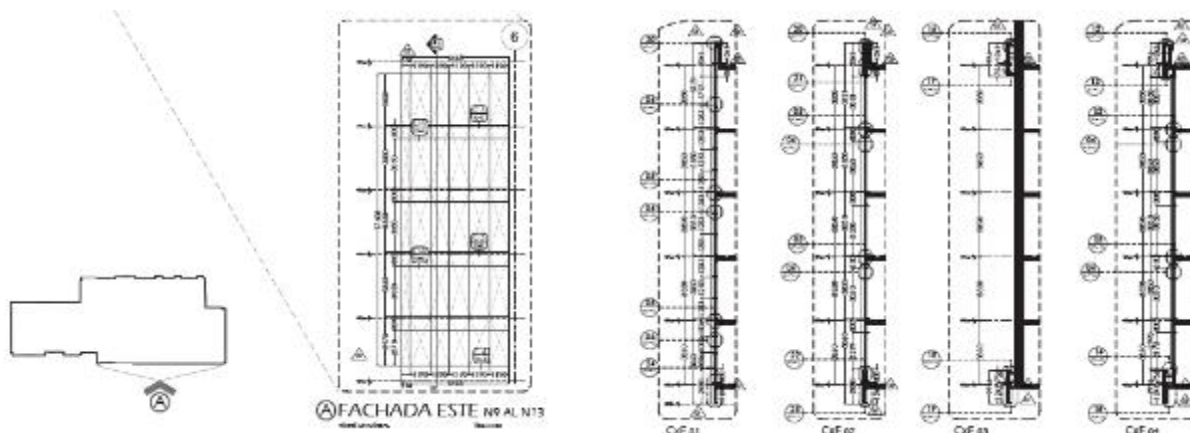


Ilustración 29. Continuación detalle en planos fachada este, ejemplo de visualización de paneles en proyecto. Fuente: Extralum (2019)

2.13 Seguridad laboral

La instalación del sistema unitizado es considerado como trabajo en alturas. En referencia a lo publicado por *Latino Worker Safety Center, OSHA Compliant Safety Training*, en el año 2015 en su texto “Protección contra caídas en la construcción”, se establece que como parte de las responsabilidades de los empleadores se deben desarrollar programas de protección que cumplan con las normas OSHA. Por ello, es esencial mantener inspecciones frecuentes de todos los elementos materiales, humanos y de protección de los lugares de trabajo, así como categorizar el uso de herramientas y adiestrar o capacitar a los trabajadores. Se requiere, además, de una persona calificada que pueda demostrar sus conocimientos, experiencias o capacitaciones. Esta debe poseer la habilidad de resolver problemas relativos al trabajo en alturas, con el objetivo de que diseñe los sistemas de seguridad, defina los equipos de protección a utilizar y precise planes de protección para los trabajadores.

Por otro lado, es necesario planificar qué tipo de trabajo se realizará, cómo se llevará a cabo, qué equipo de seguridad personal se utilizará según cada actividad y cuántas personas lo harán. Asimismo, se debe proporcionar el equipo correcto, que sea aplicable para la instalación del sistema, ya que las alturas a las cuales se instalan inician desde el piso 9, que sobrepasa por mucho el metro ochenta centímetros que se establece como límite para considerarse trabajo en alturas. En consecuencia, se debe capacitar al total de personal para que sepa cómo utilizar el equipo de protección personal, equipos anticaídas, anclajes, líneas de vida, escaleras y andamios. Además, deben aprender a identificar riesgos que puedan presentarse en la obra (*Latino Worker Safety Center, OSHA Compliant Safety Training, 2015, p. 17-21*).

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Planificación y coordinación del proyecto

Como primer paso de los requerimientos para una buena instalación del sistema unitizado de muro cortina, está la planificación y coordinación del proyecto. Es importante concretar el equipo humano que coordinará el proyecto; es decir, quiénes desempeñarán el equipo de dirección y coordinación, tanto en obra como en una posible oficina de planificación. Además, es importante definir el equipo humano que se encargará de todo el trabajo operativo y de instalación. En todo momento estos dos equipos deben estar estrechamente coordinados bajo una comunicación fluida y constante. El éxito del proyecto, en gran parte, radica en el talento humano.

3.1.1 Equipo de dirección y coordinación del proyecto

Se ha logrado observar que el proyecto ha recibido el apoyo requerido por parte de la Coordinación General, esto se ve reflejado con el equipo conformado por quienes dirigen el proyecto, pues existe mucho talento y experiencia. La metodología seguida garantiza fluidez y permite que el trabajo se realice dentro de las fechas estimadas de instalación. En este apartado se pretende analizar esta administración del proyecto, documentando lo encontrado y sugiriendo técnicas adicionales que pueden ser adoptadas en proyectos siguientes.

Dentro del equipo director o coordinador del proyecto debe existir un profesional que se encuentre analizando y gestionando el paso a paso, tal como la documentación, planos, fichas técnicas, materiales y temas administrativos del proyecto, incluidas reuniones con ingenieros, proveedores, clientes, estudiantes y personas encargadas de administrar los recursos financieros

del proyecto. A su vez, debe existir un profesional que se encuentre en obra coordinando los equipos de trabajo, el cumplimiento de los hitos del proyecto, el recibo de materiales y paneles en obra, coordinando con los requerimientos de la compañía constructora, realizando labores de inspección y aprobación de trabajos, coordinando el control de los inventarios en obra, así como de fechas de entregas de producto o paneles y planificando la proveeduría de insumos. En síntesis, debe organizar todo lo que afecte el flujo continuo del trabajo de instalación en obra.

Es por eso que esta sección está dirigida a directores de proyecto, ingenieros y proyectistas instaladores: la parte administrativa imprescindible del proyecto. La manera en cómo se coordine y gestione el proyecto tendrá consecuencias económicas, así como el éxito de la instalación del sistema unitizado de muro cortina desde sus etapas tempranas. Dentro de las habilidades blandas requeridas para estos puestos de trabajo están: liderazgo, comunicación asertiva, manejo del estrés y su respuesta ante tal, capacidad para iniciar y sostener tareas de planificación y organización, pensamiento analítico y toma de decisiones y servicio al cliente. Esto por todas las tareas que debe desempeñar en las etapas del proyecto a desarrollar.

Por otro lado, en cuanto a conocimientos técnicos y de aplicación profesional, es indispensable la experiencia o asistencia en dirección de proyectos, conocimiento de los materiales empleados y sus parámetros constructivos y de calidad, conocimiento en *softwares* administrativos y de diseño, esto para la elaboración de informes, controles, revisión de planos, propuestas y tareas administrativas a su cargo. También, debe contar con conocimiento de aplicación profesional respecto a diseño y construcción. Todo lo anterior es importante repasarlo antes de constituir el equipo director, ya que el tipo de retos, problemas y circunstancias en las cuales tienen que tomar decisiones requieren de estos conocimientos y habilidades para poder liderar y gestionar el

proyecto, de manera tal que sea exitoso y pueda alcanzar los rendimientos constructivos y económicos esperados.

Para poder establecer un orden en las labores de los directores, así como de las personas que están a su cargo o son parte del proyecto, es recomendado crear perfiles por puesto de trabajo, en donde se especifique las tareas y responsabilidades que debe cumplir cada trabajador; además, se tiene que definir a cargo de quién se encuentra la persona y ante quiénes debe responder como responsable. Asimismo, se debe incluir el detalle de las relaciones profesionales que se espera pueda tener el trabajador y los conocimientos técnicos que se requieren para el puesto, esto con el objetivo de tener presente qué temas son necesarios reforzar o establecer como prioridad en las capacitaciones. Igualmente, se debe mencionar a qué riesgos laborales- respecto a salud ocupacional- está expuesto el trabajador para identificar cuáles normas de seguridad reforzar. Lo anterior es aplicable tanto para quienes forman parte del equipo director, como para los demás integrantes de los equipos de trabajo.

A modo de ejemplo, se puede determinar que a un trabajador que tenga un rol de líder instalador de paneles en obra lo coordine el director de proyecto en obra, y que las personas a su cargo son los colaboradores instaladores. Dentro de sus tareas están coordinar el equipo de trabajo, revisar los niveles y plomos de instalación, la solicitud de paneles al operador de grúa y la verificación de los paneles instalados entre otras tareas relacionadas. Además, este líder instalador de paneles tiene como parte de sus relaciones profesionales al director de proyecto en obra, al cual debe informarle sobre el avance de la instalación, requerimientos de la instalación, así como horarios o problemas presentados. Asimismo, otra relación profesional posible puede ser el colaborador instalador, con el cual debe informar la cantidad de paneles a instalar por día, medidas a las cuales debe instalar y labores que debe realizar a la hora de la instalación.

Siguiendo con el ejemplo, como parte de los conocimientos técnicos esperados, están el de instalación de paneles del sistema unitizado de muro cortina por lo cual, si se decide cambiar el tipo de silicón a utilizar y su manera de probar su adhesión en obra, este perfil de puesto debe ser de los primeros en ser capacitados y tomados en cuenta a la hora de la decisión. Por otra parte, como riesgo laboral respecto a salud ocupacional, se encuentra la exposición a trabajo en alturas, para lo cual debe establecer el equipo de seguridad a utilizar y, además, determinar a qué capacitaciones debe ser sometido el trabajador.

Esto puede administrarse a partir de bases de datos conformadas por formatos como el sugerido a continuación en la tabla 6. Se pueden tener impresos en un lugar de resguardo dentro del proyecto para que sea de fácil acceso para consultar y capacitar a cada trabajador. Queda a discreción de la dirección del proyecto si dichos perfiles de puesto serán acompañados por documentos de respaldo que garanticen que las funciones, capacitaciones y actualizaciones se han dado a los trabajadores y que estos firmen como parte de este procedimiento. Esta metodología lo que garantiza es la función por roles de trabajo de una manera ordenada y efectiva que asegure la correcta capacitación y habilidades presentes en cada trabajador y que, de esta manera, como conjunto aseguren una buena ejecución del proyecto.

Fecha de elaboración del documento:	_____
Versión del documento:	_____
Nombre de la empresa:	_____
Proyecto:	_____
Descripción del puesto:	_____
Persona encargada o coordinador:	_____

Tareas y responsabilidades del puesto:	
	1) _____
	2) _____
	3) _____
	4) _____
	5) _____
	6) _____
	7) _____
	8) _____
	9) _____
	10) _____
	11) _____
	12) _____
	13) _____

Conocimientos técnicos del puesto:	
	1) _____
	2) _____
	3) _____
	4) _____
	5) _____
	6) _____
	7) _____
	8) _____
	9) _____
	10) _____
	11) _____
	12) _____
	13) _____

Relaciones Profesionales:	¿Para qué?
_____	_____
_____	_____
_____	_____

Personal y perfiles de puesto a cargo:	¿Para qué?
_____	_____
_____	_____
_____	_____

Riesgos laborales del puesto respecto a salud ocupacional:	
	1) _____
	2) _____
	3) _____
	4) _____
	5) _____
	6) _____
	7) _____

Versión # _____

Tabla 6. Formato para control de perfiles de puesto para trabajadores. Fuente: Extralum con modificaciones propias (2020)

3.1.2 Planificación de la instalación del sistema de anclaje

Los directores del proyecto deben conocer, desde la etapa de diseño del edificio, qué tipo de concreto, losa y sistema de acero de refuerzo, además del tipo de encofrado, se utilizarán. Estos datos deben documentarse en un acta de constitución del proyecto. El motivo de esto es el de utilizar los datos para las revisiones de diseño estructural del sistema de anclajes a utilizar. Aunque el diseño estructural no es parte del alcance del estudio presente, sí cabe mencionar que los datos tienen que obtenerse y entregarse a los diseñadores del sistema para que se defina la geometría del sistema de anclajes. También, se deben conocer las dimensiones del edificio y su propuesta arquitectónica, esto con el fin de realizar la distribución geométrica del sistema unitizado de muro cortina. A partir de cumplida la etapa de diseño se procede con el siguiente paso del proyecto.

3.1.3. Especificaciones del proyecto y contrato

Debe establecerse de forma escrita el alcance del sistema unitizado de muro cortina respecto a su diseño, componentes, puertas y barandales como elementos secundarios, colores y acabados aceptados, medidas geométricas, procesos constructivos requeridos, tiempos de entrega, condiciones de transporte, descarga, traslado e instalación, bodegas requeridas, personal a contratar, pago de horas extras, precio total del piso, cantidad de pagos y créditos estimados (puede ser por piso para garantizar un buen flujo de caja), requerimientos estructurales, requerimientos de grúa y herramientas, ingreso y horarios del personal; en fin, todo aquello que se crea pertinente debe contener el contrato.

Es de buena práctica utilizar planos y muestras ligadas a los planos para la transmisión de diseños, estilos, colores y acabados a utilizar. Todos estos planos, sin excepción, deben ser

firmados por el cliente, el cual da el visto bueno y acepta las condiciones establecidas. Además, dichos documentos deben especificar el plazo de garantía o las condiciones de uso por las cuales la garantía será válida para todo elemento que conforme el sistema unitizado de muro cortina y componentes que se comercialicen y pacten en el contrato; esto con el objetivo de aclarar de antemano dudas del cliente respecto a estos puntos y que puedan afectar la buena relación comercial entre las partes. Esto también influirá de manera positiva en el proceso constructivo del proyecto, al conocer las especificaciones necesarias para el buen ejercicio de la construcción e instalación del sistema unitizado de muro cortina.

3.1.3. Contratos y especificaciones por parte de los proveedores

Esta puede ser una etapa posterior a la de especificaciones del proyecto y contrato, ya que al conocer todas las solicitudes por parte del cliente se pueden pactar los requerimientos, materiales, insumos y servicios necesarios para cumplir con lo acordado. Por lo tanto, es importante aclarar que la relación comercial entre los proveedores y la compañía (Extralum) debe existir y demostrarse como sólida; incluso en un tiempo prudencialmente aceptable antes de realizar el ofrecimiento al cliente. Esto porque una buena relación comercial con los proveedores garantiza el correcto y buen funcionamiento del suministro y la proveeduría.

Al respecto, todos los acuerdos a los que se llegue con los proveedores deben ser documentados a través de planos, firmas de fichas técnicas, correos electrónicos y reuniones con sus respectivas minutas copiadas a todos los interesados. Esto debe ser una base para poder crear un contrato comercial del cual se garantice el cumplimiento del material, insumo o servicio

pactado, y que se encuentre dentro de los tiempos establecidos. Además, se deben atender todas las recomendaciones de los proveedores.

Por otra parte, generalmente estos sistemas son creados y diseñados en zonas climáticas muy distintas a las de Costa Rica, por lo que toda especificación debe ser revisada para asegurar que pueda ser cumplida o que satisfaga las condiciones de la zona del proyecto. Además, todo lo relacionado con unidades de medida debe conceptualizarse según sea la costumbre del país, ya que si no se pueden adaptar a los usos locales se generaría confusión. A su vez, es muy importante realizar un listado de artículos con el proveedor, con el cual se puedan homologar términos que sirvan para diferenciar los materiales una vez que sean utilizados en la fabricación, construcción e instalación del sistema unitizado de muro cortina. Por otro lado, deben definirse los términos de exportación- tales como seguro de traslado de cargas, navieras, plazos de tránsito, términos aduanales y relacionados- para tener éxito en la importación de las cargas. Todo tiempo que se pierda puede comprometer el tiempo de entrega del proyecto.

3.1.4 Cronograma del proyecto

En términos de instalación del sistema unitizado de muro cortina, el tiempo es un pilar para el cumplimiento del objetivo u objetivos establecidos. Es por eso por lo que la planificación del trabajo, así como el de recibo de materiales, insumos y servicios, debe ser estrictamente cronometrado. Justamente, a través de un cronograma de trabajo se pueden establecer el tiempo, los recursos, el costo y el personal responsable para el proyecto. Este cronograma debe ser revisado día a día por el director del proyecto, pues le servirá como punto de referencia para sus reuniones con todos los involucrados, llámese proveedores, clientes, personal en obra, fábrica y demás

interesados. Como es de esperarse, el tiempo y su administración tendrán consecuencias económicas positivas o negativas, ya que los incentivos, pago de salarios, multas, pagos por el cliente y costo de material de reposición, material dañado o perdido están estrechamente relacionados con el tiempo.

Asimismo, dentro del cronograma deben también estimarse las condiciones climáticas al momento de la instalación, proyección sociopolítica de la zona o país, mano de obra disponible y contratiempos. De la misma forma, se deben establecer las jornadas semanales y cuántas horas extras se pueden requerir por semana, todo para ser incluido dentro del cronograma de trabajo.

Para estos fines, existen herramientas modernas de las que puede disponer el ingeniero o el director de proyectos para la creación y administración de cronogramas. El mercado ofrece diferentes *softwares* especializados a diferentes precios, los cuales pueden ser valorados según la magnitud del proyecto. Lo importante a resaltar es que estos deben ser lo más automatizados posibles, pues lo destacable del cronograma es que es una guía, cuya gestión y administración optimiza el manejo del tiempo.

3.1.5 Lista de materiales, insumos y servicios

La dirección del proyecto debe preparar y conciliar las listas de materiales, insumos y servicios requeridos para el proyecto. En este sentido, debe gestionar y coordinar que estos se encuentren en el proyecto a la hora y fecha requerida según el cronograma. Esto debe generar también un detalle del flujo financiero que es requerido en cada etapa, con el fin de garantizar el buen ejercicio del proyecto, de tal forma que brinde los beneficios esperados para todas las partes.

Se deben tomar en cuenta, además, los servicios relacionados con fabricación, transporte y descarga.

También, es importante tener en consideración qué tipos de servicios dará la empresa constructora encargada de la parte estructural del proyecto. A su vez, debe tomar en cuenta qué servicios y bajo qué franjas horarias estarán operando las grúas del proyecto, esto para poder planificar el recibo de paneles en obra.

De la misma forma, se deben planificar las condiciones ambientales de trabajo seguro- sistemas de anclajes, andamios, cables o líneas de vida, equipo de protección personal, condiciones de luz, viento y lluvia presentes a la hora de la instalación- y los implementos de seguridad que serán necesarios, tanto los requeridos por la dirección general del proyecto como los sugeridos para la instalación del sistema unitizado de muro cortina.

Todo lo anterior debe ser documentado y divulgado a los interesados según corresponda, lo cual es responsabilidad de la planificación y coordinación del proyecto.

3.1.6 Revisión de los rendimientos por piso

La dirección o coordinación del proyecto debe planificar y establecer dentro del cronograma la revisión de utilidad obtenida por piso, lo cual se recomienda realizar después de la entrega de cada piso al cliente. Lo que esto asegura es que se esté logrando la rentabilidad esperada del proyecto y, a su vez, realizar ajustes o mejoras para los siguientes pisos, siempre con el objetivo de reducir costos, ya sea por lecciones aprendidas o ideas nuevas. Esto debe quedar documentado para la posterior consulta en caso de seguimiento a los planes establecidos, o bien, para resolver nuevos contratiempos o problemas.

3.2. Producción y traslado de materiales y componentes al proyecto

3.2.1 Producción

Debe suministrarse a Producción los planos, fichas técnicas, equipo y maquinaria necesarios para la correcta fabricación de los paneles y componentes del sistema unitizado de muro cortina. Deben pactarse, también, los tiempos de entrega de los componentes para ser despachados a obra. Producción debe asegurar el debido control de recibo de materias primas, así como el control de las cantidades recibidas, cantidades utilizadas y cantidades de desperdicio. Esta información debe ser del conocimiento de la dirección del proyecto, dado que un no cumplimiento de alguno de estos puntos compromete la entrega del trabajo, por lo que la empresa puede verse afectada económicamente por no poder cumplir los acuerdos establecidos con el cliente.

Por otro lado, Producción debe garantizar la correcta aplicación de silicón en el envidriado de los paneles, respetando las pruebas de desenvidriado. Estas pruebas deben realizarse a 1 unidad de los primeros 10 paneles producidos, 1 unidad de los siguientes 40 paneles fabricados, 1 unidad de los siguientes 50 paneles producidos y, luego, 1 unidad de los siguientes 100 paneles fabricados (Dow, 2018). Además, debe tener sus propias pruebas de secado para el silicón, como parámetro para decidir cuándo se moviliza un panel.

3.2.2 Transporte

Se recomienda contar con transporte masivo de los paneles y componentes del sistema unitizado de muro cortina para disminuir los costos operativos. Además, se debe organizar en todo momento las fechas y horas de entrega, según lo establece el cronograma. Asimismo, se debe

coordinar con las grúas del proyecto la disponibilidad de descarga del equipo para aprovechar al máximo los recursos y no incurrir en costos logísticos adicionales.

Asimismo, es oportuno revisar con la dirección de la obra las especificaciones técnicas de la grúa del proyecto para verificar que cumpla con la capacidad de levante requerida, dado el peso de los paneles y configuración estructural de las canastas. Una vez definido y acordado esto, se pueden usar los equipos, de manera tal que funcionen para el traslado y colocación en obra. A su vez, se debe tener en cuenta la optimización de movimientos de la grúa, garantizando que en cada ciclo pueda subir canastas con producto y bajar canastas vacías del edificio al camión para que esta pueda retirarse sin contratiempos del proyecto y abrir espacio a otros transportes relacionados con la obra.

Ahora bien, si el proyecto se ubica en el casco urbano, es recomendable indagar si existen restricciones de tránsito vehicular para camiones pesados con carga articulada, según franjas horarias, ya que esto influirá en los tiempos de entrega y, por ende, en los tiempos pactados con la grúa de proyecto para realizar la descarga.

En relación con estos puntos, Extralum se vale de su experiencia con el traslado de materiales relacionados con cerramientos, ventanería y fachadas para diseñar sus propias canastas de traslado de paneles. Estas canastas están conformadas por elementos de acero recubiertos de caucho con el objetivo de evitar quebraduras, golpes, rayas o similares al material trasladado.

3.3 Control y gestión de la operativa en el proyecto

El manejo correcto de los elementos, materiales, insumos y paneles dentro del proyecto garantizará que la instalación del sistema unitizado de muro cortina sea exitosa. Anteriormente se había

definido la creación de una lista de materiales, insumos y componentes del sistema, esta lista debe ser administrada por la bodega del proyecto. Esta bodega, liderada por la dirección, debe ser administrada de manera eficiente y a un costo aceptable. Es común en la naturaleza operativa de las bodegas el desperdicio en la gestión de materiales, insumos o relacionados, ya que en ocasiones, por un temor a quedar desabastecidos, la bodega solicita material abundante con el fin de no detener el proceso de instalación del sistema unitizado de muro cortina, lo cual en su esencia es lo esperado en un sistema de almacenamiento; pero no siempre es lo más rentable para los costos de la instalación. Por tanto, se sugiere- como parte de la administración del proyecto- contar con un control basado en una tabla de cálculo que permita estimar por artículo cuál es la cantidad requerida por piso y, de este modo, definir un almacenamiento máximo, con la finalidad de establecer pedidos no excesivos; pero que tampoco sean insuficientes y atenten contra el desarrollo del proyecto.

También, se debe garantizar que la cantidad de insumos- como radios de comunicación, equipo de impresión y procesadores- que se estimen para el proyecto sean suficientes y se encuentren en buen estado, además que cuenten con acceso a red para facilitar el contacto con el exterior. Todo esto si no se planifica puede desfavorecer el buen ejercicio de la instalación del proyecto.

A la vez, el control de instalación debe llevarse por panel instalado y piso. Como se había mencionado anteriormente, cada configuración de panel- según su ubicación dentro de la fachada- esta categorizado por un estilo y configuración particular. Se le debe agregar una letra para crear un control alfanumérico, este control se puede llevar en una hoja de cálculo convencional donde se proceda a marcar los paneles instalados y así llevar el control del avance de la instalación. Este

avance debe revisarse contra cronograma para conocer si se está cumpliendo con los tiempos establecidos.

3.4 Construir la geometría del sistema de anclajes

El proyecto, en su etapa de diseño, creó planos de referencia que deben ser leídos por la dirección del proyecto para definir junto a su equipo de trabajo dónde colocar el sistema de anclajes para el sistema unitizado de muro cortina. Para ello, deben consultarse los planos nombrados “plantas de trazo”. El diseñador tiene que proporcionarlos por cada piso a instalar, esto según los requerimientos del cliente. Las líneas de referencia para colocar los anclajes Hilti HAC-40 91/300 F serán los ejes de referencia del plano estructural para las columnas o cualquier eje válido para el proyecto, los cuales deben ser marcados y puestos en obra por parte del constructor o cliente. A partir de estos ejes se sitúa la distancia medida desde el eje hasta el centroide del HAC-40 91/300 F. No precisamente cada eje coincidirá con el centroide del anclaje HAC-40 91/300 F, sino más bien las cotas saldrán de este eje hasta el centro de eje de cada anclaje, esto por toda la longitud del perímetro donde se instalará la fachada.

Los anclajes HAC-40 91/300 F deben colocarse con el borde del canal contra el encoframiento, ya que una vez que el concreto sea colado y al retirar el encoframiento, el canal debe quedar expuesto al exterior del borde, con la libertad de retirar la espuma temporal llamada “LDPE Foam”, cuya función es solo proteger el canal de invasión de materiales o incrustaciones. El encoframiento debe garantizar la suficiente impermeabilidad para impedir pérdidas de concreto. El anclaje HAC-40 91/300 F debe ir totalmente embebido en el concreto, a excepción de su canal que debe ir expuesto al exterior, esto quiere decir que el constructor debe tener en cuenta a la hora

de colocar el concreto que este posea los aditivos necesarios, el vibrado necesario o ambos, para que mediante esta técnica el anclaje HAC-40 91/300 F pueda ser rodeado su cuerpo y anclas y queden firmemente adheridos como un solo cuerpo al concreto.

Asimismo, el encofrado debe tener un correcto arriostramiento que evite desplazamientos o movimientos del anclaje cuando se está colando el concreto. El anclaje HAC-40 91/300 F debe adherirse al encofrado mediante clavos, en algunas ocasiones pueden colocarse varillas de acero que junto alambre acero den soporte al anclaje. Las tolerancias del concreto terminado serán: - 5mm + 10mm en la sección de cualquier elemento; para salidas de borde de losa y trabes se permite una tolerancia de ± 12 mm. En el alineamiento horizontal y vertical de aristas y superficies de losas y vigas se permite una tolerancia en todo lo largo de ± 10 mm. Estos datos deben ser confirmados por la empresa constructora estructural. Además, estas tolerancias deben ser verificadas después de haber desencofrado. Las tolerancias del concreto deben ser previstas y revisadas para cada proyecto, ya que poseen relación directa con la capacidad de ajuste que tenga el sistema unitizado de muro cortina, por lo cual su posicionamiento estará estrechamente relacionado con las tolerancias del concreto.

Por su parte, las cotas para el anclaje de losa están referidas a borde exterior de la losa y lecho superior de esta, sin acabado en piso. La profundidad del empotramiento efectivo del anclaje HAC-40 91/300 F debe ser de 91 mm desde el borde exterior de losa. La longitud del canal será de 300 mm. La distancia entre anclas será de 250 mm, las anclas son las secciones del anclaje HAC-40 91/300 F que salen del canal y se profundizan dentro de la losa. El ancho del canal es de 41 mm y su altura es de 28mm. Para la colocación del anclaje HAC-40 91/300 F se sugiere marcar en el encofrado la posición del eje de referencia previamente puesto en obra por el cliente o constructor estructural, esta marca debe coincidir con el eje central o centroide del anclaje HAC-

40 91/300 F. Se debe verificar desde el eje o nivel colocado, puede ser con una cuerda, la distancia o altura del anclaje HAC-40 91/300 F colocado, este debe cumplir una distancia de 110 mm desde el lecho superior de la losa terminada sin acabado de piso. A partir de esta distancia, se debe medir la distancia hacia los bordes, a cada borde una distancia de 150 mm. Si se trata de anclajes en esquinas, cada anclaje HAC-40 91/300 F debe instalarse a 50 mm del borde de losa. Se puede verificar el nivel del anclaje utilizando un nivel de gota, colocando este de manera perpendicular a la cinta métrica, la cual debe estar apoyada en cada sección del anclaje HAC-40 91/300 F a verificar. Se recomienda hacer como mínimo 3 verificaciones, dos en los extremos y una en el centro.

Lo anterior puede facilitar la verificación de la correcta posición del sistema de anclajes, ya que su colocación será entre el acero estructural de refuerzo de losa, trabe o columna y el encofrado y según la altura del piso correspondiente, por lo que la aparente comodidad del instalador puede ser muy limitada. Una vez el concreto ha fraguado, y retirado el encofrado, se debe verificar la posición y acabado de los anclajes HAC-40 91/300 F embebidos al concreto con el borde de canal expuesto hacia el exterior de losa. La espuma temporal llamada “LDPE Foam” debe retirarse a la hora de la instalación. Esta es de fácil manipulación, ya que solo se toma una pestaña marcada en la espuma y se jala: la espuma saldrá del canal sin mayor problema. La colocación del sistema de anclajes queda terminada y se pasa a la siguiente etapa de instalación para el sistema unitizado de muro cortina.

3.5 Plataformas o bahías y grúas de instalación

La logística de la colocación de paneles en obra hace surgir la necesidad de crear bahías por piso para el recibo de las canastas con paneles provenientes de fábrica. La lógica de las bahías es que sirvan de plataforma saliente por piso y que, al ser empotradas entre la losa de piso en interés y la losa superior, sirvan de soporte para que la grúa coloque las canastas con los paneles y, de este modo, puedan ser trasladados hacia el interior del piso y colocados en el punto de almacenamiento designado.

Las bahías deben tener dimensiones de 2000 mm, desde borde de losa hacia el exterior y 5000 mm paralelo al borde de losa. Tienen que ser capaces de soportar las cargas vivas aportadas por las canastas y operarios, así como las que proporcione el peso de las canastas cargadas con paneles que van desde los 250 kg hasta los 350 kg, contemplando hasta seis paneles por canasta, además de las cargas muertas propias de la bahía. La estimación y diseño de la estructura de la bahía debe estar a cargo de un ingeniero civil que garantice la seguridad en todo momento.

Ahora bien, para el levantamiento y colocación de los paneles, se debe utilizar una grúa. Se recomienda al menos tres grúas para el avance de la instalación. Estas son grúas totalmente distintas a las propias del proyecto completo, las cuales atienden las necesidades generales y sobrepasan por mucho las dimensiones de la grúa de instalación que se está detallando en este estudio. Se debe verificar que la grúa tenga la capacidad de levante requerido para el peso de los paneles a instalar, dado que estos vehículos funcionan a partir de un centro de gravedad y un brazo de palanca, dependiendo de la posición de la carga y su brazo de palanca, la capacidad de la grúa respecto a la carga puede ser suficiente o ser excedida, al suceder esto último se puede dar el vuelco y provocar pérdidas materiales y humanas.

Por consiguiente, la dirección del proyecto debe escoger con cuidado el equipo a utilizar; para ello, debe contar con la ficha técnica de la grúa y verificar que, bajo los ángulos de operación para la instalación, la grúa siempre pueda soportar las cargas y garantizar la estabilidad en todo momento. Es de mayor beneficio que la grúa sea alimentada por fuentes eléctricas portátiles o baterías con una duración aceptable para el funcionamiento durante toda la jornada laboral. A propósito, se deben tomar en cuenta los periodos de carga y los ciclos de operación de la grúa para alcanzar las metas de instalación diarias. Cabe señalar que se deben designar al menos tres personas responsables para la operación de la grúa, las cuales deben contar con la capacitación debida y haber leído los respectivos manuales de uso y seguridad.

3.6. Verificación y preparación física de los paneles

Los paneles, una vez instalados, forman una parte celular de la completa fachada del sistema unitizado de muro cortina, por lo cual es importante que las medidas, configuración y estado físico aceptable de los materiales sean los correctos, y que no tengan la necesidad de ser reparados o reemplazados una vez que se encuentren instalados por causa de no haber revisado estos aspectos.

Además, una persona con buena visión que se encuentre a un metro de distancia del vidrio, debe verificar defectos en este, como puntos, burbujas o rayas. Son permitidos defectos menores a los 75mm en caso de rayas, o puntos y burbujas con una distribución de un defecto por cada 7 metros cuadrados de vidrio. Esto en conformidad con la norma *ASTM C-1036-11 Standard Specification For Flat Glass*. Debe contar con el filme protector. Por su parte, el aluminio debe

encontrarse libre de rayas y los acabados deben coincidir con la totalidad del panel y con la totalidad de paneles circundantes.

A los paneles se les debe instalar la lámina de lana mineral marca Thermafiber provista por Owen Corning, marca que certifica la protección contra fuego. La lana mineral debe colocarse en la parte superior e inferior del panel con el objetivo de que sirva de barrera antifuego entre los pisos. Cabe mencionar que la lana mineral debe instalarse antes de que el panel sea colocado en su posición, ya que colocarla una vez instalado el panel es complejo por su difícil acceso y puede que su instalación no cumpla con los resultados esperados. La lana mineral debe cubrir por completo el área; es decir, no pueden quedar vacíos.

Por otro lado, a los paneles se les debe instalar, antes de colocar en su posición final, el ancla hembra para que durante su instalación solo se dé un acople con el ancla macho y se evite algún desprendimiento de piezas en la instalación, o bien, daños en el sistema por una mala colocación. Es importante resaltar que, dentro de lo posible, aquellos trabajos de detalle o que puedan comprometer la integridad del sistema tienen que ser realizados mientras el panel aún no se ha instalado y se encuentre en posición horizontal, como es el caso de lo ya mencionado sobre la instalación de la lana mineral y el ancla hembra. El ancla hembra debe ser sujetado y dar conexión al panel a través del perfil porta tuerca, especialmente diseñado para la transmisión de cargas del panel al sistema de anclajes, los cuales a su vez transmiten las cargas a la superestructura.

3.7. Colocación de paneles y posicionamiento final

El primer paso a seguir es encender la grúa y asegurarse de que cuenta con la carga suficiente para no detener su operación durante la instalación. De igual forma, debe asegurarse la viga de elevación a la grúa. Esta viga de elevación es un elemento metálico con capacidad de soportar cargas en la propia longitud del elemento, transmitiendo las cargas a un conector de gancho y este, a su vez, a la grúa. La viga debe ser certificada capaz de resistir cargas repetitivas sin deformarse. Este elemento puede conectarse a la carga por medio de cables, cadenas o eslingas, según lo que la dirección del proyecto considere de mayor seguridad y utilidad.

Una vez el panel se encuentre listo para ser instalado, se debe acercarse al sitio de colocación y su parte inferior colocarse en uno de los carritos diseñados para la instalación, mientras que la parte superior debe sujetarse a la viga de elevación, la cual será sostenida por la grúa de instalación. Estos carritos son estructuras básicas rectangulares provistos de ruedas, su función es la de ayudar a cambiar de posición al panel. Mientras la grúa va elevando la sección superior sujeta con la viga de elevación, el panel se mueve sobre el carrito como un patín, permitiendo al paño tomar verticalidad poco a poco. Todo esto en referencia al manejo de cargas suspendidas. Lo fundamental en este procedimiento es asegurar que el panel cuenta con todo lo necesario para colocarlo en su posición final, la posición de fachada, y que durante este movimiento el panel no sufra daños.

Previo a este movimiento o paso, debe colocarse adentro del anclaje HAC-40 91/300 F, dos tornillos cabeza de martillo HBC-C 8.8, la distancia entre estos tornillos tiene que ser de 172 mm, siempre dentro la zona comprendida entre las anclas que se insertan dentro de la losa, nunca en los extremos. La cabeza del tornillo permitirá el ingreso al canal del anclaje en uno de los sentidos; una vez que estos ingresen al canal del ancla, deben girarse 90 grados. Cuando el giro se

dé, es necesario evaluar si el tornillo se mantiene dentro del canal, para lo cual debe jalarse hacia el exterior, si el tornillo no sale significa que se encuentra en la correcta posición.

Como paso siguiente se debe agregar el refuerzo ancla al ancla macho. Este refuerzo, según se describió anteriormente, es una placa que da soporte a las arandelas colocadas entre el ancla macho y la tuerca; luego se procede a colocar una arandela plana y una arandela de presión. Posteriormente se debe colocar la tuerca y ejercer un torque de instalación de 25 N-m, según diseño estructural. Con esto será posible contar con el sistema de anclaje listo, el cual será el encargado de transmitir las cargas a la superestructura.

El siguiente paso de instalación para el sistema unitizado de muro cortina es el acople o unión entre el anclaje hembra y el sistema de anclaje compuesto por el anclaje HAC-40 91/300 F, el tornillo HBC-C 8.8, el refuerzo ancla, sus arandelas y la tuerca debidamente ajustada, esta última debe estar al menos dos hilos por debajo de la salida del tornillo HBC-C 8.8 como medida de seguridad. Esto se obtiene a través del movimiento del panel mediante la grúa y la viga de elevación, así, se busca sacar el panel del piso donde se almacena horizontalmente hasta alcanzar su posición vertical fuera del edificio, dicha operación pretende acoplar o unir el anclaje hembra al anclaje macho. El anclaje hembra, una vez acoplado, deberá ser ajustado con su propio tornillo de ajuste, este tornillo nunca debe salir del borde del ancla debido a que, por pérdida de área efectiva de contacto, no se podrán transmitir las cargas de forma correcta, lo cual puede provocar un debilitamiento en el sistema de fijación del panel a la superestructura.

Según los estudios previos, son permisibles ciertas tolerancias en la instalación, esto garantiza la seguridad del sistema, el buen aspecto y la continuidad de la instalación. Por tanto, el siguiente paso es poder controlar estas tolerancias respecto a cada panel instalado y la revisión, adelantado del efecto que pueda tener la instalación del panel respecto a los demás paneles por

instalar, sobre el mismo piso y por ende el efecto que va a tener en los paneles a instalar en el piso siguiente. Estas verificaciones pueden tomarse como una rutina obligatoria de un trabajador capacitado que se encuentre la totalidad del tiempo de instalación en obra, observando y revisando estas medidas. Se han encontrado paneles instalados en los cuales la revisión de estas referencias no consideró el efecto de cambio que puede tener una losa de un piso a la losa del piso siguiente, lo cual llevó al ajuste de los paneles a su límite. Si esto no se verifica a tiempo, puede comprometer la instalación, ya que si no cumple con las tolerancias establecidas puede que requiera el retiro de los paneles de la fachada por desinstalación, comprometiendo por completo los tiempos de entrega establecidos en el cronograma

A este respecto, puede utilizar para dichos fines de verificación de cotas, equipos como niveles láser de varios puntos para poder referenciar la instalación, su localización, plomo y nivelación respecto a los niveles y cotas suministradas por el cliente o constructor estructural. Estos niveles generalmente están marcados cerca del borde de las losas y en las columnas, marcando generalmente un metro desde losa sin piso terminado hasta el punto marcado. Todo esto será referencia para la revisión por cada panel instalado. Los parámetros los encontramos a continuación: respecto a su localización, del sistema unitizado muro cortina, la desviación máxima de la indicada en los planos en una longitud de 3,66 metros es de 7mm. La desviación máxima de la indicada en planos en la longitud total es de 26mm. Para plomo y nivel, la desviación máxima permitida para un plomo en una longitud de 3,05 m es de 7mm. Para un plomo en una longitud de 12,20 m, la desviación máxima debe ser de 14mm. La desviación máxima de nivel en una longitud de 3,66 m es igual a 8mm. La desviación máxima de nivel en una longitud de 12,20 m es igual a 16mm.

Respecto a la alineación de elementos colindantes en línea, se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones: cuando dos elementos están separados por un espacio, una saliente o un elemento en el otro sentido no mayor de 13 mm, la tolerancia de alineación es igual a 4mm; cuando dos elementos están separados por un espacio, una saliente o un elemento en el otro sentido entre 13 mm y 25 mm, la tolerancia de alineación es igual a 8mm; cuando dos elementos están separados por un espacio, una saliente o un elemento en el otro sentido mayor de 25 mm, la tolerancia de alineación es igual a 16mm. Todas estas tolerancias deben comprobarse en todo momento durante el proceso de instalación.

Cabe detallar que la continuidad de la instalación tiene que ver con un aspecto característico del sistema unitizado de muro cortina. La fijación de cada panel solo se da en la parte superior de cada panel a través del sistema de anclaje embebido en el concreto, las anclas macho y hembra y componentes complementarios antes mencionados; no obstante, la parte inferior del panel nunca se apoyará a ningún punto.

Dentro de las configuraciones del piso 9 existen paneles que cuelgan y otros que su sello inferior se da sobre la losa. En cambio, los paneles del piso 10 se acoplan sobre los paneles del piso 9, pero nunca se apoyan. En consecuencia, al momento de la instalación del panel en su perfil de marco superior se deben colocar elementos de sellado que garanticen la integridad del ambiente interno, impidiendo que se filtre agua, viento o ruido; es decir, debe existir un sello hermético. Ahora bien, este sello nunca puede ser visto como un apoyo estructural del panel que acopla en la parte superior del panel: nunca se debe apoyar, solo garantizar el cierre hermético.

Al respecto, una técnica que se puede utilizar es crear una calza con un espesor constante y conocido, que alcance la distancia entre panel inferior y superior que son requeridos para que exista hermeticidad y no apoyo estructural; en otras palabras, que la carga no sea distribuida de un

panel a otro en sentido vertical, ya que para esto fue diseñado el sistema de anclajes antes mencionado. En relación con la instalación del panel, antes de que se coloque herméticamente un panel en su parte superior, se deben cumplir una serie de pasos que se mencionan a continuación.

3.8. Empaques, sellado de bordes, revestimientos y estanqueidad

Como ya se ha mencionado, el sistema unitizado de muro cortina funciona como una barrera que aísla y protege el edificio de la intemperie o del ambiente externo, manteniendo la transmisión de luz y creando un control ambiental idóneo para las actividades humanas que se llevarán a cabo dentro del edificio. Es por esto que el sistema unitizado de muro cortina debe sellar los espacios entre paneles con empaques y recubrimientos de silicón.

Con ese fin, debe colocarse empaque EPMD en todo el borde superior de los paneles, este borde contiene un perfil de aluminio donde se puede agarrar el empaque en forma lineal por toda la longitud de los paneles instalados por piso, este empaque funcionará como elemento de hermeticidad entre los paneles de un piso a otro. Por otro lado, entre la unión de panel con panel en alguno de sus costados, se debe crear un sello que permita la estanqueidad. Primero se coloca un angular de aluminio que cubra los dos paneles en unión, se coloca una membrana de silicón que cubra la unión de los dos perímetros de los paneles. Esta membrana se coloca en los dos bordes que se encuentran divididos por el borde que agarra el empaque perimetral. Una vez colocadas las membranas, se procede a fijarlas y sellarlas contra el aluminio con silicón, según el recomendado para el proyecto. Además, se debe colocar el silicón y no tocar al menos por 3 horas, luego se procede a utilizar cubrerías para cubrir las zonas selladas al menos por 7 días hasta 14 días. La adhesión total será dentro de 14 a 21 días después de la aplicación. Los paneles ya tienen instalados

un empaque EPDM estilo burbuja en sus costados, el cual dará hermeticidad al sistema unitizado de muro cortina.

Posteriormente, una vez que se tengan colocados todos los paneles del piso, se procede a rellenar los espacios comprendidos entre el borde de la losa y la fachada unitizada de muro cortina. Este relleno se realiza con lana mineral marca Thermafiber provista por Owen Corning con el objetivo de crear protección anti-fuego, siendo esta compañía certificada para el control del fuego. Luego, se procede a cubrir la lana mineral con el sellador anti-fuego Hilti CFS-SP WB, esto a través de una colocación con espátula para lograr un recubrimiento mayor, el tiempo de curado será de 24 horas en condiciones de humedad del 50%. Posteriormente, una vez que este se encuentre curado y seco, se debe colocar perfilería de aluminio con estilo cenefa, que cumplirá el papel de rodapié, cubriendo la división fabricado con la lana mineral y el sellador anti-fuego Hilti CFS-SP WB.

3.9 Acabados y entrega de piso

Algunos de los paneles, como parte de su diseño, tienen acabados internos con lámina de aluminio compuesto. Se debe verificar que las medidas del aluminio compuesto sean las correctas, ya que el corte de estas no es recomendable hacerlo en la obra, pues existen sierras especializadas para el corte de láminas de aluminio compuesto, las cuales generalmente se encuentran en fábrica.

Si se han cumplido 60 días desde la instalación de los paneles, se debe retirar el filme protector de los paneles. Una vez realizado esto se podrá apreciar desde el exterior el hermoso acabado del sistema unitizado de muro cortina.

Luego, se debe limpiar el área. Asimismo, se debe asegurar que no existan filtraciones de agua o viento y que los acabados sean los esperados por el cliente. Si existe alguna filtración se debe considerar que el defecto solo va a estar presente o es por causa del panel que muestra la filtración, ya que esto es una característica propia del sistema por su naturaleza modular. Finalmente, se procede a realizar la entrega de piso, con los planos aprobados previamente por el cliente en caso de que existan dudas sobre el diseño o acabados para el piso. Además, se debe confeccionar un documento de entrega conforme a lo pactado en el contrato para el piso. De cumplirse esto, la instalación quedará por concluida.

3.10. Mantenimiento y limpieza

Aunque uno de los beneficios del sistema unitizado de muro cortina es su poco mantenimiento, siempre es necesario un mantenimiento mínimo. Recapitulando los componentes del sistema, estos son: láminas de aluminio compuesto, perfiles de aluminio y vidrio. Según recomienda Extralum en sus fichas técnicas 2020, para la limpieza de las secciones de aluminio compuesto debe utilizarse detergentes neutros (ph 7,0) y agua, únicamente. Se deben utilizar paños suaves o esponjas. La limpieza no se debe hacer cuando los paneles están sometidos a temperaturas elevadas. Para el área urbana, se recomienda una limpieza por año.

Respecto a la limpieza de perfiles de aluminio, se recomienda solo utilizar agua limpia. En el caso de que la suciedad persista, se procede a utilizar detergentes neutros (ph 7,0) con esponjas o cepillos suaves, siempre iniciando verticalmente por la parte más alta a la más baja. Ahora bien, si la suciedad continúa se pueden utilizar esponjas de una mayor dureza, o bien, soluciones a base de alcohol para eliminar grasas o silicones. Esto último no puede hacerse si el perfil es pintado;

sin embargo, generalmente el perfil de aluminio del sistema unitizado de muro cortina es anodizado. La limpieza de los perfiles de aluminio no tiene un periodo establecido.

Por su parte, para la limpieza del vidrio, se debe considerar nunca hacerlo cuando el vidrio está expuesto directamente a rayos solares. Se debe realizar la limpieza con agua jabonosa para suavizar los residuos o suciedad presentes, luego se limpia con un paño suave o un escurridor para vidrios; posteriormente, se enjuaga con abundante agua. El vidrio se tiene que secar completamente. Todo esto dará una buena presentación de la fachada y también extenderá la vida útil de la estética del sistema unitizado de muro cortina.

Si se debe cambiar un vidrio, es posible desarmando el panel en su interior, colocando una persona que pueda manipular el vidrio desde el exterior de la fachada retirando el vidrio hacia el interior del edificio. Para colocar el nuevo vidrio, es necesario calzarlo mientras los selladores de silicón alcancen su secado, esto a través de calzas llamadas chapetas. Una vez secado el silicón se retiran las calzas y se procede con el armado del panel a su forma original.

3.11 Seguridad laboral en la instalación y otras etapas del proyecto

Este punto en revisión debe ser considerado en toda etapa del proyecto, y de especial interés por todos los integrantes del equipo de trabajo. La mayor parte de la instalación del sistema unitizado de muro cortina se hace mediante trabajo en alturas, razón de peso para garantizar la seguridad de los trabajadores involucrados en el proyecto. Al respecto, el sistema a utilizar debe ser el “Sistema personal de detención de caídas”, según lo especificó *Latino Worker Safety Center, OSHA Compliant safety training*, en el año 2015.

Este sistema previene la caída de un trabajador desde un nivel alto. Lo componen anclajes, conectores, arnés de seguridad, dispositivos de desaceleración, cuerda salvavidas o herramientas que combinen estos elementos (*Latino Worker Safety Center, OSHA Compliant safety training, 2015*). De este modo, toda persona que se presente al piso de instalación o instalado debe colocarse su arnés con ganchos conectores desde su llegada al punto de encuentro en la obra. Además, debe poseer, en todo momento, casco con sujetador de mandíbula, zapatos de seguridad y pantalones largos.

Asimismo, inmediatamente la persona llegue al destino, debe ubicar la señalización y la cuerda salvavidas o línea de vida para sujetarse a través de los ganchos conectores a esta. Solo así podrá desplazarse por los bordes del edificio donde se ubica la instalación del sistema. De la misma manera, en caso de que una persona realice una inspección, esta debe contar con todo el equipo mencionado, incluso, los visitantes. Es oportuno señalar que, en este contexto, no son permitidas las bromas en el lugar de trabajo.

Respecto a la operación de la grúa, se debe garantizar el sistema de apagado de emergencia. La persona que la conduce debe estar debidamente capacitada y contar con la experiencia para operarla. Al momento de trasladar las grúas por el edificio se tiene que acompañar con una persona que dé instrucciones, tanto a quien conduce la grúa como a las personas que se encuentran en su camino. Por lo tanto, en todo momento se debe observar el contorno para identificar riesgos y peligros. Asimismo, cuando se estén moviendo las canastas con paneles o paneles individuales se deben tomar en cuenta también estas normas de seguridad.

A su vez, durante la instalación de los paneles, se debe evitar que alguna parte del equipo o ropa quede atrapado con el panel, carrito o cables de levantamiento. Por consiguiente, cuando se realicen descargas de material debe acordonarse las áreas de descarga y recibo con conos de

seguridad para delimitar el paso de otras personas. También, se debe siempre revisar el equipo de seguridad en personal y su conexión en parejas, permitiendo que el compañero indique el estado del equipo de seguridad laboral presente en el sitio y el que porta cada trabajador. Del mismo modo, antes de iniciar la jornada laboral se debe verificar el estado y la correcta sujeción de las líneas de vida. En relación con estos puntos, las capacitaciones y concientización deben ser parte del cronograma de trabajo del proyecto.

Por otro lado, nunca es permitido, y debe ser fuertemente sancionado, que una persona se presente a trabajar en estado de ebriedad, bajo la influencia de psicotrópicos, o bien, medicamentos con efectos secundarios contraproducentes.

CAPÍTULO 4. PROPUESTA. MANUAL GRÁFICO

4.1. Traslado de materiales

Se debe contar con canastas diseñadas para el traslado de paneles a obra desde fábrica.

Estas canastas deben tener las siguientes dimensiones:

- 3000 mm de largo.
- 1240 mm de ancho.
- 1648 mm de alto.

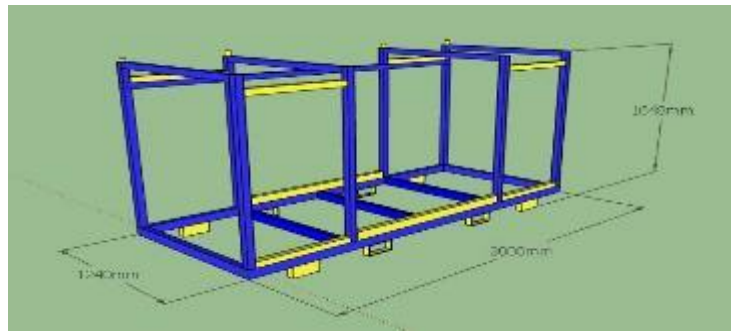


Ilustración 30. Cotas de canastas. Fuente: Extralum (2019)

Esto permitirá el traslado de hasta 6 paneles, con pesos que van desde los 250 kg hasta 350 kg por panel. Debe contemplarse estos pesos a la hora del diseño de las canastas. El diseño de las canastas es estructural, por lo que tiene que considerarse la intervención de un profesional en estructuras para el diseño de estas.

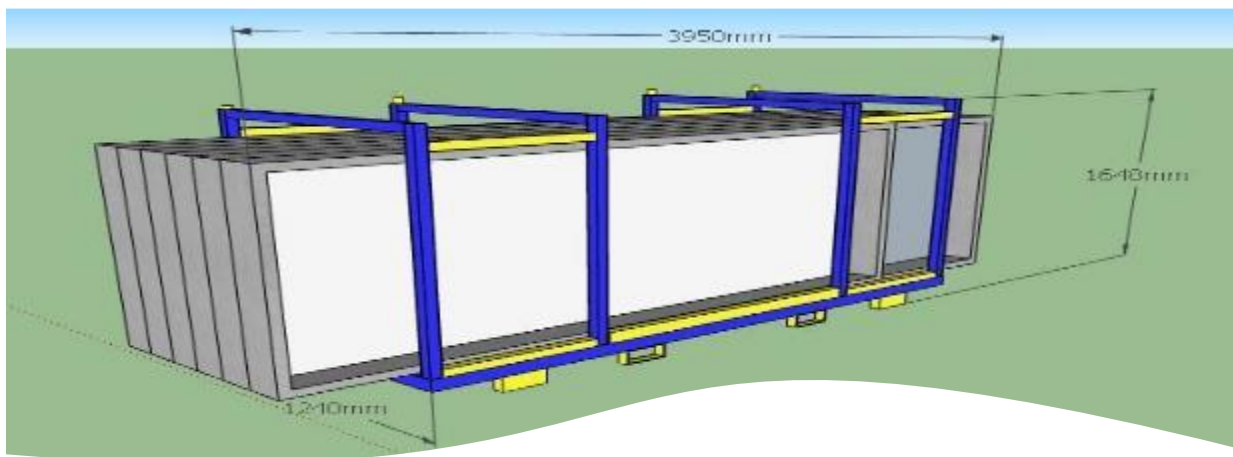


Ilustración 31. Detalle vista cantidad de paneles. Fuente: Extralum (2019)

Se debe coordinar con las grúas del proyecto las fechas y horas de cuando se requiere descargar paneles del transporte a la obra. Esta descarga será de canastas, las cuales transportan de una manera eficiente los paneles de fábrica a obra.



Ilustración 32. Descarga. Fuente: Propia (2019)

Importante: Revisar con la dirección de la obra las especificaciones técnicas de la grúa del proyecto para verificar que cumpla con la capacidad de levante requerida dado el peso de los paneles y configuración estructural de las canastas.

Optimizar los movimientos de la grúa, garantizando que en cada ciclo pueda subir canastas con producto y bajar canastas vacías del edificio al camión.

4.2. Planificación y dirección del proyecto

Estas son tareas que deben ser coordinadas por la dirección del proyecto.

4.2.1. Personal del proyecto

Para identificar la cantidad de personal requerida, definir sus funciones y relaciones laborales con la que la persona debe colaborar, así como definir qué conocimientos laborales debe tener o en cuáles debe ser capacitado, se deben crear perfiles de puesto para todos los integrantes del equipo humano, los cuales deberán ser archivados en forma física y virtual para su consulta o gestión de capacitaciones. Además, se deben determinar los riesgos laborales a los que puede estar

expuesto, y con esto prevenir y proteger al trabajador. En relación con los perfiles de puesto, a continuación se brinda un formato que sirve de base para la creación de estos:

Fecha de elaboración del documento:	_____
Versión del documento:	_____
Nombre de la empresa:	_____
Proyecto:	_____
Descripción del puesto:	_____
Persona encargada o coordinador:	_____

Tareas y responsabilidades del puesto:	
	1) _____
	2) _____
	3) _____
	4) _____
	5) _____
	6) _____
	7) _____
	8) _____
	9) _____
	10) _____
	11) _____
	12) _____
	13) _____

Conocimientos técnicos del puesto:	
	1) _____
	2) _____
	3) _____
	4) _____
	5) _____
	6) _____
	7) _____
	8) _____
	9) _____
	10) _____
	11) _____
	12) _____
	13) _____

Relaciones Profesionales:	¿Para qué?
_____	_____
_____	_____
_____	_____

Personal y perfiles de puesto a cargo:	¿Para qué?
_____	_____
_____	_____
_____	_____

Riesgos laborales del puesto respecto a salud ocupacional:	
	1) _____
	2) _____
	3) _____
	4) _____
	5) _____
	6) _____
	7) _____

Versión # _____

Tabla 7. Formato para control de perfiles de puesto para trabajadores. Fuente: Extralum con modificaciones propias (2020)

4.3. Administración del proyecto

Estas son tareas que deben ser coordinadas por la dirección del proyecto.

4.2.1 Creación de hoja de cálculo para la administración de materiales

Se debe contar con un control basado en una tabla de cálculo que permita estimar por artículo cuál es la cantidad requerida por piso y establecer un almacenamiento máximo requerido, para crear pedidos no excesivos pero que tampoco que sean insuficientes y que atenten contra el desarrollo del proyecto. A continuación, se detalla un formato que puede ser utilizado para tales fines:

Proveedor	Elemento	Descripción	Ud.
Grecia	ACCESORIOS / ANCLAJE DE ALUMINIO	REFUERZO SOLERA (calza)	pzas
Grecia	ACCESORIOS / ANCLAJE DE ALUMINIO	ANCLA MACHO	pzas
Grecia	ANCLAJE Y REFUERZOS EN FE	ANCLA DE FIERRO TIPICA	PZAS
Grecia	ANCLAJE Y REFUERZOS EN FE	ANCLA DE FIERRO	PZAS
Grecia	ANCLAJE Y REFUERZOS EN FE	ANCHOR CHANNEL HAC-40 91/300 F	PZAS
Grecia	ANCLAJE Y REFUERZOS EN FE	TORNILLO CABEZA DE MARTILLO HBC-C 8 8F, M12X64MM	PZAS
Grecia	EMPAQUES	PERFIL RESPALDO PARASOL EPDM DUREZA 70 SHORE A	ML
Grecia	EMPAQUES	PERFIL PEINE PARASOL EPDM DUREZA 70 SHORE A	ML
Grecia	EMPAQUES	PERFIL CHICKEN HEAD EPDM ASTM C-864	ML
Grecia	EMPAQUES	HONGO PARA ZOCLO EPDM DUREZA 70 SHORE A	ML
Grecia	ALUMINIO P/OBRA	ANGULO ZOCLO	tramos
Grecia	ALUMINIO P/OBRA	ZOCLO	tramos
Grecia	CINTAS & BACKER ROD	CINTA TESA DOBLE CARA DE 2X12MM NEGRO	ROLLO
Grecia	CINTAS & BACKER ROD	BACKER ROD 3/8" CAJA DE 640M.	CAJA
Grecia	CINTAS & BACKER ROD	BACKER ROD 3/4" CAJA DE 335M.	CAJA
Grecia	AISLANTES	LANA MINERAL 0.61X 1.220 DE 3" FF-64	PZA
Grecia	AISLANTES	LANA MINERAL 0.61X 1.220 DE 3" FSK. FF-128	PZA
Grecia	AISLANTES	SELLO CORTAHUMO HILTI	CUBETA
Grecia	SELLO DE ENSAMBLE Y ENVIDRIADO	SELLO DC 791 (TOOLING OBRA)	SALCHICHA
Grecia	SELLO DE ENSAMBLE Y ENVIDRIADO	Cinta ultraspan 8" x 10MTS'	ROLLO
HEREDIA	TORNILLOS	Tornillo 10 x 3/4 Pan Phi Galvanizados	un
HEREDIA	TORNILLOS	Tornillo 8 x 1 1/4 Pan Phi Negro	un
HEREDIA	REMACHES	Remaches 3/16 x 3/4 Negro	un
HEREDIA	TORNILLOS	Tornillo(#14 x 1 1/4) 5/16 x 1 1/4	un
HEREDIA	TORNILLOS	Tornillo 3/8 x 3 3/4 anclaje con camisa	un
HEREDIA	CINTAS & BACKER ROD	Masking tape 3/4 AZUL	un
HEREDIA	LIMPIEZA	ALCOHOL	GAL
HEREDIA	LIMPIEZA	MECHA	BOLSAS
HEREDIA	SELLADOR	CORTA FUEGO	CUBETAS 5 GAL
HEREDIA	TORNILLOS	Spander plástico #6	un
HEREDIA	CINTAS & BACKER ROD	CINTA ALUMINIO 2 pulg	un
HEREDIA	CINTAS & BACKER ROD	CINTA PELIGRO	un

Tabla 8. Cuadro pedidos parte 1. Fuente: Propia (2019)

Piso 9	Piso 10	Cantidad total	Factor	Existencia para inventario	Consumo por piso promedio	Cobertura en pisos Promedio	Punto Reorden	Punto máximo	Faltante	Tránsito 1 semana	Pedido
430	356	786	1	381	381	1.0	2	3	761		761
430	356	786	1	381	381	1.0	2	3	761		761
44		44	1	44	44	1.0	2	3	88		88
10		10	1	10	10	1.0	2	3	20		20
248	185	433	1.07	144	144	1.0	2	3	318		318
449	330	779	1.08	256	256	1.0	2	3	573		573
681	481	1162	1	369	369	1.0	2	3	738		738
1063	370	1433	1	369	369	1.0	2	3	738		738
667	240	907	1	223	223	1.0	2	3	446		446
336	187	523	1	165	165	1.0	2	3	331		331
23	23	46	1	23	23	1.0	2	3	46		46
23	23	46	1	23	23	1.0	2	3	46		46
30	2	32	1	34	42	0.8	2	3	92		92
3	3	6	1	2	2	1.0	2	3	5		5
4	1	5	1	1	1	1.0	2	3	3		3
47	39	86	1	29	29	1.0	2	3	58		58
180	83	263	1	84	84	1.0	2	3	167		167
1	1	2	1	1	1	1.0	2	3	2		2
78	6	84	1	100	100	1.0	2	3	200		200
2	0	2	1	0	0	1.0	2	3	1		1
2	2	4	1	600	600	1.0	2	3	1,200		1,200
1000	1000	2000	1	1,600	1600	1.0	2	3	3,200		3,200
1200	1200	2400	1	500	500	1.0	2	3	1,000		1,000
1100	1100	2200	1	200	200	1.0	2	3	400		400
1300	1300	2600	1	120	120	1.0	2	3	240		240
20	20	40	1	10	10	1.0	2	3	20		20
2	2	4	1	3	3	1.0	2	3	6		6
5	5	10	1	15	15	1.0	2	3	30		30
2	2	4	1	4	4	1.0	2	3	8		8
2000	2000	4000	1	200	200	1.0	2	3	400		400
160	160	320	1	36	36	1.0	2	3	72		72
1.05	26	27	1	1	1	1.0	2	3	2		2

Tabla 9. Cuadro pedidos parte 2. Fuente: Propia (2019)

Se debe especificar quién provee el producto y el elemento al que pertenece el artículo. También, es oportuno detallar la descripción de cómo se conoce el artículo, su unidad de medida y la cantidad a requerir por piso. Esto para darle una identidad a cada línea.

Se debe considerar cuánto es la existencia física de los artículos disponibles, se debe dividir esta cantidad entre el consumo por piso y así obtener una cobertura. Esta cobertura debe ser evaluada contra un punto mínimo de inventario deseado y, de ser menor al momento de la revisión, debe generar un pedido que no sobrepase la cantidad máxima deseada. Puede estimarse alguna variación de la cantidad a consumir como factor de variación. Además, se debe determinar si existe material en tránsito que no se deba contemplar en el pedido.

Importante: Se deben tomar en cuenta equipos de comunicación, equipos de seguridad personal e insumos como tornillos, limpiadores, herramientas, entre otros, dentro de las listas de requerimiento de inventario en obra.

4.2.2 Cronograma de trabajo

Es a través de un cronograma de trabajo que se puede establecer el tiempo, recursos, costo y personal responsable para el proyecto. Este cronograma debe revisarse día a día por parte del director del proyecto y servirá como punto de referencia para sus reuniones con todos los involucrados, llámese proveedores, clientes, personal en obra, fábrica y demás interesados.

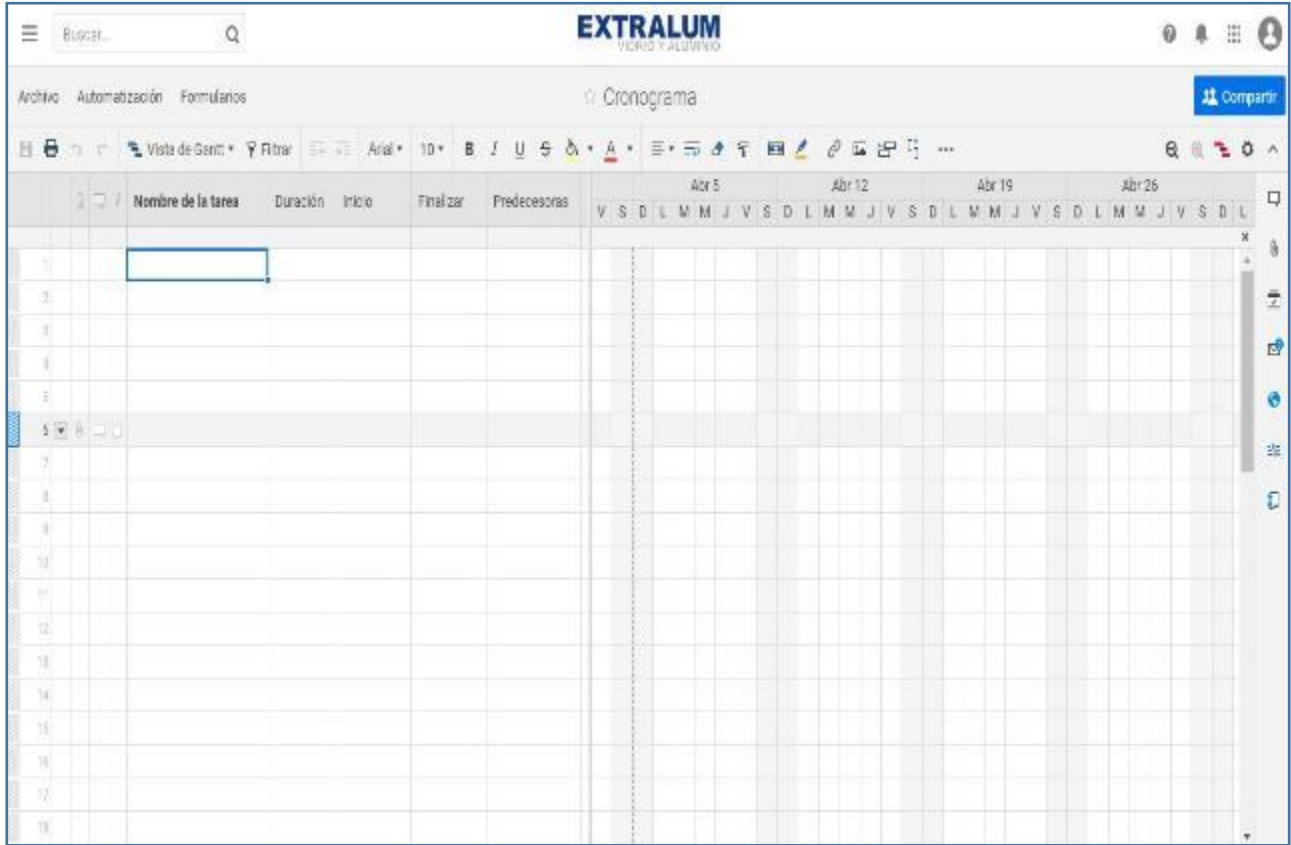


Ilustración 33. Ejemplo de cronograma software Smartsheet. Fuente: Propia (2020)

4.3. Lectura de planos, gestión de la instalación

Se deben revisar los planos de trazado de ejes del proyecto. Los ejes de referencia del proyecto serán la referencia para ubicar la posición de los anclajes HAC-40 91/300 F en cada losa de concreto.

Importante: Estas ubicaciones deberán verse con el cliente o la empresa encargada de la construcción estructural debido a que es una etapa que se debe construir en conjunto con el colado de concreto de la losa.

A continuación, en la ilustración 34, se muestra cómo se referencia la posición de los anclajes HAC-40 91/300 F en el plano de cada losa.

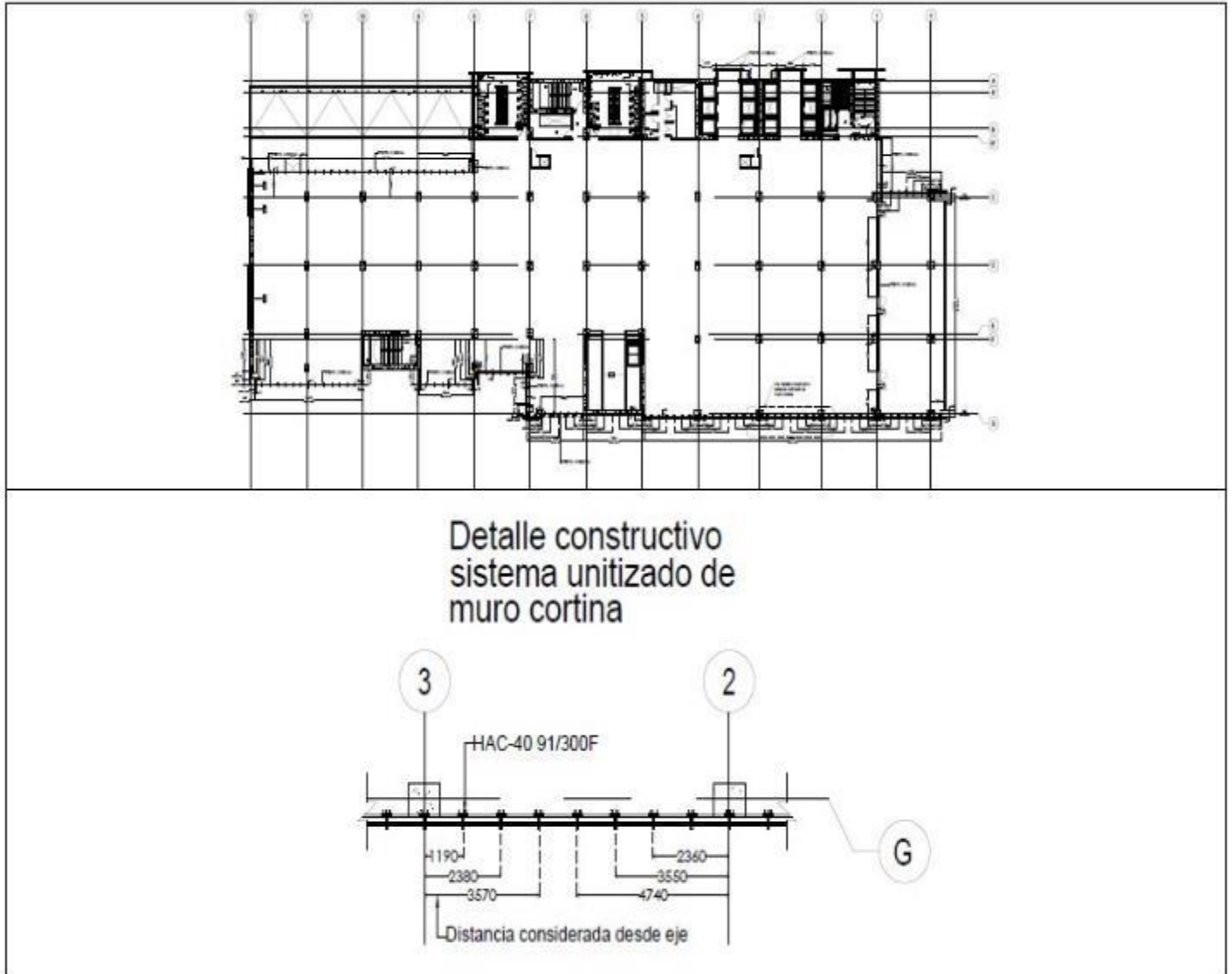


Ilustración 34. Interpretación de ejes de referencia para instalación anclaje. Fuente: Extralum y propia (2020)

4.4. Instalación de anclajes en losa de concreto

Se deben seguir los siguientes pasos para la instalación del sistema de anclajes en obra:



Ilustración 35. Anclajes. Fuente: propia (2019)

1. Se debe verificar el estado físico de los anclajes HAC-40 91/300 F. Estos no deben tener golpes, partes incompletas o dobles de alguna sección.
2. Se debe identificar dónde será colocado el anclaje según los ejes de referencia mostrados en los planos.



Ilustración 37. Ubicación centroide y eje. Fuente: Extralum (2019)



Ilustración 36. Instalación. Fuente: Extralum (2019)

3. Existen tolerancias que se deben respetar a la hora de construir las losas de concreto. Las tolerancias del concreto terminado serán: -5mm + 10mm en la sección de cualquier elemento, para salidas de borde de losa y trabes se permite una tolerancia de ± 12 mm. En el alineamiento horizontal y vertical de aristas y superficies de losas y vigas se permite una tolerancia en todo lo largo de ± 10 mm. Estos datos deben ser confirmados por la empresa constructora estructural. Estas tolerancias deben ser verificadas después de haber desencofrado. Las tolerancias del concreto deben ser previstas y revisadas para cada proyecto, ya que poseen relación directa con la capacidad de ajuste que tenga el sistema unitizado de muro cortina, por lo cual su posicionamiento estará estrechamente relacionado con las tolerancias del concreto. Las cotas para el anclaje de losa

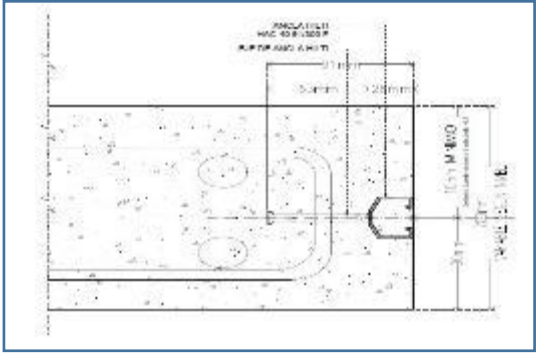


Ilustración 38. Ubicación del anclaje en losa. Fuente: Extralum (2019)

están referidas a borde exterior de la losa y lecho superior, esto sin acabado en piso.

4. Los anclajes HAC-40 serán instalados a partir de su eje central o centroide, coincidiendo este con el eje de referencia o con la cota indicada en planos.

5. Los anclajes HAC-40 91/300 F deben colocarse con el borde del canal contra el encoframiento, ya que una vez que el concreto sea colado y al retirar el encoframiento, el canal debe quedar expuesto al exterior del borde, con la libertad de retirar la espuma temporal llamada “LDPE Foam”, cuya función es solo proteger el canal de invasión de materiales o incrustaciones.

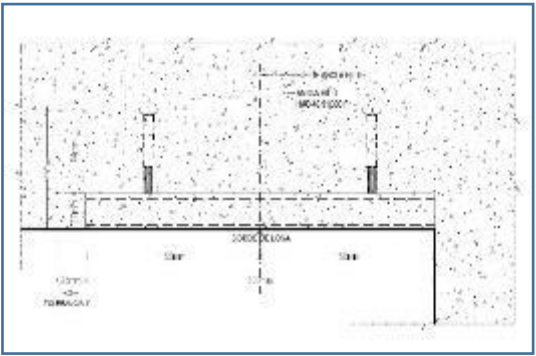


Ilustración 39. Vista en planta anclaje. Fuente: Extralum (2019)

6. La profundidad del empotramiento efectivo del anclaje HAC-40 91/300 F debe ser de 91 mm desde el borde exterior de losa. La longitud del canal será de 300 mm. La distancia entre anclas será de 250 mm, siendo las anclas las secciones del anclaje HAC-40 91/300 F que salen del canal y se profundizan dentro de la losa. El ancho del canal es de 41 mm y su altura es de 28mm. Para la colocación del anclaje HAC-40 91/300 F se sugiere marcar en el encofrado la posición del eje de referencia previamente puesto en obra por el cliente o constructor estructural, esta marca debe

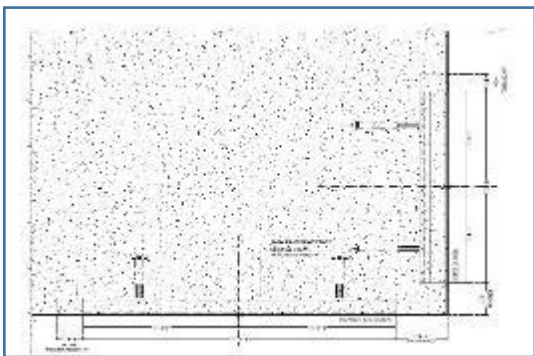


Ilustración 40. Detalle anclaje esquinas. Fuente: Extralum (2019)



Ilustración 41. Encofrado. Fuente: Extralum (2019)



Ilustración 42. Encofrado 2. Fuente: Extralum (2019)

coincidir con el eje central o centroide del anclaje HAC-40 91/300 F.

7. El encoframiento debe garantizar la suficiente impermeabilidad para impedir pérdidas de concreto. El anclaje HAC-40 91/300 F debe ir totalmente embebido en el concreto, a excepción de su canal que debe ir expuesto al exterior, esto quiere decir que el constructor debe tener en cuenta a la hora de colocar el concreto que este posea los aditivos necesarios, el vibrado necesario o ambos, para que mediante esta técnica el anclaje HAC-40 91/300 F pueda ser rodeado en su cuerpo y anclas y queden firmemente adheridos como un solo cuerpo al concreto.
8. El encofrado debe tener un correcto arriostramiento que evite desplazamientos o movimientos del anclaje cuando se está colando el concreto. El anclaje HAC-40 91/300 F debe adherirse al encofrado mediante clavos, en algunas ocasiones pueden colocarse varillas de acero, junto con alambre acero, den soporte al anclaje.
9. Se debe verificar desde el eje o nivel colocado, el cual puede ser una cuerda, la distancia o altura del anclaje HAC-40 91/300 F colocado, el cual debe cumplir una distancia de 110 mm desde el lecho superior de la losa terminada sin acabado de piso. A partir de esta distancia, se debe medir la distancia



Ilustración 43. Retiro de espuma. Fuente: Propia (2020)

hacia los bordes, a cada borde una distancia de 150 mm. Si se trata de anclajes en esquinas, cada anclaje HAC-40 91/300 F debe instalarse a 50 mm del borde de losa.

10. Se puede verificar el nivel del anclaje utilizando un nivel de gota y colocando este de manera perpendicular a la cinta métrica, la cual debe estar apoyada en cada sección del anclaje HAC-40 91/300 F a verificar, recomendando hacer como mínimo 3 verificaciones, dos en los extremos y una en el centro.
11. Una vez el que concreto ha fraguado y retirado el encofrado, se debe verificar la posición y acabado de los anclajes HAC-40 91/300 F embebidos al concreto con el borde de canal expuesto hacia el exterior de losa. La espuma temporal llamada “LDPE Foam” debe retirarse a la hora de la instalación. Esta es de fácil manipulación, ya que solo se toma una pestaña marcada en la espuma y se jala, la espuma saldrá del canal sin mayor problema.

4.5. Bahías para recibo de material

Se deben construir bahías para el recibo de paneles en cada piso, los cuales serán trasladados por las grúas del proyecto. Las bahías deben tener dimensiones de 2000 mm, desde borde de losa hacia el exterior y 5000 mm paralelo al borde de losa. Tiene que ser capaz de soportar las cargas vivas aportadas por las canastas y operarios, así como las que proporcione el peso de las

canastas cargadas con paneles que van desde los 250 kg hasta los 350 kg, contemplando hasta seis paneles por canasta, además de las cargas muertas propias de la bahía. La estimación y diseño de la estructura de la bahía debe estar a cargo de un ingeniero civil, que garantice la seguridad en todo momento.

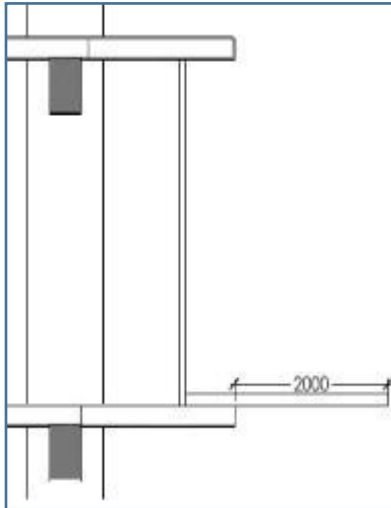


Ilustración 45. Bahía. Fuente: Extralum (2019)

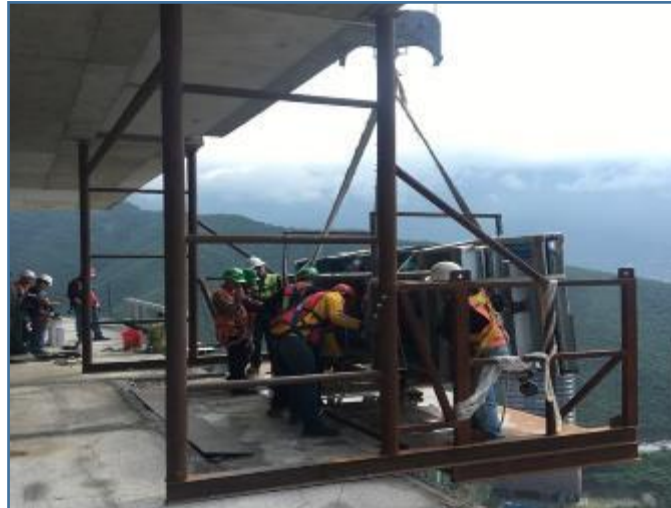


Ilustración 44. Recibo de material en bahía. Fuente: Extralum (2019)

4.6. Grúas para instalación de paneles

Se debe utilizar una grúa para el levantamiento y colocación de los paneles. Se recomienda al menos tres grúas para el avance de la instalación. Al respecto, se debe contemplar lo siguiente:

1. Se debe verificar que la grúa tenga la capacidad de levante requerido para el peso de los paneles a instalar, las grúas funcionan a partir de un centro de gravedad y un brazo de palanca, dependiendo de la posición de la carga y su brazo de palanca la capacidad de la grúa respecto a la carga puede ser suficiente o ser excedida, al suceder esto último se puede

dar el vuelco, lo que ocasiona pérdidas materiales e incluso pérdidas humanas.

2. Es de mayor beneficio que la grúa sea alimentada por fuentes eléctricas portátiles o baterías con una duración aceptable para dar poder durante toda la jornada laboral. Se deben tomar en cuenta los periodos de carga y los ciclos de operación de la grúa para alcanzar las metas de instalación diarias.
3. Se debe designar al menos tres personas responsables para la operación de la grúa, quienes deben contar con la capacitación debida y haber leído los respectivos manuales de uso y seguridad.



Ilustración 46. Grúa de instalación. Fuente: Jekko (2020)

4.7 Preparación de los paneles para instalación

Los paneles, una vez instalados, forman una parte celular de la completa fachada del sistema unitizado de muro cortina, por lo cual es importante que las medidas, configuración y estado físico aceptable de los materiales sean los correctos, y que no tengan la necesidad de ser reparados o reemplazados una vez que ya se encuentren instalados, esto por no revisar estos puntos.

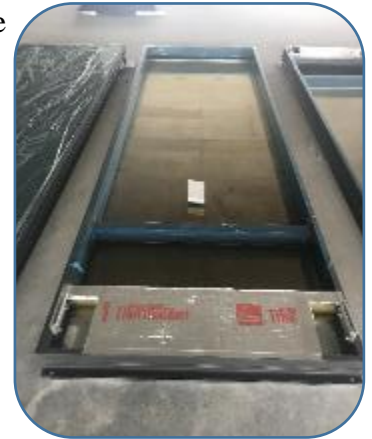


Ilustración 47. Preparación paneles.
Fuente: Propia (2019)

Además, una persona con buena visión que se encuentre a un metro de distancia del vidrio debe verificar defectos en este, como puntos, burbujas o rayas. Son permitidos defectos de menores a los 75mm en caso de rayas, puntos o burbujas con una distribución de un defecto por cada 7 metros cuadrados de vidrio. Esto en conformidad con la norma *ASTM C-1036-11 Standard Specification For Flat Glass*. Debe, además, contar con el filme protector. Por su parte, el aluminio debe encontrarse libre de rayas y los acabados deben coincidir en la totalidad del panel y con la totalidad de paneles circundantes.

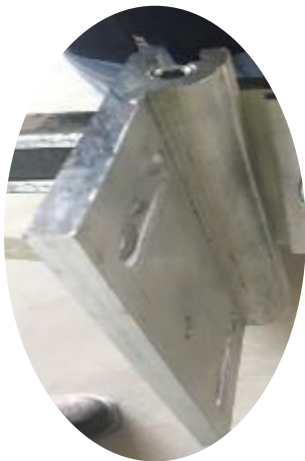
A los paneles se les debe instalar la lámina de lana mineral marca Thermafiber provista por Owen Corning, marca que certifica la protección contra fuego. La lana mineral debe colocarse en

la parte superior e inferior del panel. El objetivo de esto es que sirva de barrera anti-fuego entre los pisos. La lana mineral debe cubrir por completo; es decir, en el área no pueden quedar vacíos.



*Ilustración 48. Lana mineral.
Fuente: Propia (2019)*

Importante: A los paneles se les debe instalar antes de colocar en su posición final el ancla hembra. Esto para que durante su instalación solo se dé un acople con el ancla macho y se evite algún desprendimiento de piezas en la instalación, o bien, daños en el sistema por una mala colocación.



*Ilustración 49. Ancla hembra.
Fuente: Propia (2019)*

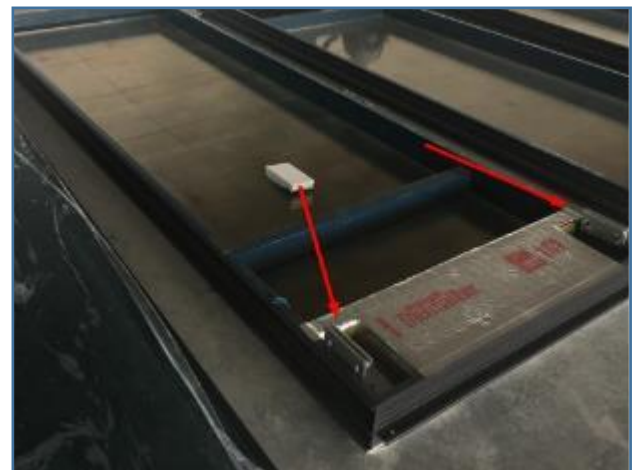
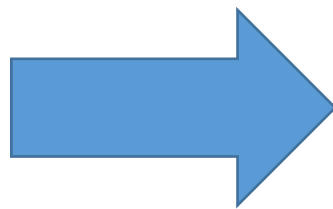


Ilustración 50. Ancla hembra en panel. Fuente: Propia (2019)

4.8. Colocación de paneles y posicionamiento final

- 1) El primer paso a seguir es encender la grúa y asegurarse de que cuenta con la carga suficiente para no detener su operación durante la instalación.
- 2) Debe asegurarse la viga de elevación a la grúa.
- 3) Una vez el panel se encuentre listo para ser instalado, se debe acercarse al sitio de colocación y su parte inferior colocarse en uno de los carritos diseñados para la instalación, mientras que la parte superior debe sujetarse a la viga de elevación, la cual será sostenida por la grúa de instalación. Lo fundamental en este procedimiento es asegurar que el panel cuenta con todo lo necesario para colocarlo en su posición final, la posición de fachada, y que durante este movimiento el panel no sufra daños.
- 4) Previo a este movimiento o paso, debe colocarse adentro del anclaje HAC-40 91/300 F dos tornillos cabeza de martillo HBC-C 8.8, la distancia entre estos tornillos tiene que ser de 172 mm, siempre dentro la zona comprendida entre las anclas que se insertan dentro de la losa, nunca en los extremos.
- 5) La cabeza del tornillo permitirá el ingreso al canal del anclaje en uno de los sentidos, una vez que estos ingresen al canal del ancla, deben girarse 90 grados. Cuando el giro se dé, es necesario evaluar si el tornillo se mantiene dentro del canal, para lo cual debe jalarse hacia el exterior, si el tornillo no sale significa que se encuentra en la correcta posición.
- 6) Como paso siguiente se debe agregar el refuerzo ancla al ancla macho. Este refuerzo, según se describió anteriormente, es una placa que da soporte a las arandelas colocadas entre el ancla macho y la tuerca; luego se procede a colocar una arandela plana y una

arandela de presión, posteriormente se debe colocar la tuerca y ejercer un torque de instalación de 25 N-m, según diseño estructural.

- 7) El siguiente paso de instalación para el sistema unitizado de muro cortina es el acople o unión entre el anclaje hembra y el sistema de anclaje compuesto por el anclaje HAC-40 91/300 F, el tornillo HBC-C 8.8, el refuerzo ancla, sus arandelas y la tuerca debidamente ajustada, esta última debe estar al menos dos hilos por debajo de la salida del tornillo HBC-C 8.8 como medida de seguridad. Se debe sacar el panel con la grúa del piso donde se almacena horizontalmente hasta alcanzar su posición vertical fuera del edificio, dicha operación busca acoplar o unir el anclaje hembra al anclaje macho.
- 8) El anclaje hembra, una vez acoplado, deberá ser ajustado con su propio tornillo de ajuste, este tornillo nunca debe salir del borde del ancla debido a que, por pérdida de área efectiva de contacto, no se podrán transmitir las cargas de forma correcta, lo cual puede provocar un debilitamiento en el sistema de fijación del panel a la superestructura.
- 9) Se debe inspeccionar la instalación y asegurar que se cumplan las siguientes tolerancias:
 - a. Respecto a la localización del sistema unitizado muro cortina, la desviación máxima de la indicada en los planos en una longitud de 3,66 metros es de 7mm. La desviación máxima de la indicada en planos en la longitud total es de 26mm.
 - b. Para plomo y nivel, la desviación máxima permitida para un plomo en una longitud de 3,05 m es de 7mm. Para un plomo en una longitud de 12,20 m, la desviación máxima debe ser de 14mm.

- c.** La desviación máxima de nivel en una longitud de 3,66 m es igual a 8mm. La desviación máxima de nivel en una longitud de 12,20 m es igual a 16mm.
- d.** Respecto a la alineación de elementos colindantes en línea, se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones: cuando dos elementos están separados por un espacio, una saliente o un elemento en el otro sentido no mayor de 13 mm, la tolerancia de alineación es igual a 4mm; cuando dos elementos están separados por un espacio, una saliente o un elemento en el otro sentido entre 13 mm y 25 mm, la tolerancia de alineación es igual a 8mm; cuando dos elementos están separados por un espacio, una saliente o un elemento en el otro sentido mayor de 25 mm, la tolerancia de alineación es igual a 16mm.

10) Antes de colocar un panel sobre otro para alcanzar hermeticidad, debe colocarse empaque EPMD en todo el borde superior de los paneles, este borde contiene un perfil de aluminio donde se puede agarrar el empaque en forma lineal por toda la longitud de los paneles instalados por piso, este empaque funcionará como elemento de hermeticidad entre los paneles de un piso a otro.

11) Los paneles ya tienen instalados un empaque EPDM estilo burbuja en sus costados, el cual dará hermeticidad al sistema unitizado de muro cortina. En cuanto a la unión de panel con panel en alguno de sus costados, se debe cuidar de crear un sello que permita la estanqueidad.

12) Se coloca un angular de aluminio que cubra los dos paneles en unión, se coloca una membrana de silicón que cubra la unión de los dos perímetros de los paneles. Esta membrana se coloca en los dos bordes que se encuentran divididos por el borde que

- agarra el empaque perimetral. Una vez colocadas las membranas, se procede a fijarlas y sellarlas contra el aluminio con silicón, según el recomendado para el proyecto.
- 13) Se debe colocar el silicón y no tocar al menos por 3 horas, luego se procede a utilizar cumbreras para cubrir las zonas selladas al menos por 7 días hasta 14 días. La adhesión total será dentro de 14 a 21 días después de la aplicación.
- 14) En la condición cuando la instalación inicia en el segundo piso en el orden de instalación se debe tener en cuenta algo **importante:** el panel superior nunca será apoyado sobre el panel inferior. El panel inferior nunca servirá de apoyo estructural. Para lograr esto se colocará una calza con un espesor constante y conocido, que alcance la distancia entre panel inferior y superior que son requeridos para que exista hermeticidad y no apoyo estructural. Esto debe verificarse con nivel. El objetivo es alcanzar la hermeticidad.
- 15) Se procede a rellenar los espacios comprendidos entre el borde de la losa y la fachada unitizada de muro cortina. Este relleno se realiza con lana mineral marca Thermafiber provista por Owen Corning con el objetivo de crear protección anti-fuego, siendo esta compañía certificada para el control del fuego.
- 16) Se cubre la lana mineral con el sellador anti-fuego Hilti CFS-SP WB, esto a través de una colocación con espátula para lograr un recubrimiento mayor, el tiempo de curado será de 24 horas en condiciones de humedad del 50%.
- 17) Se debe colocar perfilería de aluminio con estilo cenefa, que cumplirá el papel de rodapié, cubriendo la división fabricado con la lana mineral y el sellador anti-fuego Hilti CFS-SP WB.

- 18) Algunos de los paneles, como parte de su diseño, tienen acabados internos con lámina de aluminio compuesto. Se debe verificar que las medidas del aluminio compuesto sean las correctas, ya que el corte de estas no es recomendable hacerlo en la obra, pues existen sierras especializadas para el corte de láminas de aluminio compuesto, las cuales generalmente se encuentran en fábrica.
- 19) Si se han cumplido 60 días desde la instalación de los paneles, se debe retirar el filme protector de los paneles. Una vez realizado esto se podrá apreciar desde el exterior el hermoso acabado del sistema unitizado de muro cortina.
- 20) Se debe limpiar el área. Asimismo, se debe asegurar que no existan filtraciones de agua o viento y que los acabados sean los esperados por el cliente. Si existe alguna filtración se debe considerar que el defecto solo va a estar presente o es por causa del panel que muestra la filtración, ya que esto es una característica propia del sistema por su naturaleza modular.
- 21) Se procede a realizar la entrega de piso, con los planos aprobados previamente por el cliente en caso de que existan dudas sobre el diseño o acabados para el piso. Se debe confeccionar un documento de entrega conforme a lo pactado en el contrato para el piso. De cumplirse esto, la instalación quedará por concluida.



Ilustración 51. Viga de elevación. Fuente: Propia (2019)



Ilustración 52. Carritos. Fuente: Extralum (2019)

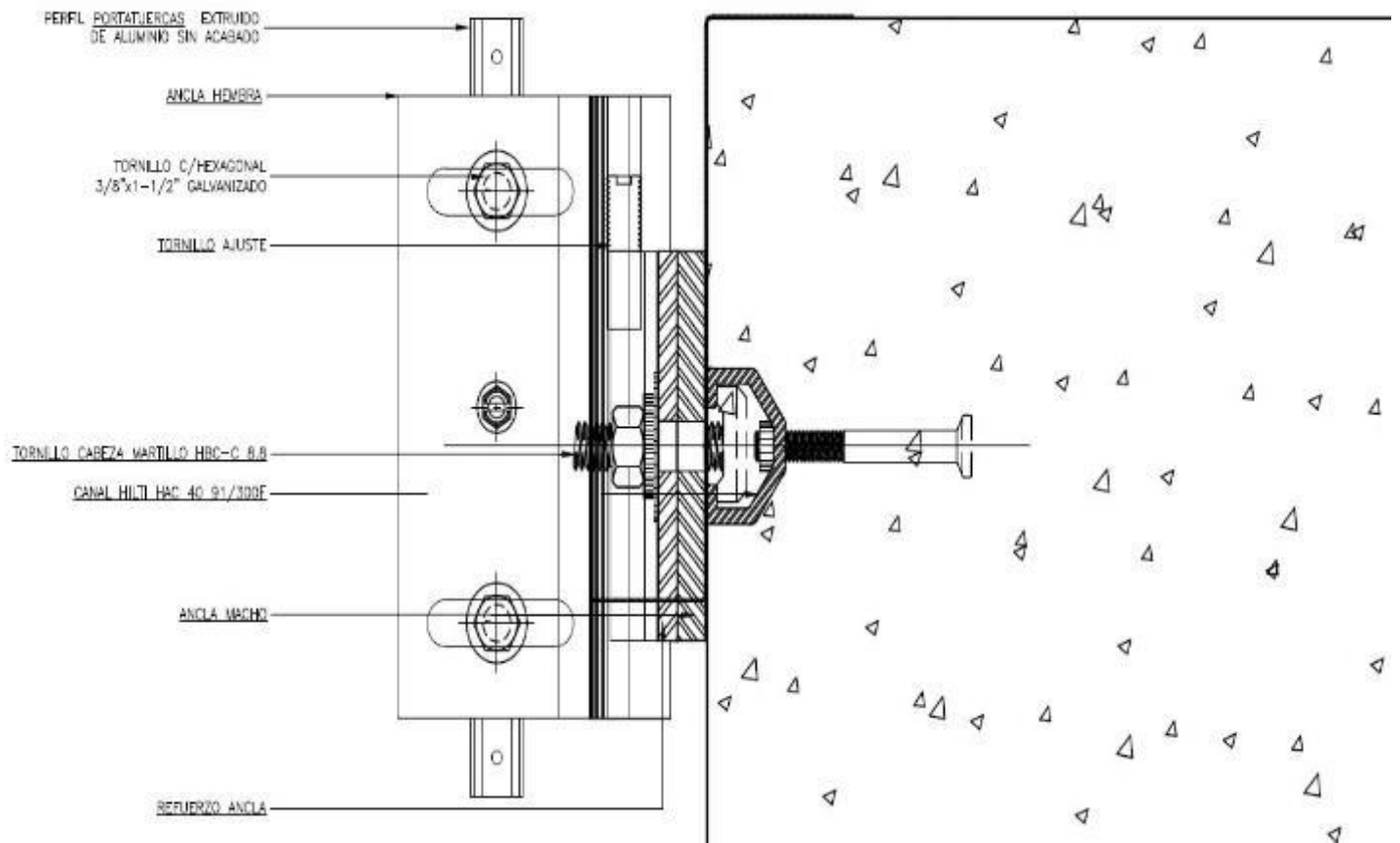


Ilustración 53. Detalle de instalación. Fuente: Extralum y propia (2020)

DETALLE LANA MINERAL

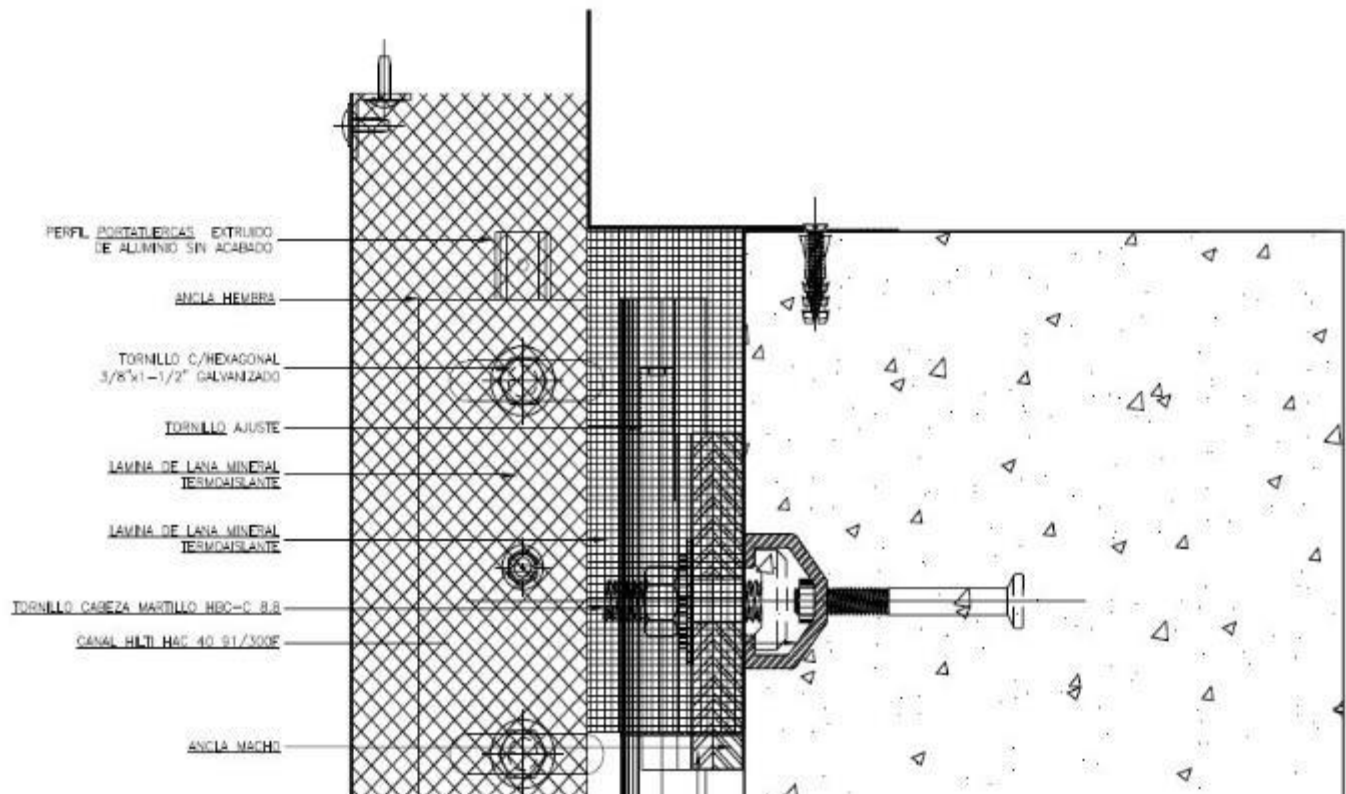


Ilustración 54. Colocación de lana mineral. Fuente: Extralum y propia (2020)

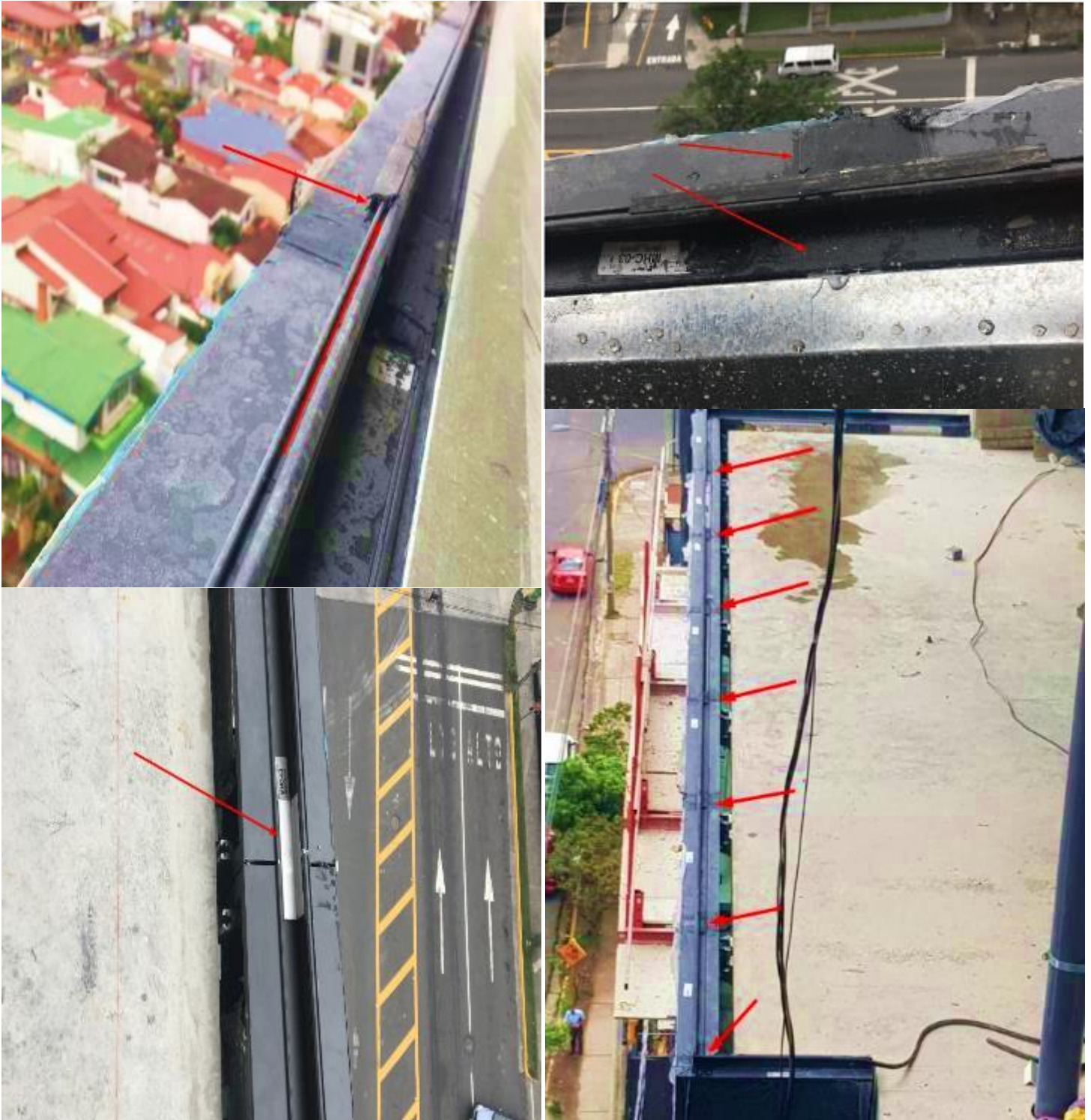


Ilustración 55. Angulares, membrana y silicón; ubicación en físico. Fuente: Propia (2019)

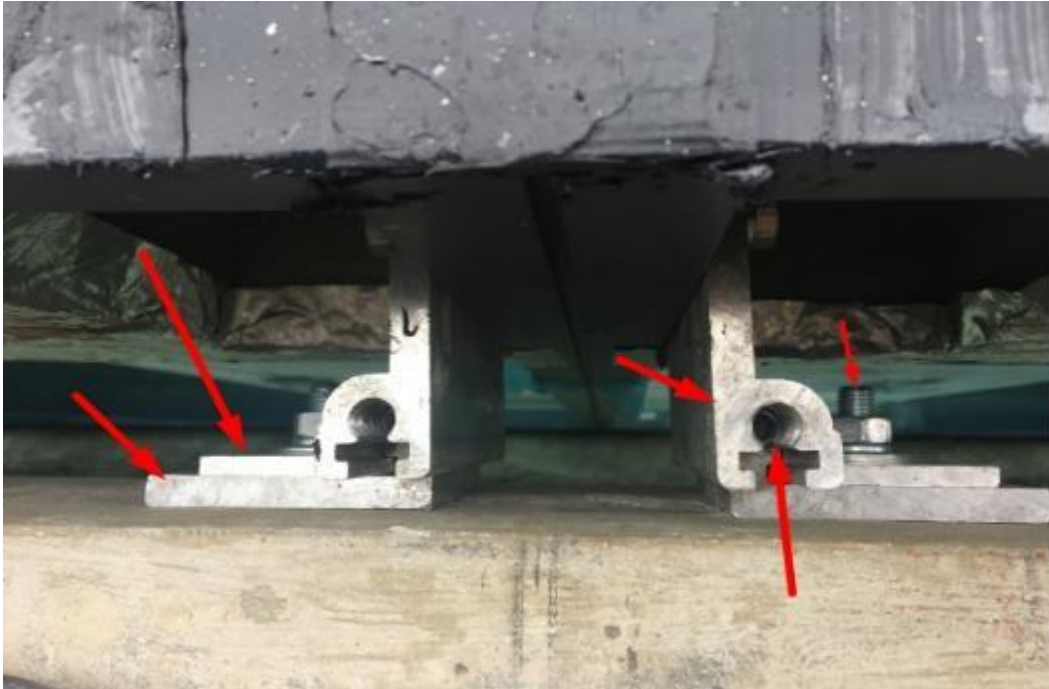


Ilustración 56. Sistema de anclaje ensamblado. Fuente: Propia (2020)

4.9. Mantenimiento y limpieza

Aunque uno de los beneficios del sistema unitizado de muro cortina es su poco mantenimiento, siempre es necesario un mantenimiento mínimo. Por lo tanto, se sugiere los siguiente:

- Para la limpieza de las secciones de aluminio compuesto debe utilizarse detergentes neutros (ph 7,0) y agua, únicamente. Se deben utilizar paños suaves o esponjas. La limpieza no se debe hacer cuando los paneles están sometidos a temperaturas elevadas. Para el área urbana se recomienda una limpieza por año.
- Para la limpieza de perfiles de aluminio se recomienda solo utilizar agua limpia; no obstante, en el caso de que la suciedad persista se procede a utilizar detergentes neutros (ph 7,0) con esponjas o cepillos suaves, siempre iniciando verticalmente por la parte más alta a la más baja. Ahora bien, si la suciedad continúa, se pueden utilizar esponjas de una mayor dureza, o bien, soluciones a base de alcohol para eliminar grasas o silicones. Esto último no puede hacerse si el perfil es pintado, pero generalmente el perfil de aluminio del sistema unitizado de muro cortina es anodizado. La limpieza de los perfiles de aluminio no tiene un periodo establecido.
- Para la limpieza del vidrio se debe considerar nunca hacerlo cuando el vidrio está expuesto directamente a rayos solares. Se debe realizar la limpieza con agua jabonosa para suavizar los residuos o suciedad presente, luego se limpia con un paño suave o un escurridor para vidrios, posteriormente se enjuaga con abundante agua. El vidrio se tiene que secar completamente. Todo esto dará una buena

presentación de la fachada y, también, extenderá la vida útil de la estética del sistema unitizado de muro cortina.

- Si se debe cambiar un vidrio es posible desarmando el panel en su interior, colocando a una persona que pueda manipular el vidrio desde el exterior de la fachada retirando el vidrio hacia el interior del edificio. Para colocar el nuevo vidrio, es necesario calzarlo mientras los selladores de silicón alcancen su secado, esto a través de calzas llamadas chapetas. Una vez secado el silicón, se retiran las calzas y se procede con el armado del panel a su forma original.

4.10. Seguridad laboral

- Toda persona que se presente al piso de instalación o instalado debe colocarse su arnés con ganchos conectores desde su llegada al punto de encuentro en la obra. Además, debe poseer, en todo momento, casco con sujetador de mandíbula, zapatos de seguridad y pantalones largos. Asimismo, inmediatamente la persona llegue al destino, debe ubicar la señalización y la cuerda salvavidas o línea de vida para sujetarse a través de los ganchos conectores a esta, solo así podrá desplazarse por los bordes del edificio donde se ubica la instalación del sistema. De la misma manera, en caso de que una persona realice una inspección, esta debe contar con todo el equipo mencionado, incluso, los visitantes. Es oportuno señalar que, en este contexto, no son permitidas las bromas en el lugar de trabajo.
- La persona que conduce debe estar debidamente capacitado y contar con la experiencia para operarla. Al momento de trasladar las grúas por el edificio se tiene que acompañar con una persona que dé instrucciones tanto a quien la conduce como a las personas que se

encuentran en su camino. En todo momento se debe observar el contorno para identificar riesgos y peligros.

- Cuando se estén moviendo las canastas con paneles o paneles individuales se deben tomar en cuenta también estas normas de seguridad.
- Durante la instalación de los paneles se debe evitar que alguna parte del equipo o ropa quede atrapado con el panel, carrito o cables de levantamiento.
- Cuando se realicen descargas de material debe acordonarse las áreas de descarga y recibo con conos de seguridad para delimitar el paso de otras personas.
- Nunca es permitido, y debe ser fuertemente sancionado, que una persona se presente a trabajar en estado de ebriedad, bajo la influencia de psicotrópicos, o bien, medicamentos con efectos secundarios contraproducentes.

- Siempre se debe revisar el equipo de seguridad en personal y su conexión en parejas, permitiendo que el compañero indique el estado del equipo de seguridad laboral presente en el sitio y el que porta cada trabajador.
- Antes de iniciar la jornada laboral se debe verificar el estado y la correcta sujeción de las líneas de vida.

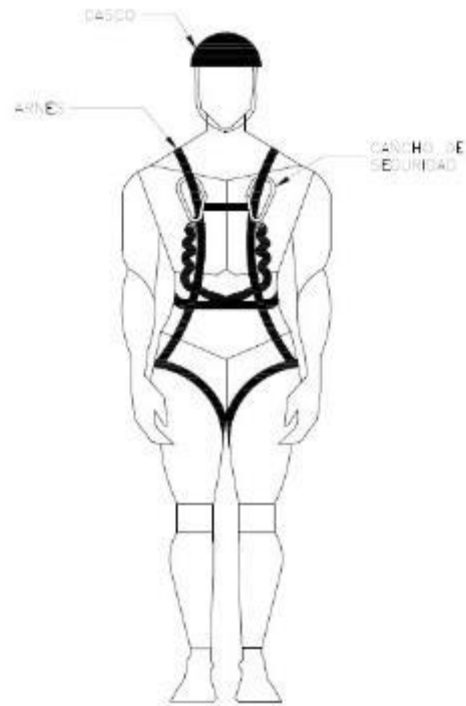


Ilustración 57. Equipo de protección básico. Fuente: Propia (2020)

- Capacitaciones y concientización deben ser parte del cronograma de trabajo del proyecto.

Anexos

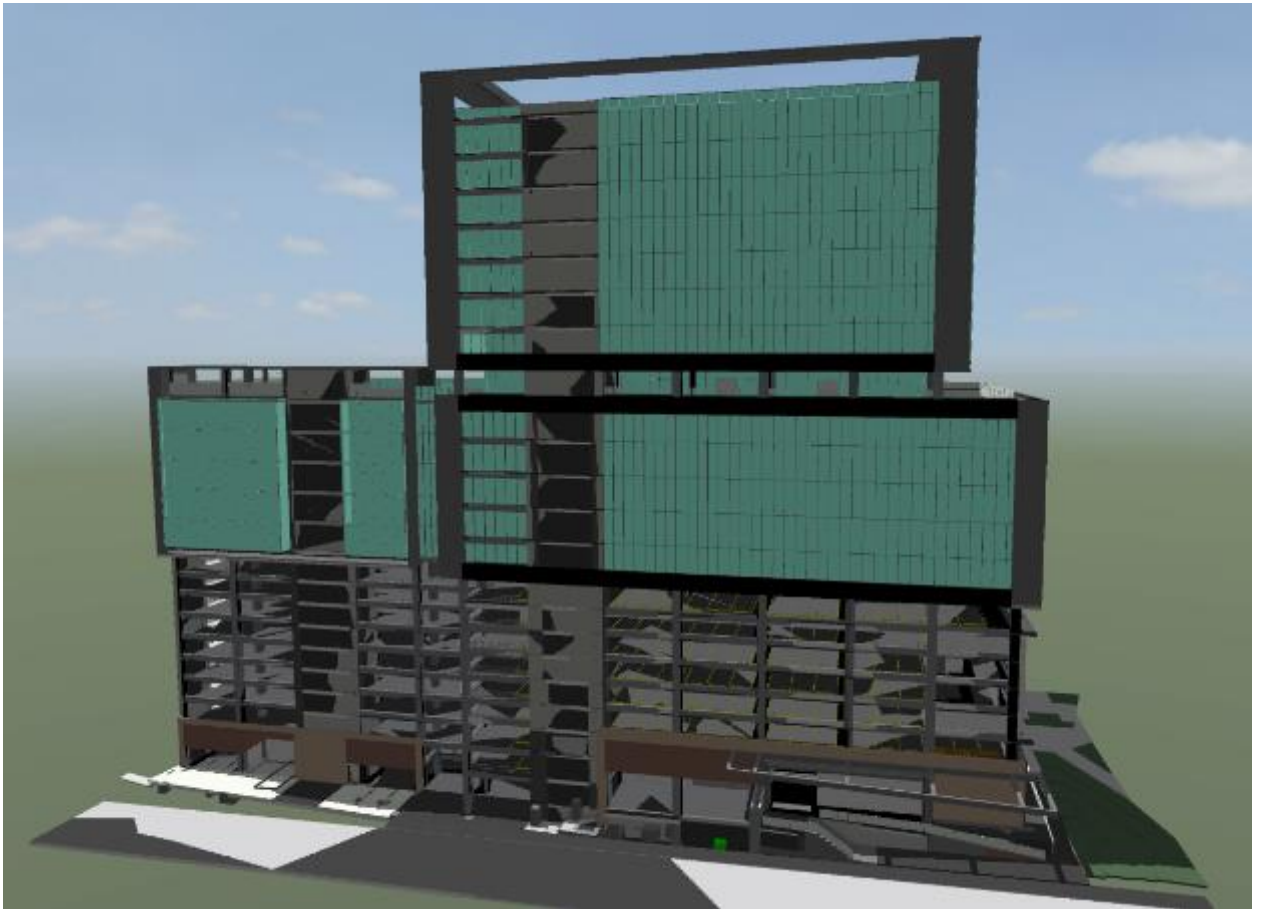


Ilustración 58. Fachada este. Fuente: Extralum (2019)

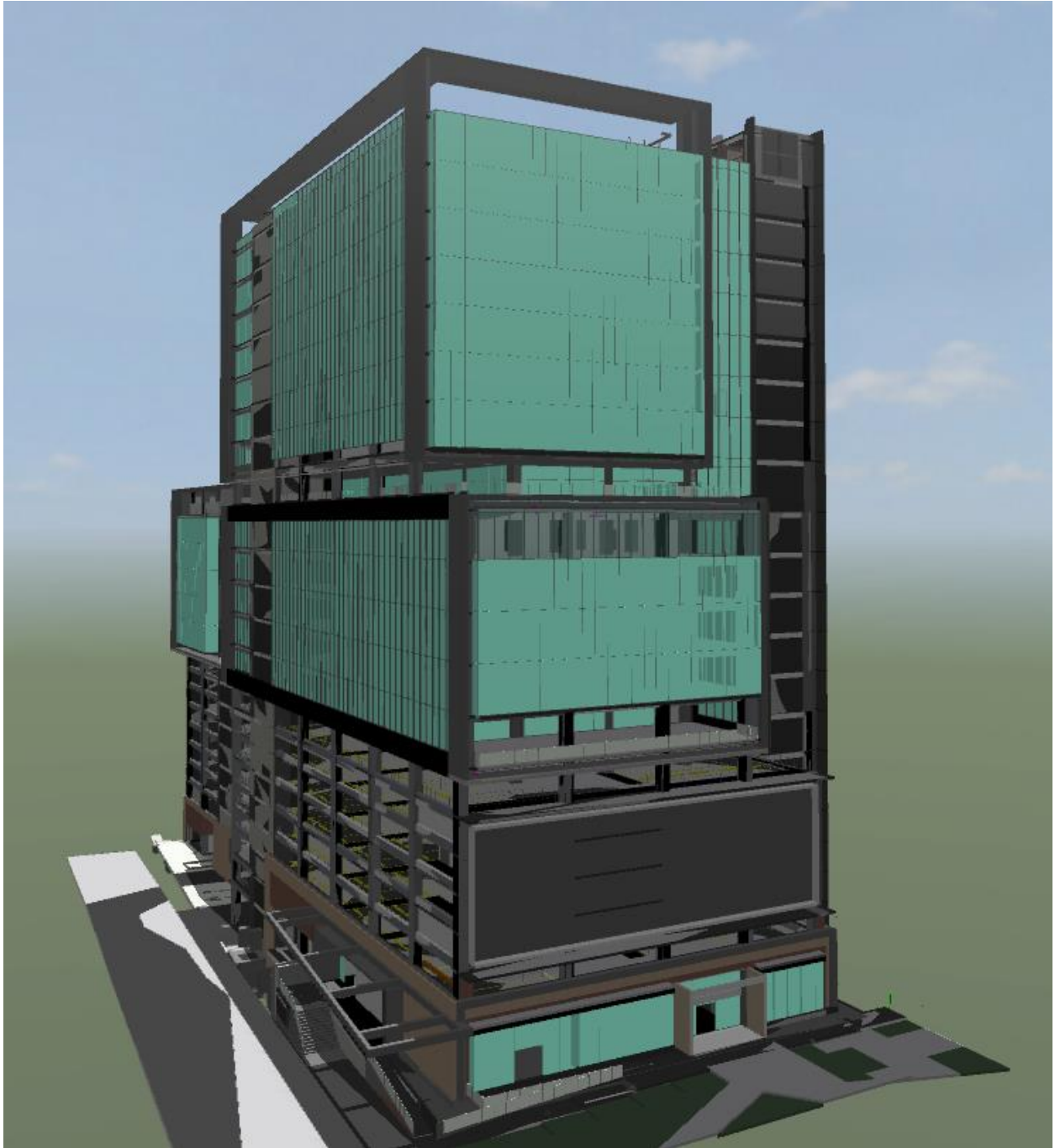


Ilustración 59. Fachada noreste. Fuente: Extralum (2019)

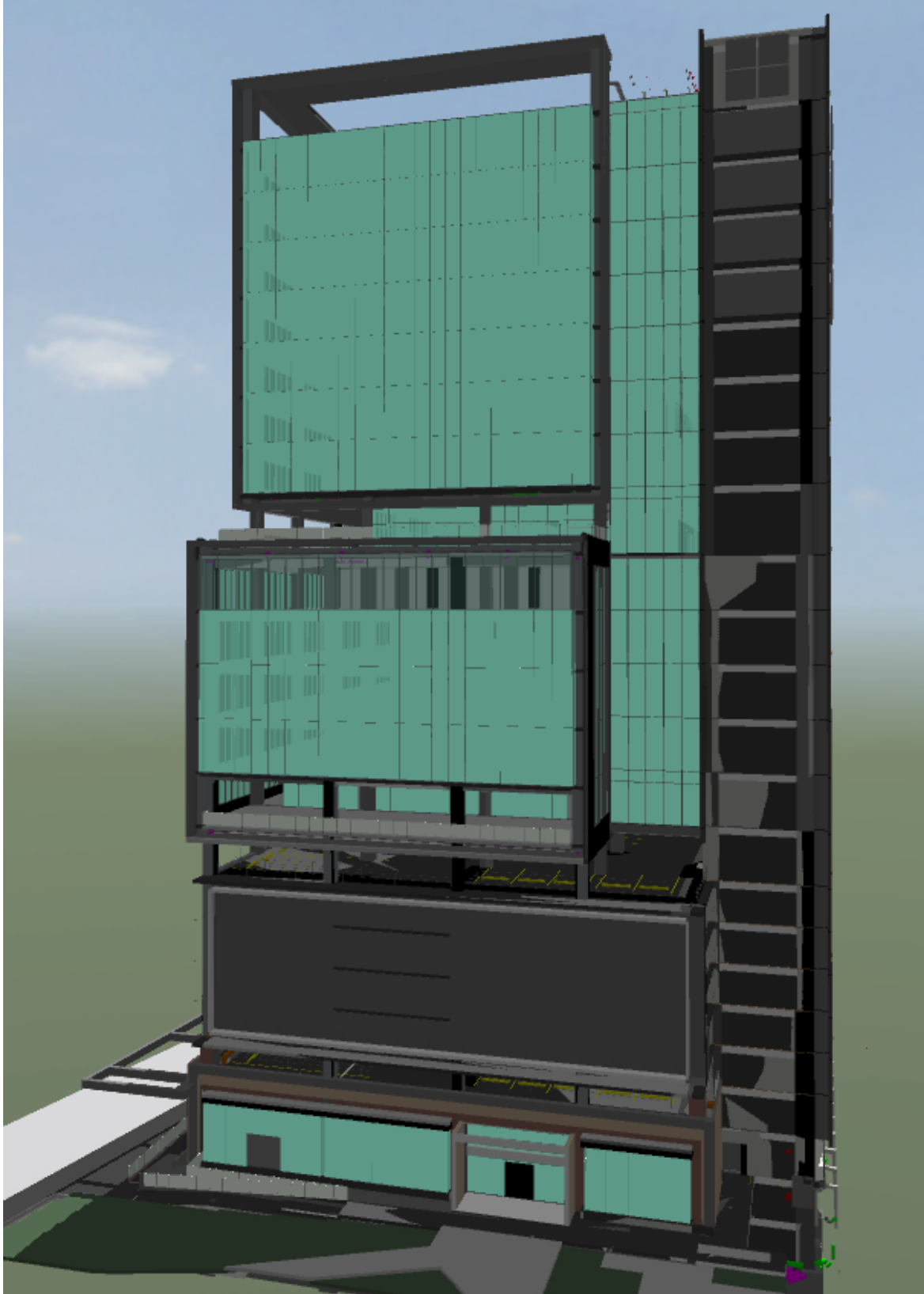


Ilustración 60. Fachada norte. Fuente: Extralum (2019)

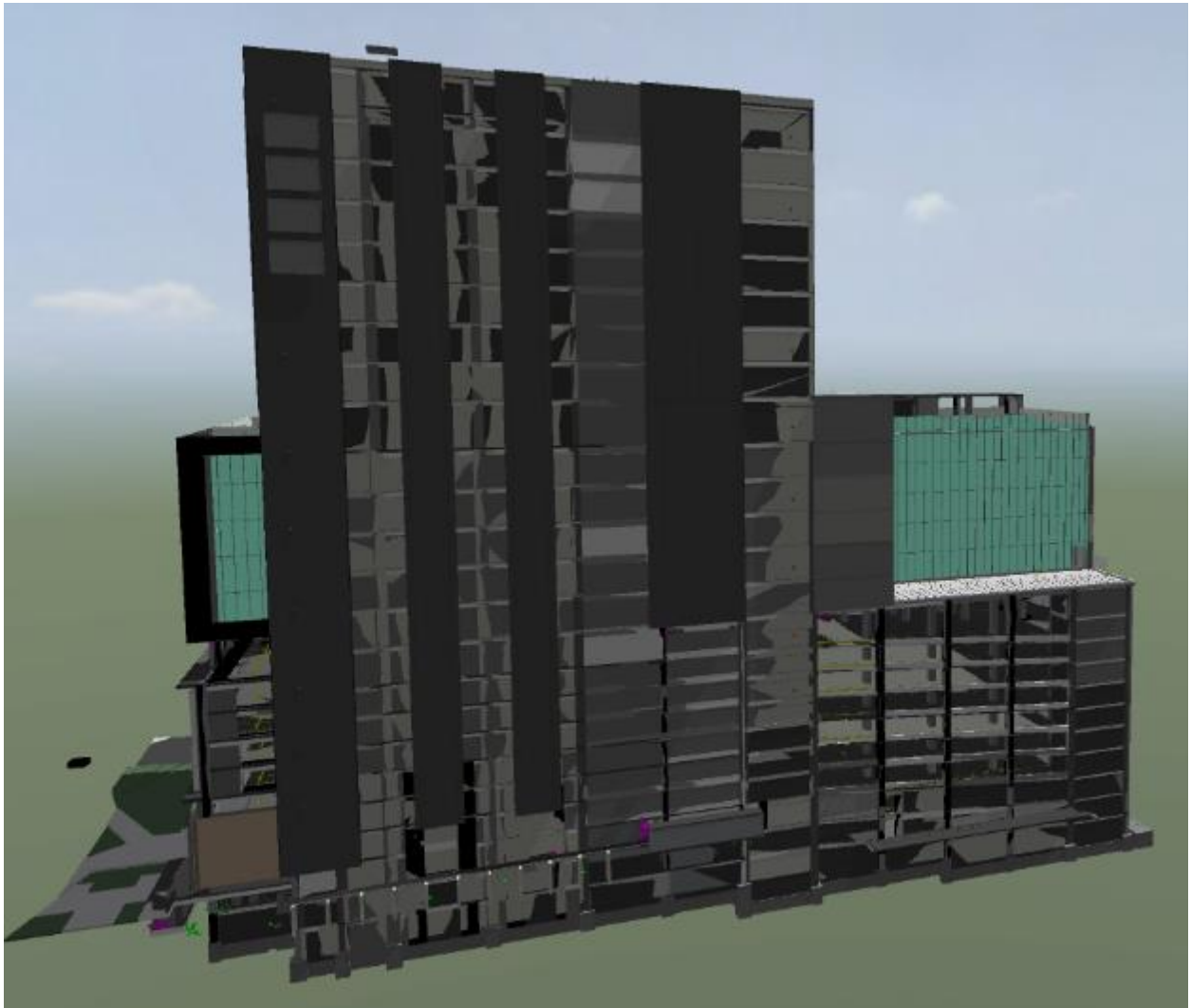


Ilustración 61. Fachada oeste. Fuente: Extralum (2019)

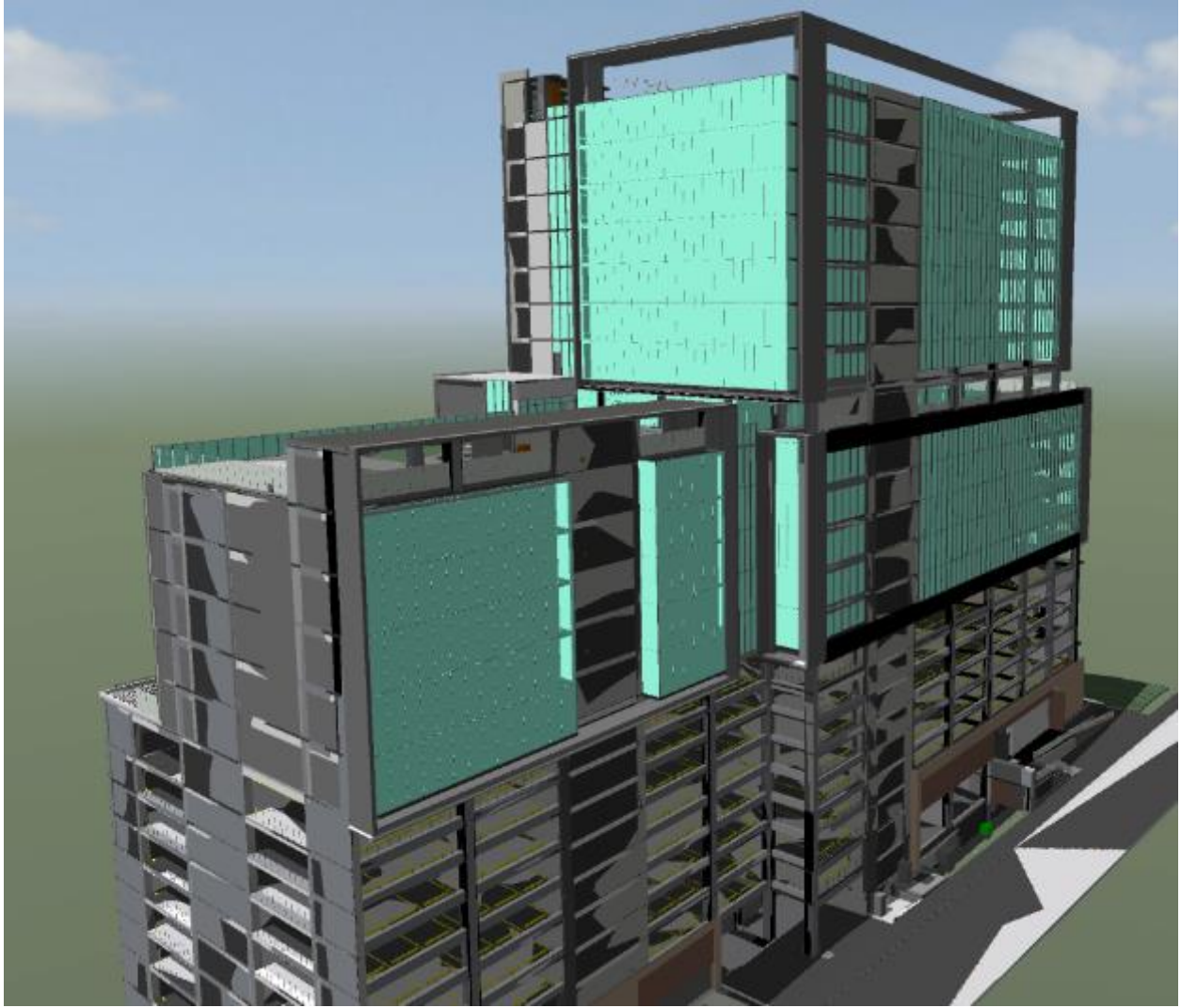


Ilustración 62. Fachada sureste. Fuente: Extralum (2019)

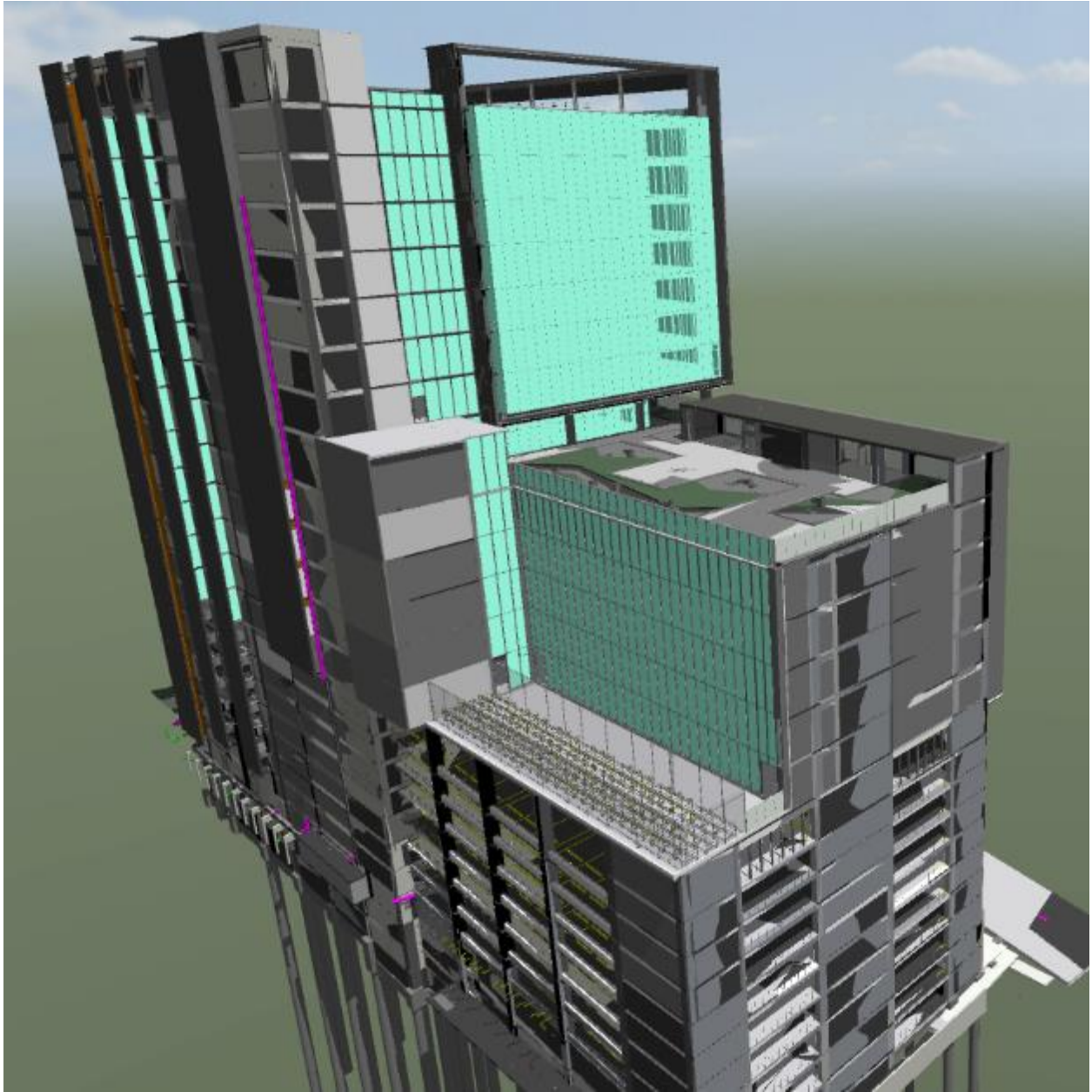


Ilustración 63. Fachada suroeste. Fuente: Extralum (2019)



Ilustración 64. Etapas tempranas del proyecto. Fuente: Propia (2019)



Ilustración 65. Inspección sobre protección silicón. Fuente: Propia (2019)



Ilustración 66. Inspección sobre plomos y nivelación. Fuente: Propia (2019)



Ilustración 67. Etapas tempranas de la instalación. Fuente: Propia (2019)



Ilustración 68. Etapas recientes instalación. Fuente: Extralum (2020)



Ilustración 69. Etapas recientes del proyecto. Fuente: Extralum (2020)



Ilustración 70. Etapas recientes del proyecto. Fuente: Extralum (2020)

Glosario

Alumina: Se refiere al óxido de aluminio.

Butiral de polivinilo (PVB): Polímero de gran adherencia, usado en el vidrio laminado.

EPDM: Caucho de etileno propileno dieno. Usado como empaque para el vidrio.

Etil-vinil-acetato (EVA): Polímero termoplástico, usado en el vidrio laminado.

Polietileno: Polímero simple.

Silicón: Sellador para vidrio y aluminio.

Sistema unitizado muro cortina: Paneles de vidrio y aluminio que componen la fachada.

Llamado en el presente proyecto “sistema unitizado”.

Vidriado hermético: Vidrio sellado con cámara de aire.

Bibliografía

- Aluvisa. (2018). Report Number H9830.01-801-32-r0 Intertek. Recuperado de Información del proyecto Extralum.
- Aluvisa/Extralum. (2019). Generalidades de anclaje muro cortina. Recuperado de Información técnica del proyecto.
- Aluvisa. Página principal. (2020). Quiénes somos. Recuperado de <http://aluvisa.com/acerca/>
- Arán Molina, Y. (2011). Fachadas Ligeras Muro Cortina. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.
- Cubero, A. (29 de noviembre de 2018). Obras verticales y espacios pequeños serán tendencia inmobiliaria. *La República*. Recuperado de <https://www.larepublica.net/noticia/obras-verticales-y-espacios-pequenos-seran-tendencia-inmobiliaria>
- Dow. (2018). *Manual Técnico Dow Americas*. Recuperado de Información del proyecto Extralum.
- Dow. (2019). Ensayo de adherencia y compatibilidad. Proyecto 19-008666 Torre Universal. Recuperado de Información del proyecto Extralum.
- Dow. (2020). Hoja de Datos Técnicos DOWSIL 791 SILICONE WEATHERPROOFING SEALANT. Recuperado de <https://www.dow.com/en-us/pdp.dowsil-791-weatherproofing-sealant.04082594h.html>

Dow. (2020). Hoja de Datos Técnicos DOWSIL 791 SILICONE BUILDING SEALANT. Recuperado de [https://www.dow.com/en-](https://www.dow.com/en-us/pdp.dowsil%25e2%2584%25a2%2B795%2Bsilicone%2Bbuilding%2Bsealant.01595717z.html)

[us/pdp.dowsil%25e2%2584%25a2%2B795%2Bsilicone%2Bbuilding%2Bsealant.01595717z.html](https://www.dow.com/en-us/pdp.dowsil%25e2%2584%25a2%2B795%2Bsilicone%2Bbuilding%2Bsealant.01595717z.html)

Dow. (2020). Hoja de Datos Técnicos DOWSIL 983 STRUCTURAL GLAZING SEALANT BASE AND CURING AGENT. Recuperado de <https://www.dow.com/en-us/pdp.dowsil-983-structural-glazing-sealant-base-and-curing-agent.04093625h.html>

Dow. (2020). Hoja de Datos Técnicos DOWSIL 1200 OS PRIMER. Recuperado de <https://www.dow.com/en-us/document-viewer.html?randomVar=6690540138771251750&docPath=/content/dam/dcc/document/s/en-us/productdatasheet/63/63-11/63-1178-01-dowsil-1200-os-primer.pdf>

Extralum. Página principal. (2019). Conózcenos. Recuperado de <https://extralum.com/conozcanos/>

Extralum. (2019). Especificación Técnica. ESC-115 Vidrio Flotado. 4-4. Recuperado de Información técnica Extralum.

Extralum. (2019). Especificación Técnica. ESC-237 Vidrio Templado Fuertex. 1-7. Recuperado de Información técnica Extralum.

Extralum. (2019). Especificación Técnica. IT-019 Aluminio anodizado. 1,2-6. Recuperado de Información técnica Extralum.

Extralum. (2019). Especificación Técnica. IT-024 Almacenamiento, Manipulación y mantenimiento de paneles de aluminio compuesto. 6-6. Recuperado de Información técnica Extralum.

Extralum. (2019). Especificación Técnica. IT-035 Generalidades del vidrio flotado. 10-10. Recuperado de Información técnica Extralum.

Extralum. (2019). Especificación Técnica. IT-041 Doble vidriado hermético. 5.5. Recuperado de Información técnica Extralum.

Extralum. (2019). Especificación Técnica. IT-043 Muro Cortina. 7-7. Recuperado de Información técnica Extralum.

Extralum. (2019). Especificación Técnica. IT-043 Muro Cortina. 7-7. Recuperado de Información técnica Extralum.

Extralum. (2020). Especificación Técnica. IT-006 Almacenamiento, manipulación y limpieza del vidrio. 8-8. Recuperado de Información técnica Extralum.

Extralum. (2020). Especificación Técnica. IT-008 Limpieza de perfiles de aluminio. 5-5. Recuperado de Información técnica Extralum.

Gensler. (2016). Revista *Desing Forecast*. Vida trabajo y diversión en el 2025. (2016). Páginas 3-44.

GlasseCViracon. (2019). Data Sheet Proyecto Torre Universal. Recuperado de Información técnica Extralum.

Hilti. (2019). Proyecto Torre Universal Folio 05-21-19-16-ME-HAC. Recuperado de Información técnica Extralum.

Hilti Inc. (2020). Firestop Sealant. Recuperado de https://www.hilti.com/c/CLS_FIRESTOP_PROTECTION_7131/CLS_FIRESTOP_SEALANTS_SPRAYS_7131/r4775

Hilti North American. (2014). Especificaciones técnicas del proyecto *Product Technical guide. Hilti Anchor Channel (HAC) Technical Guide*.

Hilti Mexicana, S.A. de C.V. (2019). Especificaciones técnicas del proyecto. Folio 05-21-19-16 – ME – HAC.

Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica. (2020). Datos climáticos estación Zapote. Recuperado de <https://www.imn.ac.cr/mapa>.

Kaufman, J. G. (2000). *Introduction to Aluminum Alloys and Tempers*. ASM International, 2000. ProQuest. Ebook Central Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/redcraiebooks/reader.action?docID=3002316&query=aluminium>

Latino worker safety center, OSHA Compliant Safety Training. (2015). *Protección contra caídas en la construcción*. Recuperado de <https://lwsc.org/>

Lauret Aguirregabiria, B. (2018). Evolución Histórica Muro Cortina, Lucernarios y Vidrio Estructural. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de <http://oa.upm.es/52520/>

Lizano, E. (19 de diciembre de 2018). Construcciones verticales en Costa Rica aumentaron un 400% en los últimos 30 años. *CB 24 Noticias Centroamérica*. Recuperado de <http://cb24.tv/2018/12/19/construcciones-verticales-en-costa-rica-aumentaron-400-en-los-ultimos-30-anos/>

Mark, E., Erman, B. y Roland, M. (2013). *Science and Technology of Rubber*. Elsevier Science & Technology,. ProQuest Ebook Central, Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/redcraiebooks/detail.action?docID=1192230&query=epdm>

Obando, J. (2014). Documento en línea: *Tratamientos Térmicos para Aluminio*. Recuperado de https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/33872975/tratamientos_termicos.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DPeriodista_Metal_Actual.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20200224%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20200224T004403Z&X-Amz-Expires=3600&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Signature=fc2811625911d6d44d129c6feb73f6e96f69c4b0c02bb270a40f2b405f695245

Owens Corning. (2017). Thermafiber FireSpan 90 & FireSpan 40. Recuperado de <https://www.owenscorning.com/insulation/products/thermafiber-firespan-90-40-curtain-wall-insulation>

Petzl. (2020). Mundo vertical, catálogo profesional 2020. Recuperado de <https://www.petzl.com/US/en/Professional/Downloads-eBooks/catalog-pdf>

Project Management Institute, Inc. (2013). *Guía del PMBOK, Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos*. Quinta edición. Pensilvania, EE.UU: Project Management Institute, Inc.

Saint Gobain Glass. (E.d) (2002). *Manual del vidrio Saint-Gobain*. Plazola Editores. México.

FIN

MANUAL DE REQUERIMIENTOS
CONSTRUCTIVOS E INSTALACIÓN
PARA EL SISTEMA DE FACHADAS
PREFABRICADAS UNITIZADAS DE
MURO CORTINA EXTRALUM.

Planificación y coordinación del proyecto

Cómo primer paso de los requerimientos para una buena instalación del sistema unitizado de muro cortina, está la planificación y coordinación del proyecto. Es importante como primer paso definir el equipo humano que coordinará el proyecto, quienes desempeñaran el equipo de dirección y coordinación, tanto en obra como en una posible oficina de planificación. Además, también importante definir el equipo humano que se encargara de todo el trabajo operativo y de instalación. En todo momento estos dos equipos deben estar estrechamente coordinados bajo una comunicación fluida y constante. El éxito del proyecto en gran parte radica del talento humano que se le suministre al proyecto.



Importante: Algunos puntos que debe definir el equipo de trabajo son:



EQUIPO DE DIRECCIÓN Y COORDINACIÓN DEL PROYECTO.



PLANIFICACIÓN DE LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE ANCLAJE.



ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO Y CONTRATO.



CONTRATOS Y ESPECIFICACIONES POR PARTE DE LOS PROVEEDORES.



CRONOGRAMA DEL PROYECTO.



LISTA DE MATERIALES, INSUMOS Y SERVICIOS.

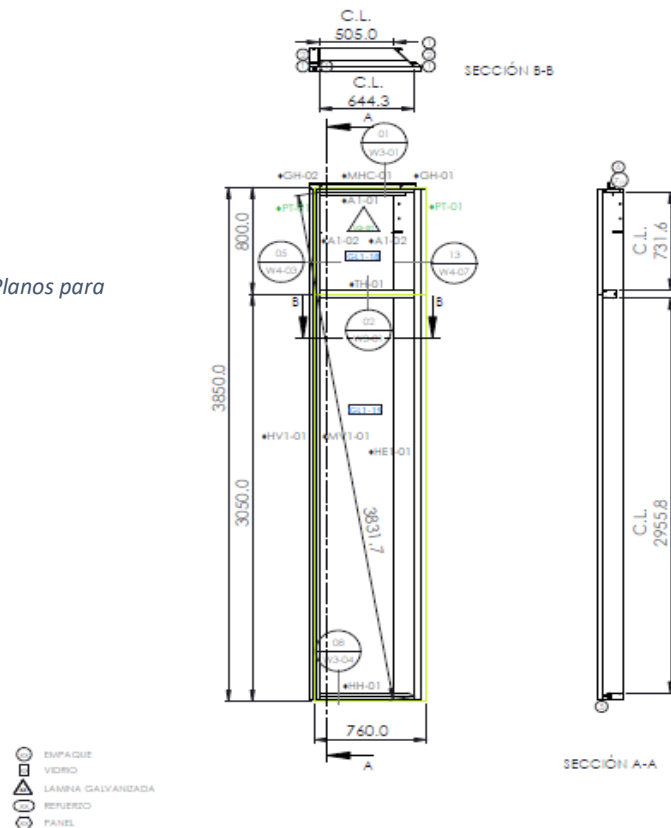


REVISIÓN DE LOS RENDIMIENTOS POR PISO.

Etapa de fabricación

Debe suministrarse a producción los planos, fichas técnicas, equipo y maquinaria necesaria para la correcta fabricación de los paneles y componentes del sistema unitizado de muro cortina. Deben pactarse también los tiempos de entrega de los componentes para ser despachados a obra. Producción debe asegurar el debido control de recibo de materias primas, así como el control de las cantidades recibidas, cantidades utilizadas y cantidades de desperdicio. Esta información debe ser del conocimiento de la dirección del proyecto debido a que un no cumplimiento con alguno de estos puntos compromete la entrega del proyecto y puede verse afectado económicamente la empresa por no poder cumplir al cliente con lo pactado.

Ilustración 1. Ejemplo de Planos para Fabricación.



Desenvidriado



Importante: Produccion debe garantizar la correcta aplicación de silicón en el envidriado de los paneles. Respetando las pruebas de desenvidriado. Estas pruebas deben realizarse:

- 1 unidad de los primeros 10 paneles producidos.
- 1 unidad de los siguientes 40 paneles fabricados.
- 1 unidad de los siguientes 50 paneles producidos.
- Y luego 1 unidad de los siguientes 100 paneles fabricados

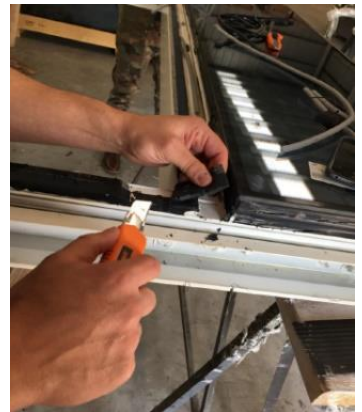


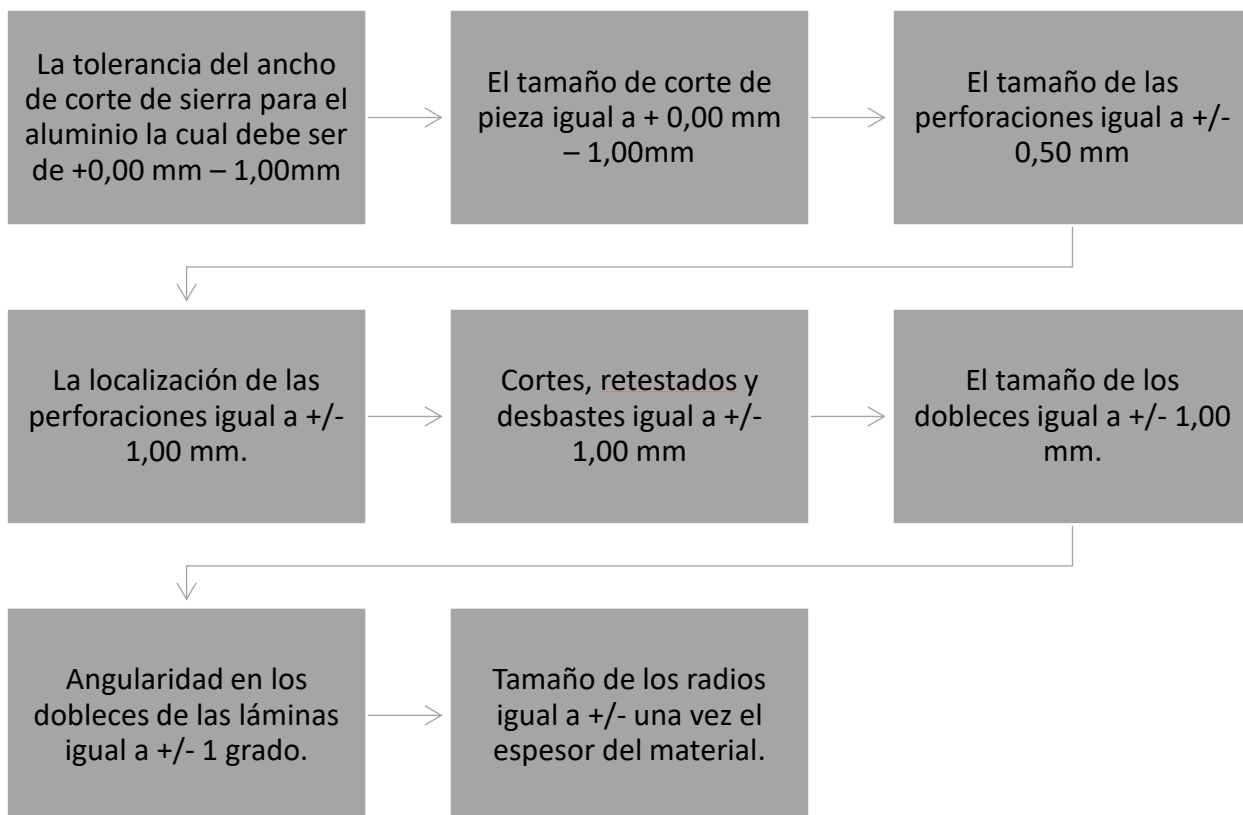
Ilustración 2. Desenvidriado o descristalizado.

Además, producción debe tener sus propias pruebas de secado para el silicón, esto como parámetro para decidir cuándo se moviliza un panel.

Tolerancias de fabricación

Deben tenerse en cuenta las siguientes tolerancias a la hora de fabricar los paneles, es recomendable el uso de sierras automáticas:

Tabla 1. Tolerancias fabricación.



Traslado de materiales.

Se debe contar con canastas diseñadas para el traslado de paneles a obra desde fábrica. Estas canastas deben tener las siguientes dimensiones:

- 3000 mm de largo.
- 1240 mm de ancho.
- 1648 mm de alto.

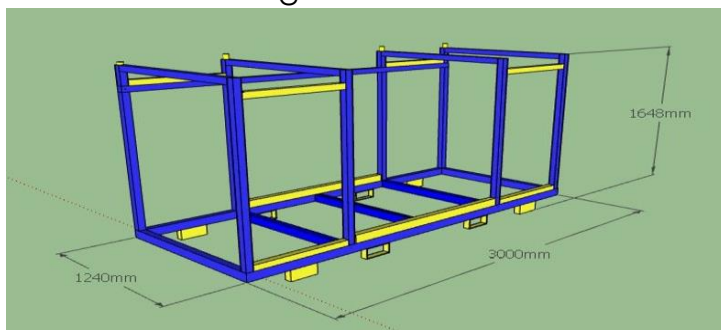


Ilustración 3. Canasta modelo.

Esto permitirá el traslado de hasta 6 paneles, con pesos que van desde los 250 kg hasta 350 kg por panel. Debe contemplarse estos pesos a la hora del diseño de las canastas. El diseño de las canastas es estructural, por lo que tiene que considerarse la intervención de un profesional en estructuras para el diseño de estas.

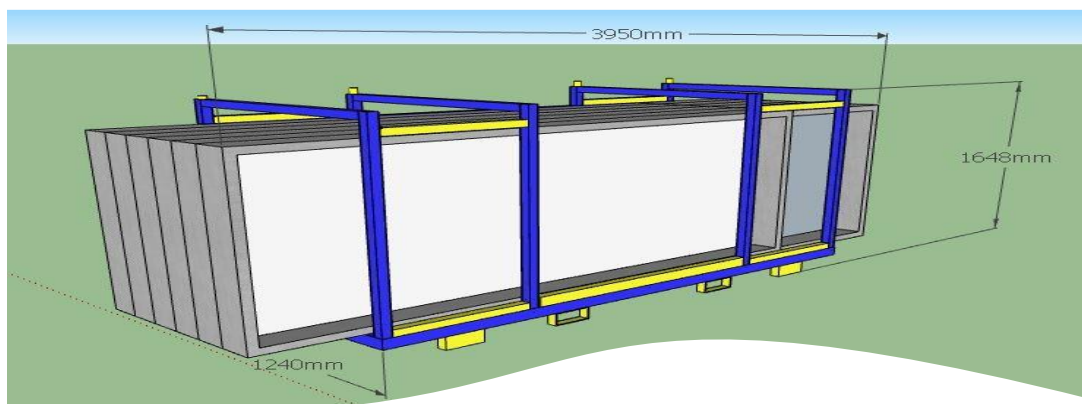


Ilustración 4. Carga de paneles.

Se debe coordinar con las grúas del proyecto las fechas y horas de cuando se requiere descargar paneles del transporte a la obra. Esta descarga será de canastas las cuales transportan de una manera eficiente los paneles de fábrica a obra.



Ilustración 5. Descarga en obra.



Importante: Revisar con la dirección de la obra las especificaciones técnicas de la grúa del proyecto para verificar que cumpla con la capacidad de levante requerida dado el peso de los paneles y configuración estructural de las canastas

Optimice los movimientos de la grúa, garantizando que en cada ciclo pueda subir canastas con producto y bajar canastas vacías del edificio al camión.

Planificación y dirección del proyecto.

Estas son tareas que deben ser coordinadas por la dirección del proyecto.

Personal del proyecto.

Para identificar la cantidad de personal requerida, definir sus funciones y relaciones laborales con la que la persona debe colaborar, así como definir que conocimientos laborales debe tener o en cuales debe ser capacitado se deben crear perfiles de puesto para todos los integrantes del equipo humano. Además de identificar a cuáles riesgos laborales puede estar expuesto y con esto prevenir y proteger al trabajador, se deben crear perfiles de puesto, los cuales deberán ser archivados en forma física y virtual para su consulta o gestión de capacitaciones. Esto se debe coordinar con el departamento de Recursos Humanos. Se brinda un formato a continuación que sirve de base para la creación de perfiles de puesto:

Fecha de elaboración del documento:	_____
Versión del documento:	_____
Nombre de la empresa:	_____
Proyecto:	_____
Descripción del puesto:	_____
Persona encargada o coordinador:	_____

Tareas y responsabilidades del puesto:	
	1) _____
	2) _____
	3) _____
	4) _____
	5) _____
	6) _____
	7) _____
	8) _____
	9) _____
	10) _____
	11) _____
	12) _____
	13) _____

Conocimientos técnicos del puesto:	
	1) _____
	2) _____
	3) _____
	4) _____
	5) _____
	6) _____
	7) _____
	8) _____
	9) _____
	10) _____
	11) _____
	12) _____
	13) _____

Relaciones Profesionales:	¿Para qué?
_____	_____
_____	_____
_____	_____

Personal y perfiles de puesto a cargo:	¿Para qué?
_____	_____
_____	_____
_____	_____

Riesgos laborales del puesto respecto a salud ocupacional:	
	1) _____
	2) _____
	3) _____
	4) _____
	5) _____
	6) _____
	7) _____

Versión # _____

Tabla 2. Hoja de seguimiento al puesto.

Creación de hoja de cálculo para la administración de materiales.

Se debe contar con un control en base a una tabla de cálculo, que permita estimar por artículo cual es la cantidad requerida por piso y establecer un almacenamiento máximo requerido, para crear pedidos no excesivos pero que tampoco que sean insuficientes y que atenten contra el desarrollo del proyecto. Esto puede hacerse en Excel, considerando la cantidad de material por piso y formulando cuanto es el inventario deseado, cuanto se tiene en cantidad y en cobertura por piso. Esto ayuda a evitar quedar desabastecidos. A continuación, se detalla un formato que puede ser utilizado:

Proveedor	Elemento	Descripción	Ud.
Grecia	ACCESORIOS / ANCLAJE DE ALUMINIO	REFUERZO SOLERA (calza)	pzas
Grecia	ACCESORIOS / ANCLAJE DE ALUMINIO	ANCLA MACHO	pzas
Grecia	ANCLAJE Y REFUERZOS EN FE	ANCLA DE FIERRO TIPICA	PZAS
Grecia	ANCLAJE Y REFUERZOS EN FE	ANCLA DE FIERRO	PZAS
Grecia	ANCLAJE Y REFUERZOS EN FE	ANCHOR CHANNEL HAC-40 91/300 F	PZAS
Grecia	ANCLAJE Y REFUERZOS EN FE	TORNILLO CABEZA DE MARTILLO HBC-C 8 8F, M12X64MM	PZAS
Grecia	EMPAQUES	PERFIL RESPALDO PARASOL EPDM DUREZA 70 SHORE A	ML
Grecia	EMPAQUES	PERFIL PEINE PARASOL EPDM DUREZA 70 SHORE A	ML
Grecia	EMPAQUES	PERFIL CHICKEN HEAD EPDM ASTM C-864	ML
Grecia	EMPAQUES	HONGO PARA ZOCLO EPDM DUREZA 70 SHORE A	ML
Grecia	ALUMINIO P/OBRA	ANGULO ZOCLO	tramos
Grecia	ALUMINIO P/OBRA	ZOCLO	tramos
Grecia	CINTAS & BACKER ROD	CINTA TESA DOBLE CARA DE 2X12MM NEGRO	ROLLO
Grecia	CINTAS & BACKER ROD	BACKER ROD 3/8" CAJA DE 640M.	CAJA
Grecia	CINTAS & BACKER ROD	BACKER ROD 3/4" CAJA DE 335M.	CAJA
Grecia	AISLANTES	LANA MINERAL 0.61X 1.220 DE 3" FF-64	PZA
Grecia	AISLANTES	LANA MINERAL 0.61X 1.220 DE 3" FSK. FF-128	PZA
Grecia	AISLANTES	SELLO CORTAHUMO HILTI	CUBETA
Grecia	SELLO DE ENSAMBLE Y ENVIDRIADO	SELLO DC 791 (TOOLING OBRA)	SALCHICHA
Grecia	SELLO DE ENSAMBLE Y ENVIDRIADO	Cinta ultraspan 8" x 10MTS'	ROLLO
HEREDIA	TORNILLOS	Tornillo 10 x 3/4 Pan Phi Galvanizados	un
HEREDIA	TORNILLOS	Tornillo 8 x 1 1/4 Pan Phi Negro	un
HEREDIA	REMACHES	Remaches 3/16 x 3/4 Negro	un
HEREDIA	TORNILLOS	Tornillo(#14 x 1 1/4) 5/16 x 1 1/4	un
HEREDIA	TORNILLOS	Tornillo 3/8 x 3 3/4 anclaje con camisa	un
HEREDIA	CINTAS & BACKER ROD	Masking tape 3/4 AZUL	un
HEREDIA	LIMPIEZA	ALCOHOL	GAL
HEREDIA	LIMPIEZA	MECHA	BOLSAS
HEREDIA	SELLADOR	CORTA FUEGO	CUBETAS 5 GAL
HEREDIA	TORNILLOS	Spander plástico #6	un
HEREDIA	CINTAS & BACKER ROD	CINTA ALUMINIO 2 pulg	un
HEREDIA	CINTAS & BACKER ROD	CINTA PELIGRO	un

Tabla 3. Cuadro de pedido de materiales.

Piso 9	Piso 10	Cantidad total	Factor	Existencia para inventario	Consumo por piso promedio	Cobertura en pisos Promedio	Punto Reorden	Punto máximo	Faltante	Tránsito 1 semana	Pedido
430	356	786	1	381	381	1.0	2	3	761		761
430	356	786	1	381	381	1.0	2	3	761		761
44		44	1	44	44	1.0	2	3	88		88
10		10	1	10	10	1.0	2	3	20		20
248	185	433	1.07	144	144	1.0	2	3	318		318
449	330	779	1.08	256	256	1.0	2	3	573		573
681	481	1162	1	369	369	1.0	2	3	738		738
1063	370	1433	1	369	369	1.0	2	3	738		738
667	240	907	1	223	223	1.0	2	3	446		446
336	187	523	1	165	165	1.0	2	3	331		331
23	23	46	1	23	23	1.0	2	3	46		46
23	23	46	1	23	23	1.0	2	3	46		46
30	2	32	1	34	42	0.8	2	3	92		92
3	3	6	1	2	2	1.0	2	3	5		5
4	1	5	1	1	1	1.0	2	3	3		3
47	39	86	1	29	29	1.0	2	3	58		58
180	83	263	1	84	84	1.0	2	3	167		167
1	1	2	1	1	1	1.0	2	3	2		2
78	6	84	1	100	100	1.0	2	3	200		200
2	0	2	1	0	0	1.0	2	3	1		1
2	2	4	1	600	600	1.0	2	3	1,200		1,200
1000	1000	2000	1	1,600	1600	1.0	2	3	3,200		3,200
1200	1200	2400	1	500	500	1.0	2	3	1,000		1,000
1100	1100	2200	1	200	200	1.0	2	3	400		400
1300	1300	2600	1	120	120	1.0	2	3	240		240
20	20	40	1	10	10	1.0	2	3	20		20
2	2	4	1	3	3	1.0	2	3	6		6
5	5	10	1	15	15	1.0	2	3	30		30
2	2	4	1	4	4	1.0	2	3	8		8
2000	2000	4000	1	200	200	1.0	2	3	400		400
160	160	320	1	36	36	1.0	2	3	72		72
1.05	26	27	1	1	1	1.0	2	3	2		2

Tabla 4. Parámetros del cuadro de pedidos materiales.

Se debe especificar quien provee el producto, el elemento al que pertenece el artículo. También detallar la descripción de como se conoce el artículo, su unidad de medida y la cantidad a requerir por piso. Esto para darle una identidad a cada línea.

Se debe considerar cuanto es la existencia física de los artículos disponibles, se debe dividir esta cantidad entre el consumo por piso y así obtener una cobertura. Esta cobertura debe ser evaluada contra un punto mínimo de inventario deseado y de ser menor al momento de la revisión, debe generar un pedido que no sobrepase la cantidad máxima deseada. Puede estimarse alguna variación de la cantidad a consumir como factor de variación. Además, si existe material en tránsito que no se deba contemplar en el pedido.



Importante: Se debe tomar en cuenta equipos de comunicación, equipo de seguridad personal, insumos como tornillos, limpiadores y herramientas etc., dentro de las listas de requerimiento de inventario en obra.

Cronograma de trabajo.

Es a través de un cronograma de trabajo que se puede establecer el tiempo, recursos, costo y personal responsable para el proyecto. Este cronograma debe revisarse día a día por parte del director del proyecto y servirá como punto de referencia para sus reuniones con todos los involucrados en el proyecto, llámese proveedores, clientes, personal en obra, fábrica y demás interesados.

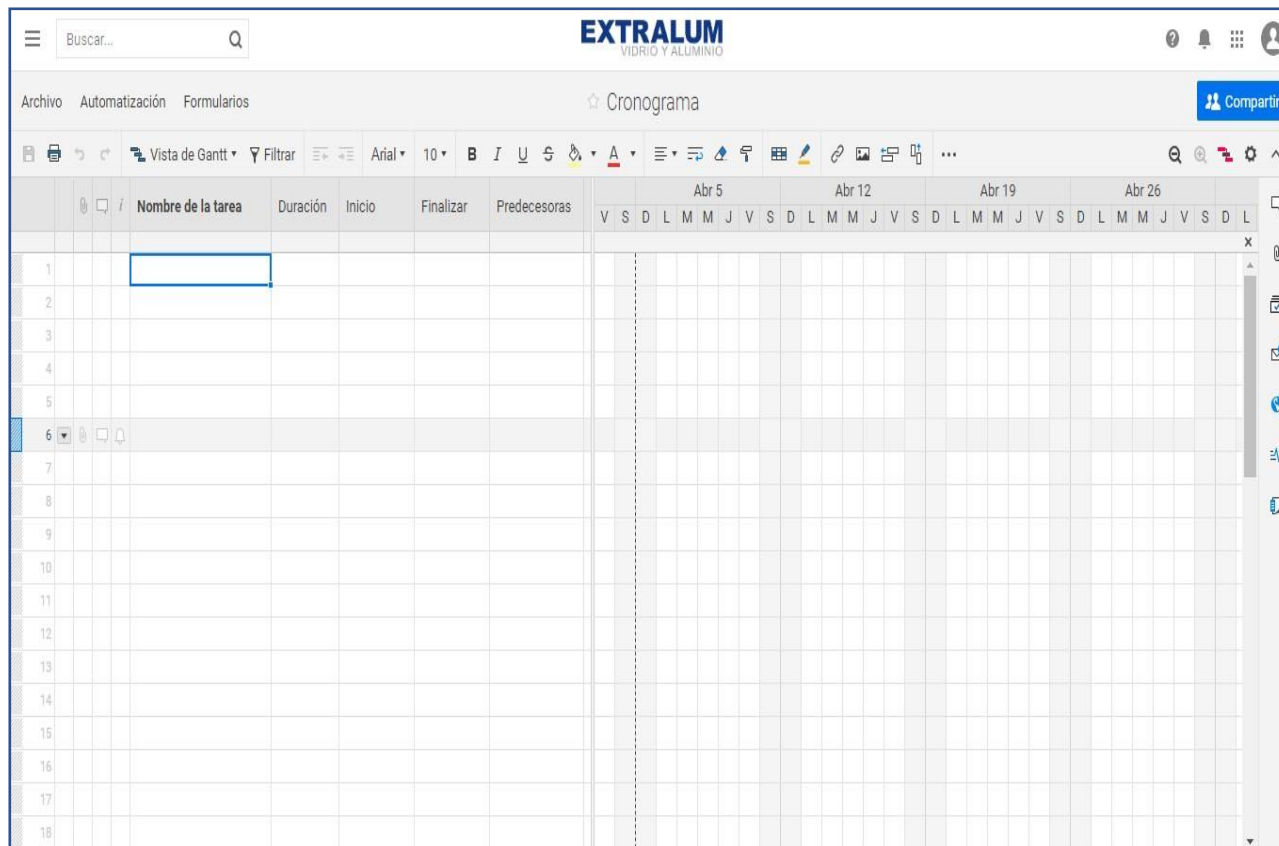


Ilustración 6. Cronograma levantado en Smartsheet, licencia Extralum.

Lectura de planos, gestión de la instalación.

Se deben revisar los planos de trazado de ejes del proyecto. Los ejes de referencia del proyecto serán la referencia para ubicar la posición de los anclajes HAC-40 91/300 F en cada losa de concreto.



Importante: Estas ubicaciones deberán verse con el cliente o la empresa encargada de la construcción estructural debido a que es una etapa que se debe construir en conjunto con el colado de concreto de la losa.

A continuación, en la ilustración 34, se muestra como se referencia la posición de los anclajes HAC-40 91/300 F en el plano de cada losa.

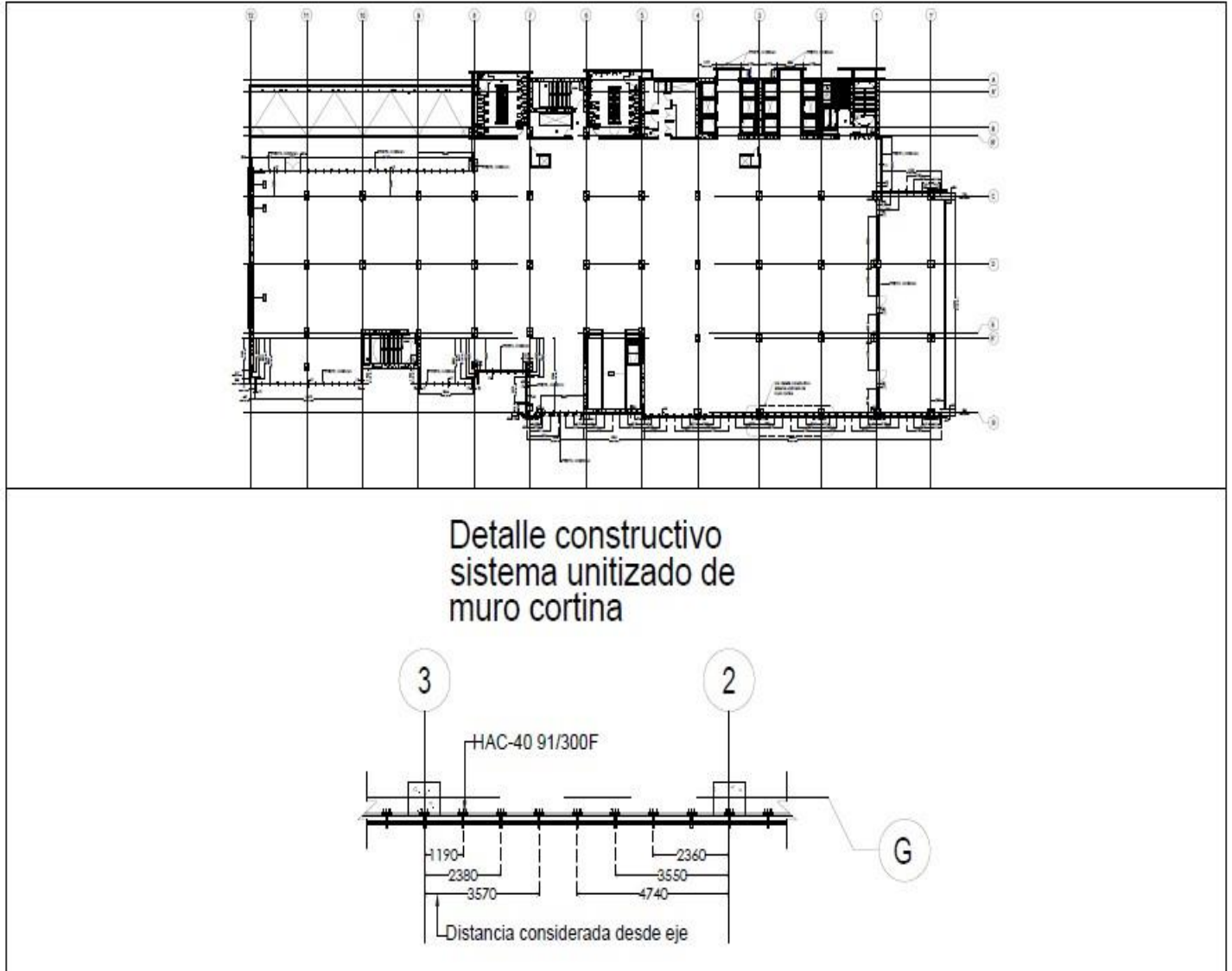


Ilustración 7. Ejemplo de plano.

Componentes

Anclaje HAC-40 91/300 F



Diseño en forma de “V”



Encargado de transmitir la cargas a la losa de concreto junto al perno.



Se instala cuando se coloca el concreto de la losa.

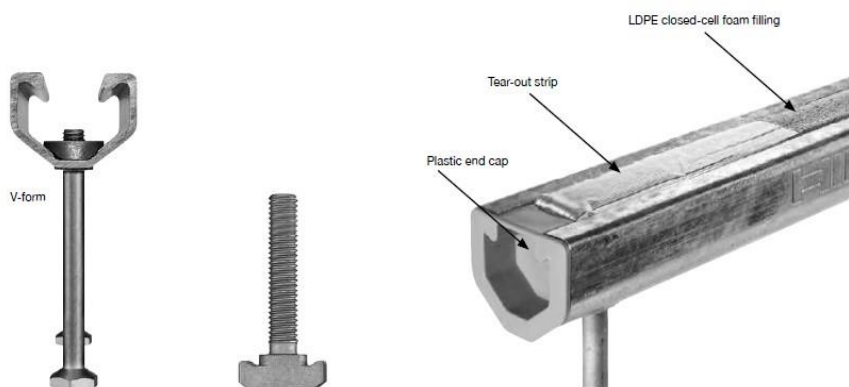


Ilustración 8. Ancla colocada dentro de la losa de concreto.

Tornillo cabeza de martillo HBC-C8.8



Electro galvanizado.



Este Tornillo permite la unión de las anclas, es el puente conector entre lo ensamblado previamente entre la losa de concreto (Ancla HAC 40) y las anclas que conectan cada panel previamente ensamblado en fabrica



Rápida instalación.

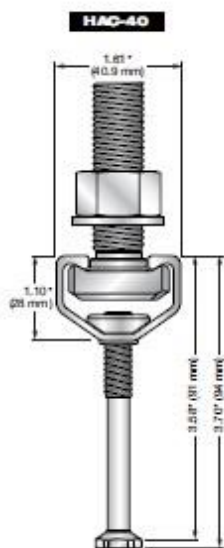


Ilustración 9. Ubicación del tornillo dentro del ancla.



Ilustración 10. Apariencia de tornillo cabeza martillo.

Sistema de anclaje

Este sistema se compone de anclas que se encuentran embebidas dentro de la losa de concreto ya colada y fraguada. Esta configuración es evaluada previamente por estudios realizados. Se utilizan anclas tipo HAC-40, las mismas se instalan directamente dentro de la losa de concreto. El sistema de anclaje está compuesto por:

- Ancla macho.
- Ancla hembra.
- Refuerzo Ancla.

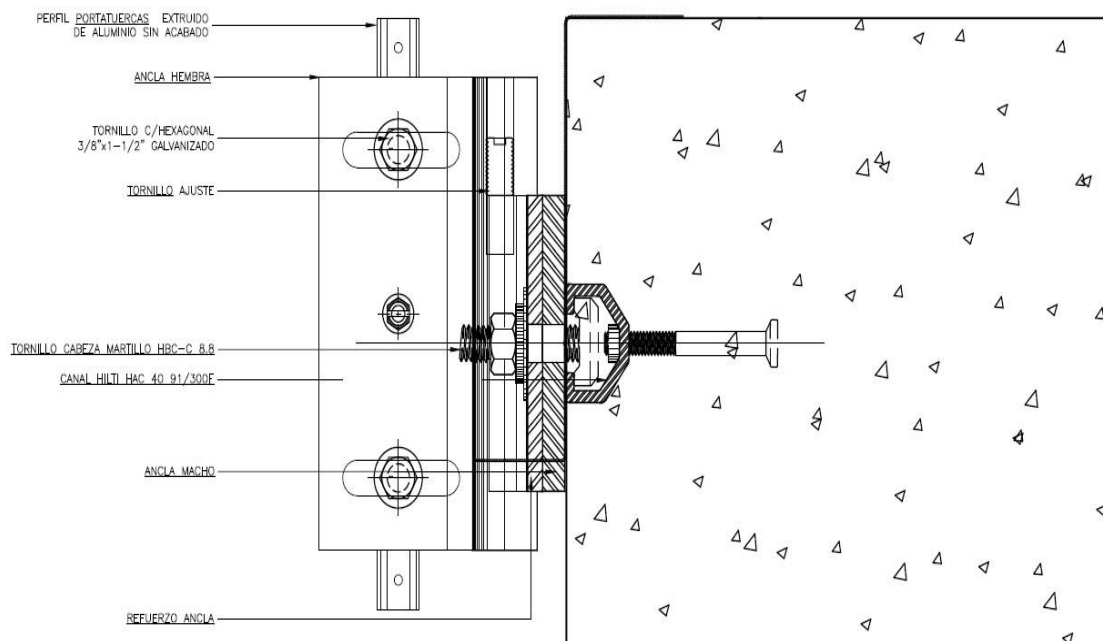


Ilustración 9. Vista estructural del sistema de anclaje.



Ilustración 10. Vista del sistema de anclaje armado en sitio.

Instalación de anclajes en losa de concreto.

Se deben seguir los siguientes pasos para la instalación del sistema de anclajes en obra:



Ilustración 11. Anclajes.



Ilustración 12. Colocación anclaje en encofrado.



Ilustración 13. Mediciones.

1. Se debe verificar el estado físico de los anclajes HAC-40 91/300 F. Los mismos no deben tener golpes, partes incompletas, o dobles de alguna sección.
2. Se debe identificar donde será colocado el anclaje según los ejes de referencia mostrados en los planos.
3. Existen tolerancias que se deben respetar a la hora de construir las losas de concreto. Las tolerancias del concreto terminado serán:
 - a. $-5\text{mm} + 10\text{mm}$ en la sección de cualquier elemento, para salidas de borde de losa y trabes se permite una tolerancia de $\pm 12\text{mm}$.
 - b. En el alineamiento horizontal y vertical de aristas y superficies de losas y vigas se permite una tolerancia en todo lo largo de $\pm 10\text{mm}$.

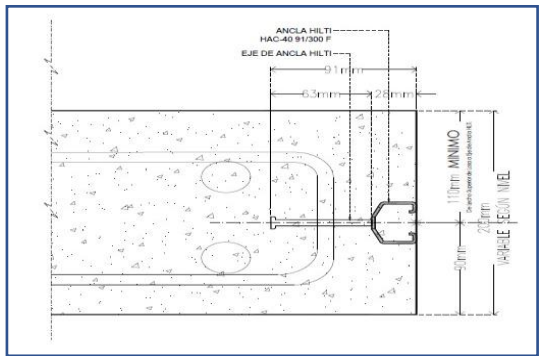


Ilustración 15. Vista lateral, anclaje dentro de losa.

Estos datos deben ser confirmados por la empresa constructora estructural. Estas tolerancias deben ser verificadas después de haber desencofrado. Las tolerancias del concreto deben ser previstas y revisadas para cada proyecto ya que poseen relación directa con la capacidad de ajuste que tenga el sistema unitizado de muro cortina por lo cual su posicionamiento estará estrechamente relacionado a las tolerancias del concreto. Las cotas para el anclaje de losa están referidas a borde exterior de la losa y lecho superior de la misma, esto sin acabado en piso.

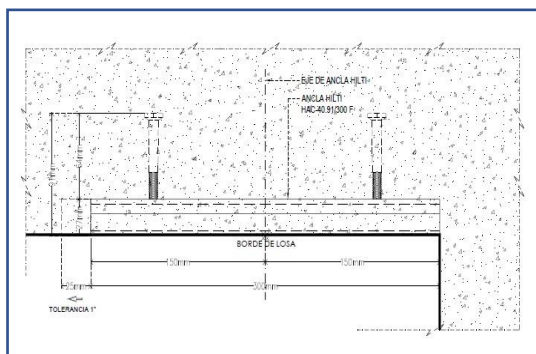


Ilustración 16. Anclaje vista en planta.

4. Los anclajes HAC-40 serán instalados a partir de su eje central o centroide, coincidiendo este con el eje de referencia o con la cota indicada en planos.
5. Los anclajes HAC-40 91/300 F deben colocarse con el borde del canal contra el encoframiento, ya que una vez que el concreto sea colado y al

retirar el encoframiento el canal debe quedar expuesto al exterior del borde, con la libertad de retirar la espuma temporal llamada “LDPE Foam”, la misma que su función es solo proteger el canal de invasión de materiales o incrustaciones.

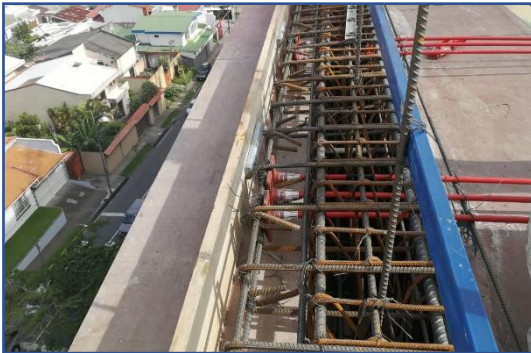


Ilustración 17. Sección de encofrado.

6. La profundidad del empotramiento efectivo del anclaje HAC-40 91/300 F debe ser de 91 mm esto desde el borde exterior de losa. La longitud del canal será de 300 mm. La distancia entre anclas será de 250 mm, siendo las anclas las secciones del anclaje HAC-40 91/300 F que salen del canal y se profundizan dentro de la losa. El ancho del canal es de 41 mm y su altura es de 28mm. Para la colocación del anclaje HAC-40 91/300 F se sugiere marcar en el encofrado la posición del eje de referencia previamente puesto en obra por el cliente o constructor estructural, esta marca debe coincidir con el eje central o centroide del anclaje HAC-40 91/300 F.
7. El encoframiento debe garantizar la suficiente impermeabilidad para impedir pérdidas de

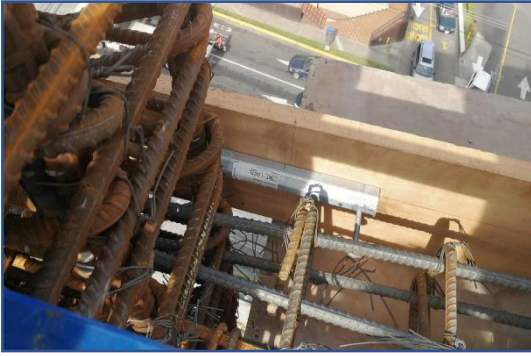


Ilustración 19. Colocación de anclajes encofrado.

concreto. El anclaje HAC-40 91/300 F debe ir totalmente embebido en el concreto, a excepción de su canal que debe ir expuesto al exterior, esto quiere decir que el constructor debe tener en cuenta a la hora de colocar el concreto que este posea los aditivos necesarios, el vibrado necesario o ambos, para que mediante esta técnica el anclaje HAC-40 91/300 F puede ser rodeado en su cuerpo y anclas y queden firmemente adheridos como un solo cuerpo al concreto.

8. El encofrado debe tener un correcto arriostramiento que evite desplazamientos o movimientos del anclaje cuando se está colando el concreto. El anclaje HAC-40 91/300 F debe adherirse al encofrado mediante clavos, en algunas ocasiones pueden colocarse varillas de acero que junto alambre acero den soporte al anclaje.
9. Se debe verificar desde el eje o nivel colocado, el cual puede ser una cuerda, la distancia o altura



Ilustración 20. Configuración sistemas de anclaje.

del anclaje HAC-40 91/300 F colocado, el cual debe cumplir una distancia de 110 mm mínimo desde el lecho superior de la losa terminada sin acabado de piso. A partir de esta distancia se debe medir la distancia hacia los bordes, a cada borde una distancia de 150 mm. Si se trata de anclajes en esquinas, cada anclaje HAC-40 91/300 F debe instalarse a 50 mm del borde de losa.

10. Se puede verificar el nivel del anclaje utilizando un nivel de gota y colocando este de manera perpendicular a la cinta métrica, la cual debe estar apoyada en cada sección del anclaje HAC-40 91/300 F a verificar, recomendando hacer como mínimo 3 verificaciones, dos en los extremos y una en el centro.

11. Una vez el concreto ha fraguado, y retirado el encofrado se debe verificar la posición y acabado de los anclajes HAC-40 91/300 F embebidos al concreto con el borde de canal expuesto hacia el exterior de losa. La espuma

temporal llamada “LDPE Foam” debe retirarse a la hora de la instalación, es de fácil manipulación ya que solo se toma una pestaña marcada en la espuma y se jala, la espuma saldrá del canal sin mayor problema.

Bahías para recibo de material.

Se deben construir bahías para el recibo de paneles en cada piso. Los mismos trasladados por las grúas del proyecto. Las bahías deben tener dimensiones de 2000 mm, desde borde de losa hacia el exterior y 5000 mm paralelo al borde de losa. Tiene que ser capaz de soportar las cargas vivas aportadas por las canastas y operarios, así como las que proporcione el peso de las canastas cargadas con paneles que van desde los 250 kg hasta los 350 kg, contemplando hasta seis paneles por canasta, además de las cargas muertas propias de la bahía. La estimación y diseño de la estructura de la bahía debe ser a cargo de un Ingeniero Civil, que garantice la seguridad en todo momento.

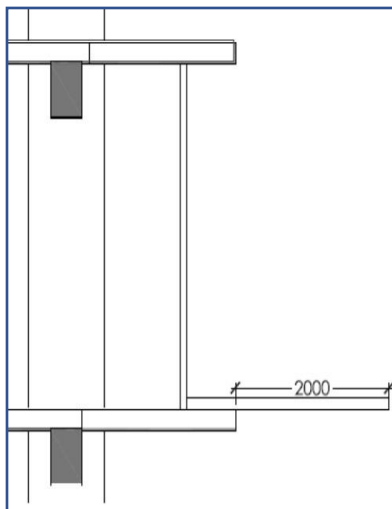


Ilustración 21. Bahías.

Grúas para instalación de paneles.

Se debe utilizar una grúa para el levantamiento y colocación de los paneles. Se recomienda al menos tres grúas para el avance de la instalación.

Se debe verificar lo siguiente de las grúas de instalación:



Ilustración 22. Levantamiento de paneles.

1. Se debe verificar que la grúa tenga la capacidad de levante requerido para el peso de los paneles a instalar, las grúas funcionan a partir de un centro de gravedad y un brazo de palanca, dependiendo de la posición de la carga y su brazo de palanca la capacidad de la grúa respecto a la carga puede ser suficiente o ser excedida, al suceder esto último se puede dar el vuelco y pérdidas materiales incluso hasta lamentablemente pérdidas humanas.
2. Es de mayor beneficio que la grúa sea alimentada por fuentes eléctricas portátiles o baterías con una duración aceptable para dar

poder durante toda la jornada laboral. Se debe tomar en cuenta los periodos de carga y los ciclos de operación de la grúa. para alcanzar las metas de instalación diarias.

3. Se debe designar al menos tres personas responsables para la operación de la grúa. También los mismos deben contar con la capacitación debida y haber leído los respectivos manuales de uso y seguridad.



Ilustración 23. Grúa de instalación.

Preparación de los paneles para instalación.

Los paneles una vez instalados forman una parte celular de la completa fachada del sistema unitizado de muro cortina, por lo cual es importante que las medidas, configuración y estado físico aceptable de los materiales, sean los correctos y que no tengan la necesidad de ser reparados o reemplazados una vez que ya se encuentren instalados, esto por no revisar estos puntos.



Ilustración 24. Inspección de paneles.

Se deben verificar defectos en el vidrio como puntos, burbujas o rayas, esto por una persona con buena visión que se encuentre a un metro de distancia del vidrio. Son permitidos defectos de menores a los 75mm en caso de rayas, o puntos y burbujas con una distribución de un defecto por cada 7 metros cuadrados de vidrio. Esto en conformidad con la norma ASTM C-1036-11 "Standard specification for flat glass". Debe además contar con el filme

protector. El aluminio debe encontrarse libre de rayas y los acabados deben coincidir en la totalidad del panel y con la totalidad de paneles circundantes.

A los paneles se les debe instalar la lámina de lana mineral marca Thermafiber provista por Owen Corning, marca que certifica la protección contra fuego. La lana mineral debe colocarse en la parte superior e inferior del panel. El objetivo de esto es que sirva de barrera anti-fuego entre los pisos. La lana mineral debe cubrir por completo el área no pueden quedar vacíos.

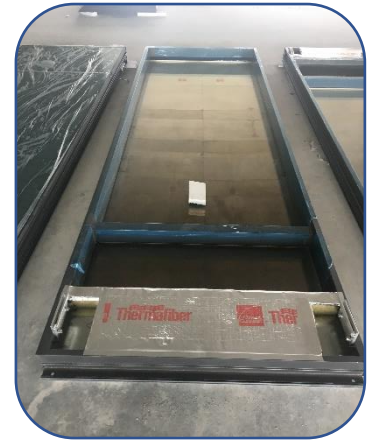


Ilustración 25. Panel en obra.



Importante: A los paneles se les debe instalar antes de colocar en su posición final el ancla hembra. Esto para que durante su instalación solo se dé un acople con el ancla macho y se evite algún desprendimiento de piezas en la instalación o bien daños en el sistema por una mala colocación.

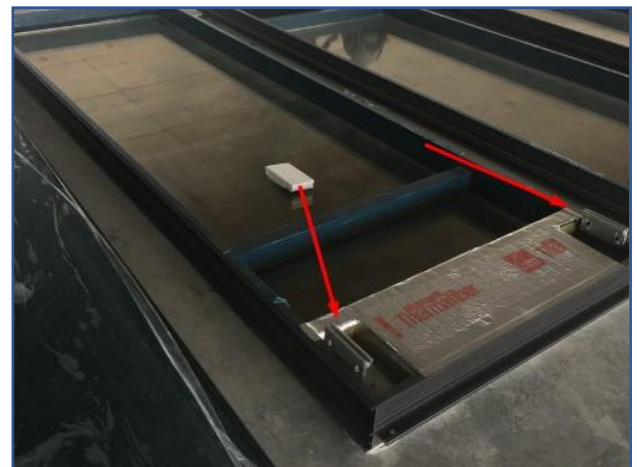
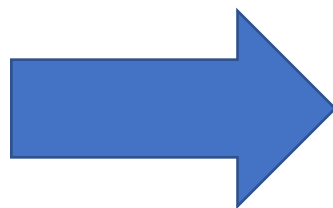
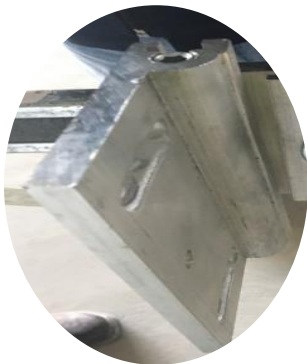


Ilustración 26. Colocación de ancla hembra en panel.

Colocación de paneles y posicionamiento final.

- 1) El primer paso para seguir es encender la grúa y asegurarse que cuenta con la carga suficiente para no detener su operación durante la instalación.
- 2) Debe asegurarse la viga de elevación a la grúa.
- 3) Una vez el panel se encuentre listo para ser instalado se debe acercarse al sitio de colocación y su parte inferior colocarse en uno de los carritos diseñados para la instalación, mientras que la parte superior debe sujetarse a la viga de elevación, la cual será sostenida por la grúa de instalación. Lo fundamental en este procedimiento es asegurar que el panel cuenta con todo lo necesario para colocarlo en su posición final, la posición de fachada y que durante este movimiento el panel no sufra daños
- 4) Previo a este movimiento o paso, debe colocarse adentro del anclaje HAC-40 91/300 F, dos tornillos cabeza de martillo HBC-C 8.8, la distancia entre estos tornillos tiene que ser de 172 mm, siempre dentro la zona comprendida entre las anclas que se insertan dentro de la losa, nunca en los extremos.
- 5) La cabeza del tornillo permitirá el ingreso al canal del anclaje en uno de los sentidos, una vez que estos ingresen al canal del ancla, deben girarse 90 grados. Cuando el giro se dé, es necesario evaluar si el tornillo

- se mantiene dentro del canal, esto jalándolo hacia el exterior, si el tornillo no sale significa que se encuentra en la correcta posición.
- 6) Como paso siguiente se debe agregar el refuerzo ancla al ancla macho; este refuerzo según se describió anteriormente es una placa que da soporte, su función es dar soporte a las arandelas colocadas entre el ancla macho y la tuerca; luego se procede a colocar una arandela plana y una arandela de presión, posteriormente se debe colocar la tuerca y ejercer un torque de instalación de 25 N-m según diseño estructural.
 - 7) El siguiente paso de instalación para el sistema unitizado de muro cortina es el acople o unión entre el anclaje hembra y el sistema de anclaje compuesto por el anclaje HAC-40 91/300 F, el tornillo HBC-C 8.8, el refuerzo ancla, sus arandelas y la tuerca debidamente ajustada, esta última debe estar al menos dos hilos por debajo de la salida del tornillo HBC-C 8.8 como medida de seguridad. Se debe sacar el panel con la grúa del piso donde se almacena horizontalmente hasta alcanzar su posición vertical fuera del edificio, dicha operación busca acoplar o unir el anclaje hembra al anclaje macho.
 - 8) El anclaje hembra una vez acoplado deberá ser ajustado con su propio tornillo de ajuste, este tornillo nunca debe salir del borde del ancla, debido a que, por pérdida de área efectiva de contacto, no se podrán

transmitir las cargas de forma correcta lo cual puede provocar un debilitamiento en el sistema de fijación del panel a la superestructura.

9) Se debe inspeccionar la instalación y asegurar que se cumplan las siguientes tolerancias:

- a. Respecto a su localización, del sistema unitizado muro cortina, la desviación máxima de la indicada en los planos en una longitud de 3,66 metros es de 7mm. La desviación máxima de la indicada en planos en la longitud total es de 26mm.
- b. Para plomo y nivel la desviación máxima permitida para un plomo en una longitud de 3,05 m es de 7mm. Para un plomo en una longitud de 12,20 m, la desviación máxima debe ser de 14mm.
- c. La desviación máxima de nivel en una longitud de 3,66 m es igual a 8mm. La desviación máxima de nivel en una longitud de 12,20 m es igual a 16mm.
- d. Respecto a la alineación de elementos colindantes en línea se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones: cuando dos elementos están separados por un espacio, una saliente o un elemento en el otro sentido no mayor de 13 mm la tolerancia de alineación es igual a 4mm; cuando dos elementos están separados por un espacio, una saliente o un elemento en el otro

sentido entre 13 mm y 25 mm la tolerancia de alineación es igual a 8mm; cuando dos elementos están separados por un espacio, una saliente o un elemento en el otro sentido mayor de 25 mm la tolerancia de alineación es igual a 16mm.

10) Antes de colocar un panel sobre otro para alcanzar hermeticidad.

Debe colocarse empaque EPMD en todo el borde superior de los paneles, este borde contiene un perfil de aluminio donde se puede agarrar el empaque en forma lineal por toda la longitud de los paneles instalados por piso, este empaque funcionara como elemento de hermeticidad entre los paneles de un piso a otro.

11) Los paneles ya tienen instalados un empaque EPDM estilo burbuja en sus costados, los cuales darán hermeticidad al sistema unitizado de muro cortina. La unión de panel con panel en alguno de sus costados se debe cuidar de crear un sello que permita la estanqueidad.

12) Se coloca un angular de aluminio que cubra los dos paneles en unión, se coloca una membrana de silicón que cubre la unión de los dos perímetros de los paneles. Esta membrana se coloca en los dos bordes que se encuentran divididos por el borde que agarra el empaque perimetral. Una vez colocadas las membranas se procede a fijar y sellar las mismas contra el aluminio con silicón, según el recomendado para el proyecto.

13) Se debe colocar el silicón y no tocar al menos por 3 horas, luego se procede a utilizar cubreras para cubrir las zonas selladas al menos por 7 días hasta 14 días. La adhesión total será dentro de 14 a 21 días después de la aplicación



14) En la condición cuando la instalación inicia en el segundo piso en el orden de instalación se debe tener en cuenta algo **importante**, el panel superior nunca será apoyado sobre el panel inferior. El panel inferior nunca servirá de apoyo estructural. Para lograr esto se colocará una calza con un espesor constante y conocido, que alcance la distancia entre panel inferior y superior que son requeridos para que exista hermeticidad y no apoyo estructural. Esto debe verificarse con nivel. El objetivo es alcanzar la hermeticidad.

15) Se procede a rellenar los espacios comprendidos entre el borde de la losa y la fachada unitizada de muro cortina. Este relleno se realiza con lana mineral marca Thermafiber provista por Owen Corning, según por lo antes mencionado con el objetivo de crear protección anti-fuego, siendo esta compañía certificada para el control del fuego.

16) Se cubre la lana mineral con el sellador anti-fuego Hilti CFS-SP WB, esto a través de una colocación con espátula para lograr un recubrimiento mayor, el tiempo de curado será de 24 horas en condiciones de humedad del 50%.

- 17) Se debe colocar perfilería de aluminio con estilo cenefa, que cumplirá el papel de rodapié, cubriendo la división fabricado con la lana mineral y el sellador anti-fuego Hilti CFS-SP WB.
- 18) Algunos de los paneles como parte de su diseño, tienen acabados internos con lámina de aluminio compuesto. Se debe verificar que las medidas del aluminio compuesto sean las correctas, ya que el corte de estas no es recomendable hacerlo en la obra, ya que existen sierras especializadas para el corte de láminas de aluminio compuesto, las cuales generalmente se encuentran en fábrica.
- 19) Se debe retirar el filme protector de los paneles en un plazo no mayor a 60 días. Una vez realizado esto se podrá apreciar desde el exterior el hermoso acabado del sistema unitizado de muro cortina.
- 20) Se debe limpiar el área. Asegurarse que no existan filtraciones de agua o viento y que los acabados sean los esperados por el cliente. Si existe alguna filtración se debe considerar que el defecto solo va a estar presente o es por causa del panel que muestra la filtración, ya que esto es una característica propia del sistema por su naturaleza modular.
- 21) Se procede a realizar la entrega de piso, con los planos aprobados previamente por el cliente en caso de que existan dudas sobre el diseño o acabados para el piso. Se debe confeccionar un documento

de entrega conforme a lo pactado en el contrato para el piso. De cumplirse esto la instalación quedara por concluida para el piso.

Ilustraciones de apoyo visual



Ilustración 27. Viga de levantamiento, la misma hace la conexión entre grúa y panel.



Ilustración 28. Señalados con flechas azules, los carritos de apoyo para el izado de paneles.

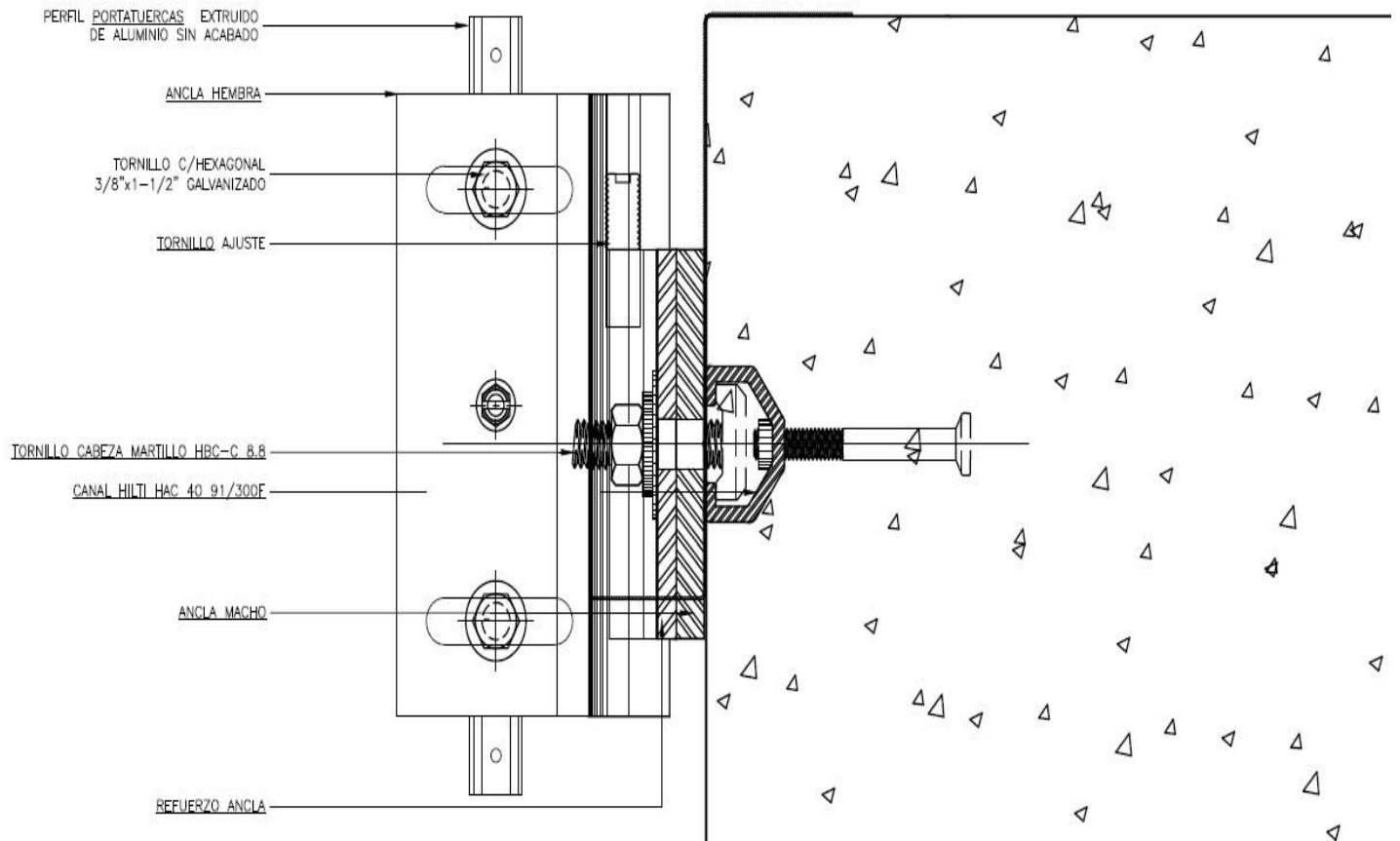


Ilustración 29. Detalle de sistema de anclaje insertado en losa de concreto.

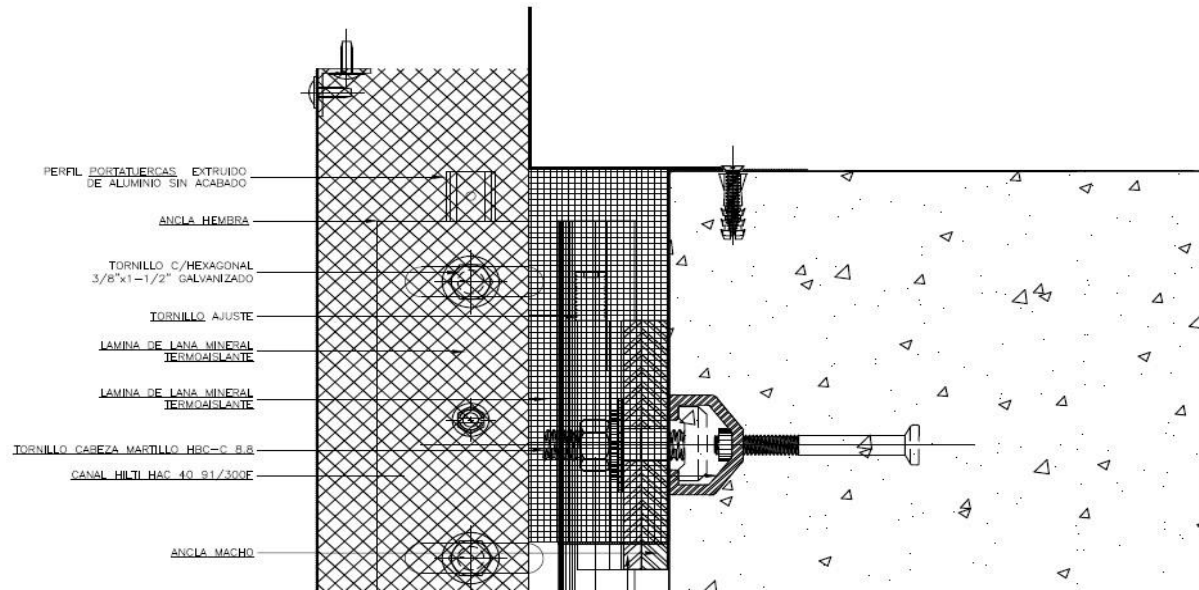


Ilustración 30. Detalle de ubicación de lana mineral.

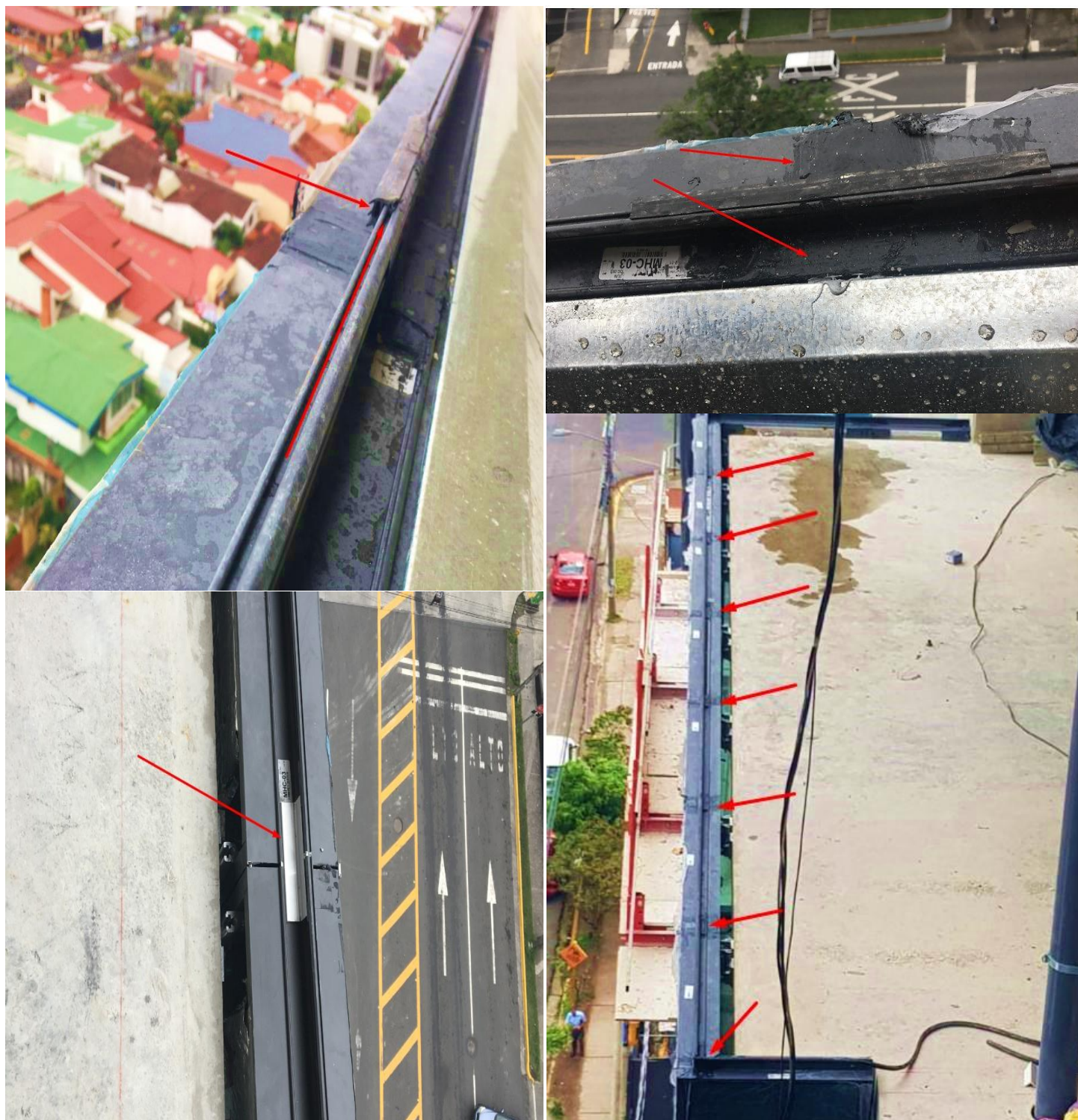


Ilustración 31. Ubicación de empaques, angular, membrana y silicón.



Ilustración 32. Vista de sistema de anclajes.

Mantenimiento y limpieza.

Aunque uno de los beneficios del sistema unitizado de muro cortina es su poco mantenimiento, siempre es necesario un mantenimiento mínimo.

- Para la limpieza de las secciones de aluminio compuesto debe utilizarse detergentes neutros (ph 7,0) y agua, únicamente. Se deben utilizar paños suaves o esponjas. La limpieza no se debe hacer cuando los paneles están sometidos a temperaturas elevadas. Para el área urbana se recomienda una limpieza por año.
- Para la limpieza de perfiles de aluminio se recomienda solo utilizar agua limpia, en el caso de que la suciedad persista se procede a utilizar detergentes neutros (ph 7,0) con esponjas o cepillos suaves siempre iniciando verticalmente por la parte más alta a la más baja. Si la suciedad persiste se pueden utilizar esponjas de una mayor dureza o bien soluciones a base de alcohol para eliminar grasas o silicones. Esto último no puede hacerse si el perfil es pintado, pero generalmente el perfil de aluminio del sistema unitizado de muro cortina es anodizado. La limpieza de los perfiles de aluminio no tiene un periodo establecido.
- Para la limpieza del vidrio se debe considerar nunca hacerlo cuando el vidrio está expuesto directamente a rayos solares. Se debe realizar la limpieza con agua jabonosa para suavizar los residuos o suciedad

presente, luego se limpia con un paño suave o un escurridor para vidrios, posteriormente se enjuaga con abundante agua. El vidrio se tiene que secar completamente. Todo esto dará una buena presentación de la fachada y también extenderá la vida útil de la estética del sistema unitizado de muro cortina.

- Si se debe cambiar un vidrio es posible desarmando el panel en su interior, colocando una persona que pueda manipular el vidrio desde el exterior de la fachada retirando el vidrio hacia el interior del edificio. Para colocar el nuevo vidrio, es necesario calzarlo mientras los selladores de silicón alcancen su secado, esto a través de calzas llamadas chapetas. Una vez secado el silicón se retiran las calzas y se procede con el armado del panel a su forma original.

Seguridad laboral.

- Toda persona que se presente al piso de instalación o instalado debe colocarse su arnés con ganchos conectores desde su llegada al punto de encuentro en la obra. Además, debe poseer en todo momento, casco con sujetador de mandíbula, zapatos de seguridad, pantalones largos. Inmediatamente la persona llegue al destino debe ubicar la señalización y la cuerda salvavidas o línea de vida para sujetarse a través de los

ganchos conectores a esta. Solo así podrá desplazarse por los bordes del edificio donde se ubica la instalación del sistema. No son permitidas bromas en el lugar de trabajo. En caso de dirigirse una persona a realizar inspecciones debe contar con todo el equipo mencionado. Incluso así los visitantes.

- La persona que la conduce debe estar debidamente capacitado y contar la experiencia para operarla. Al momento de trasladar las grúas por el edificio se tiene que acompañar con una persona que dé instrucciones a quien conduce la grúa como a las personas que se encuentran en su camino. En todo momento se debe observar el contorno para identificar riesgos y peligros.
- Cuando se esté moviendo las canastas con panales o paneles individuales se deben tomar en cuenta también estas normas de seguridad.
- Durante la instalación de los paneles se debe velar por que nunca alguna parte del equipo o ropa quede atrapado en con el panel, carrito o cables de levantamiento.
- Cuando se realicen descargas de material debe acordonarse las áreas de descarga y recibo con conos de seguridad para delimitar el paso de otras personas.

- Nunca es permitido y debe ser fuertemente sancionado si una persona se presenta a trabajar en estado de ebriedad, bajo la influencia de psicotrópicos o bien medicamentos con efectos secundarios contraproducentes.

- Siempre se debe revisar el equipo de seguridad en personal y su conexión en parejas, permitiendo que el compañero indique el estado y equipo de seguridad laboral presente en el sitio y el que porta cada trabajador.

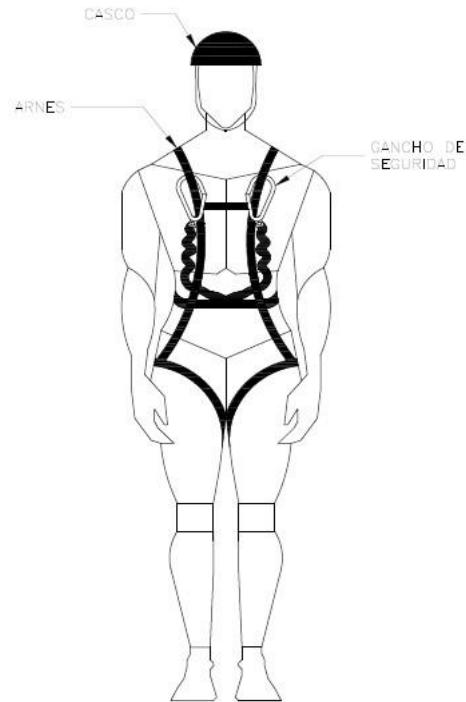


Ilustración 33. Equipo básico de protección en el trabajo.

- Antes de iniciar la jornada laboral se debe verificar el estado y la correcta sujeción de las líneas de vida.
- Capacitaciones y concientización deben ser parte del cronograma de trabajo del proyecto.

Cualquier consulta no dude en contactar al departamento de ventas o ingeniería de Extralum.

FIN

“Carta autorización del autor (es) para uso didáctico del Trabajo Final de Graduación”

Vigente a partir del 31 de Mayo de 2016, revisada el 24 de Abril de 2020

Instrucción: Complete el formulario en PDF, imprima, firme, escanee y adjunte en la página correspondiente del Trabajo Final de Graduación.

Yo (Nosotros):

Escriba Apellidos, Nombre del Autor(a). Para más de un autor separe con " ; "

Marín Meléndez, Jose Arturo

De la Carrera / Programa:

autor(es) del trabajo final de graduación titulado:

De la carrera: Ingeniería Civil. Autor del trabajo final de graduación titulado: Manual de requerimientos constructivos e instalación para el sistema de fachadas prefabricadas unitizadas de muro cortina Extralum

Autorizo (autorizamos) a la Universidad Latina de Costa Rica, para que exponga mi trabajo como medio didáctico en el Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI o Biblioteca), y con fines académicos permita a los usuarios su consulta y acceso mediante catálogos electrónicos, repositorios académicos nacionales o internacionales, página Web institucional, así como medios electrónicos en general, Internet, intranet, DVD, u otro formato conocido o por conocer; así como integrados en programas de cooperación bibliotecaria académicos, que permitan mostrar al mundo la producción académica de la Universidad a través de la visibilidad de su contenido.

De acuerdo a lo dispuesto en la Ley No. 6683 sobre derechos de autor y derechos conexos de Costa Rica, permita copiar, reproducir o transferir información del documento, conforme su uso educativo y debiendo citar en todo momento la fuente de información; únicamente podrá ser consultado, esto permitirá ampliar los conocimientos a las personas que hagan uso, siempre y cuando resguarden la completa información que allí se muestra, debiendo citar los datos bibliográficos de la obra en caso de usar información textual o paráfrasis de la misma.

La presente autorización se extiende el día (Día, fecha) **16** del mes **Mayo** de año **2020** a las **11:00 AM**. Asimismo doy fe de la veracidad de los datos incluidos en el documento y eximo a la Universidad de cualquier responsabilidad por su autoría o cualquier situación de perjuicio que se pudiera presentar.

Firma(s) de los autores

Según orden de mención al inicio de ésta carta:

